

Hans Erhorn, Michael Beckert, Antje Bergmann  
Michael Eberl, Micha Illner, Johann Reiß  
Wolfgang Sedlmair, Herbert Sinnesbichler, Georg Lange

# **Praxis-Vergleich verschiedener Speicherstrategien für Plusenergiehäuser in exemplarischen Wohnsiedlungen – Living Lab Plusenergiesiedlung Wuppertal**

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2019

ISBN 978-3-7388-0295-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00  
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/bauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/bauforschung)

IBP-Bericht Nr. EER-015/2018/952

# **Praxis-Vergleich verschiedener Speicherstrategien für Plusenergiehäuser in exemplarischen Wohn- siedlungen Living Lab Plusenergiesiedlung Wuppertal**

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

**Projektleitung:** Hans Erhorn

**Autoren:**

Michael Beckert

Antje Bergmann

Michael Eberl

Micha Illner

Johann Reiß

Wolfgang Sedlmair

Herbert Sinnesbichler

Georg Lange

(Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V.)

Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,  
Demonstration und Beratung auf  
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,  
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für  
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner

Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht Nr. EER-015/2018/952

## **Praxis-Vergleich verschiedener Speicherstrategien für Plusenergiehäuser in exemplarischen Wohn- siedlungen Living Lab Plusenergiesiedlung Wuppertal**

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.  
Aktenzeichen SWD-10.08.18.7-15.28

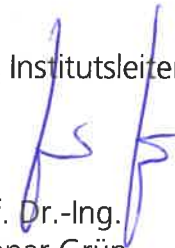
Der Bericht umfasst

301 Seiten Text  
53 Tabellen  
79 Abbildungen

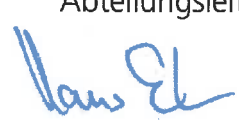
10. August 2018

*Auszugsweise Veröffentlichung nur mit  
schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik gestattet*

stlv. Institutsleiter

  
Prof. Dr.-Ing.  
Gunnar Grün

Abteilungsleiter

  
Hans Erhorn

Bearbeiter

  
Dr.-Ing. (FH)  
Herbert Sinnesbichler



|          |                                                                                 |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Kurzfassung</b>                                                              | <b>6</b>  |
| <b>2</b> | <b>Summary</b>                                                                  | <b>7</b>  |
| <b>3</b> | <b>Hintergrund</b>                                                              | <b>9</b>  |
| <b>4</b> | <b>Aufgabenstellung</b>                                                         | <b>9</b>  |
| <b>5</b> | <b>Beschreibung des Quartiers</b>                                               | <b>10</b> |
| 5.1      | Siedlungsstruktur der Ausstellungsgelände (Wuppertal und Köln)                  | 11        |
| 5.2      | Geometrische Kennwerte der Gebäude                                              | 12        |
| 5.3      | Kennwerte des baulichen Wärmeschutzes                                           | 18        |
| 5.4      | Anlagentechnische Kennwerte der Gebäude                                         | 24        |
| 5.5      | Zentraler Batteriespeicher                                                      | 27        |
| <b>6</b> | <b>Rechnerische Bewertung verschiedener Versorgungskonzepte</b>                 | <b>28</b> |
| 6.1      | Ergebnisse der Versorgungsvarianten                                             | 29        |
| 6.1.1    | Versorgungsvariante V0                                                          | 29        |
| 6.1.2    | Versorgungsvariante V1                                                          | 30        |
| 6.1.3    | Versorgungsvariante V2                                                          | 31        |
| 6.1.4    | Versorgungsvariante V3                                                          | 32        |
| 6.1.5    | Versorgungsvariante V4                                                          | 33        |
| 6.1.6    | Versorgungsvariante V5                                                          | 34        |
| 6.2      | Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvarianten                                     | 36        |
| 6.2.1    | Verbrauchsdaten der Versorgungsvariante V0                                      | 36        |
| 6.2.2    | Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V1                                   | 37        |
| 6.2.3    | Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V2                                   | 38        |
| 6.2.4    | Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V3                                   | 39        |
| 6.2.5    | Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V4                                   | 40        |
| 6.2.6    | Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V5                                   | 42        |
| 6.3      | Fazit und Empfehlungen                                                          | 43        |
| <b>7</b> | <b>Beschreibung Messkonzept</b>                                                 | <b>44</b> |
| 7.1      | Messtechnische Ausstattung der Einzelhäuser                                     | 44        |
| 7.2      | Messtechnische Ausstattung des Ausstellungsgeländes<br>FertighausWelt Wuppertal | 50        |
| 7.3      | Datenbündelung in der Cloud                                                     | 53        |
| 7.4      | Herausforderungen während des Monitorings                                       | 56        |
| <b>8</b> | <b>Ergebnisse Monitoring</b>                                                    | <b>57</b> |

|            |                                                                                                               |            |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.1        | Meteorologische Randbedingungen                                                                               | 57         |
| 8.1.1      | Solarstrahlung                                                                                                | 57         |
| 8.1.2      | Außenlufttemperaturen                                                                                         | 59         |
| 8.2        | Einzelgebäude                                                                                                 | 61         |
| 8.2.1      | PV-Erträge                                                                                                    | 61         |
| 8.2.2      | Endenergieverbrauch                                                                                           | 66         |
| 8.2.3      | Endenergieüberschuss                                                                                          | 70         |
| 8.2.4      | Eigenverbrauch und Autarkie                                                                                   | 73         |
| 8.2.5      | Anlagenperformance                                                                                            | 78         |
| 8.2.6      | Verbesserungspotentiale während des Monitorings                                                               | 83         |
| 8.3        | Siedlungsverbund Wuppertal                                                                                    | 83         |
| 8.3.1      | Einfluss Siedlungsnetz                                                                                        | 84         |
| 8.3.2      | Be-/Entladeverhalten zentraler Batteriespeicher (1. September 2017 bis 18. Januar 2018)                       | 89         |
| <b>9</b>   | <b>Öffentlichkeitsarbeit, Ergebnisverbreitung und Verwertung</b>                                              | <b>93</b>  |
| <b>10</b>  | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>                                                                           | <b>98</b>  |
| <b>A.1</b> | <b>Methoden für die rechnerische Bewertung verschiedener Versorgungskonzepte</b>                              | <b>103</b> |
| <b>11</b>  | <b>Methoden</b>                                                                                               | <b>103</b> |
| 11.1       | Bedarfsmodellierung der Musterhäuser im Living Lab                                                            | 103        |
| 11.2       | Stündliche Lastprofile von Effizienzhaus Plus-Einfamilienhäusern (nicht außentemperaturabhängige Verbraucher) | 105        |
| 11.3       | Stündliche Lastprofile von Effizienzhaus Plus-Einfamilienhäusern (außentemperaturabhängige Verbraucher)       | 112        |
| 11.4       | Bedarfsmodellierung in stündlicher Auflösung                                                                  | 116        |
| 11.5       | PV-Ertragsmodellierung                                                                                        | 119        |
| 11.5.1     | Modellierung der Kapitalflüsse durch PV-Strom-Einspeisung                                                     | 119        |
| 11.6       | Batteriemonitoring                                                                                            | 120        |
| 11.7       | Bedarfsmodellierung weiterer nZEB-Einfamilienhäuser als Verbraucher für das Quartier                          | 123        |
| 11.8       | Nahwärmenetz-Modellierung                                                                                     | 125        |
| 11.9       | Eigenverbrauchsmodellierung                                                                                   | 132        |
| 11.10      | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung                                                                                | 133        |
| <b>A.2</b> | <b>Öffentlichkeitsaktionsliste</b>                                                                            | <b>138</b> |
| <b>A.3</b> | <b>Steckbriefe</b>                                                                                            | <b>140</b> |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| A.3.1 SchwörerHaus  | 141 |
| A.3.2 FingerHaus    | 149 |
| A.3.3 FingerhutHaus | 157 |
| A.3.4 WeberHaus     | 165 |
| A.3.5 PatnerHaus    | 173 |
| A.3.6 HufHaus       | 181 |
| A.3.7 Büdenbender   | 189 |
| A.3.8 Kampa         | 197 |
| A.3.9 ProHaus       | 205 |
| A.3.10 RenschHaus   | 213 |
| A.3.11 Bien-Zenker  | 221 |
| A.3.12 holz&raum    | 229 |
| A.3.13 HanseHaus    | 237 |
| A.3.14 Allkauf      | 245 |
| A.3.15 Okal         | 253 |
| A.3.16 NordHaus     | 261 |
| A.3.17 SchwabenHaus | 269 |
| A.3.18 Gussek       | 277 |
| A.3.19 DanHaus      | 285 |

# 1 Kurzfassung

Bei den Modellvorhaben Effizienzhaus Plus war bisher der dezentrale Ansatz mit hausweisen Batteriespeichern die Antwort auf die geänderten Bedingungen bei der Einspeisevergütung. Die Wirtschaftlichkeit dieser individuellen Konzepte steht in der täglichen Umsetzungspraxis jedoch auf dem Prüfstand. Es müssen Lösungen für ein wirtschaftlich optimales Speicherkonzept gefunden werden, um den Eigenverbrauch von lokal erzeugten, erneuerbaren Energien in Effizienzhaus Plus Gebäuden zu maximieren und die Stromnetze zu entlasten.

Die FertighausWelt Wuppertal stellt auf einem 18.000 qm umfassenden Quartier beispielhaft 19 innovative Wohngebäude von deutschen Fertighausherstellern vor. Die hier errichteten unterschiedlichen Wohngebäude sind Effizienzhäuser Plus im Sinne der BMUB Definition und bilden mit der Vernetzung der Gebäude untereinander sowie mit einem quartierszentralen Batteriespeicher erstmalig ein nachhaltiges klimaneutrales Quartier im Effizienzhaus Plus Standard. Zusätzlich ist ein Informations- und Veranstaltungsgebäude integriert, welches von den anderen Häusern mit erneuerbarem Strom versorgt wird, so dass auch die Vernetzung unterschiedlicher Gebäudetypen mit verschiedenen Nutzungsszenarien betrachtet werden kann. Darüber hinaus können in der FertighausWelt Köln weitere 6 Effizienzhäuser Plus detailliert messtechnisch bewertet werden. Drei dieser Objekte haben dezentrale elektrische Speicher unterschiedlicher Größe in den Häusern installiert, drei speisen Überschüsse unmittelbar ins öffentliche Netz ein. Hierdurch ist zusätzlich der Vergleich von quartierszentralen Batteriespeicherlösungen mit dezentralen Batteriespeichern möglich.

Im Rahmen des von der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung geförderten Forschungsvorhabens „Praxis-Vergleich verschiedener Speicherstrategien für Plusenergiehäuser in exemplarischen Wohnsiedlungen - Living Lab Plusenergiesiedlung Wuppertal“ werden mögliche Synergieeffekte durch die Vernetzung von Effizienzhaus Plus Gebäuden im Quartier unter praxisnahen Randbedingungen messtechnisch untersucht. Während der 2-jährigen Monitoringphase werden hierbei zunächst im ersten Jahr die Auswirkung einer Vernetzung der Effizienzhaus Plus Gebäude untereinander sowie mit dem Informations- und Veranstaltungsgebäude analysiert. Im zweiten Jahr wird zusätzlich ein quartierszentraler Batteriespeicher in das Quartiersnetz integriert. Durch den direkten Vergleich der verschiedenen Versorgungskonzepte in den FertighausWelten Wuppertal und Köln können somit die unterschiedlichen Eigennutzungsgrade der verschiedenen Ansätze unmittelbar miteinander verglichen und Wirtschaftlichkeitsaussagen zu den Speicheransätzen erarbeitet werden.

Ergänzend zu den messtechnischen Untersuchungen werden im Rahmen einer rechnerischen Analyse die Potentiale einer weiteren Aufrüstung der siedlungszentralen Speicherkapazität ermittelt und Ansätze für weitere Steigerungspotentiale durch aktives Energiemanagement mit dem Netz der Stadtwerke abgeschätzt. Hierbei erfolgt eine Bewertung verschiedener Versorgungsvarianten mit dem Ziel, Strategien für eine größtmögliche Wirtschaftlichkeit und eine hohe Einsparung von Primärenergie herauszuarbeiten. Die Versorgungsvarianten werden beginnend von traditionellen dezentralen Lösungen hin zu innovativen zentralen Siedlungskonzepten fortentwickelt.

Die Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt sollen dazu beitragen, die Kosten für die Energiekonzepte von Effizienzhäusern-Plus zu senken, die Stromkosten durch einen höheren Anteil eigen erzeugten Stroms zu reduzieren und dadurch die Praxisansätze wirtschaftlicher in den Markt zu bringen sowie die Stromnetze zu entlasten.

Die FertighausWelt Wuppertal mit ihrem Living Lab Plusenergiesiedlung ist hierbei ein idealer Multiplikator zur Überführung der Erkenntnisse aus den wissenschaftlichen Untersuchungen in die breite Baupraxis. So konnten sich seit Beginn des Forschungsprojektes im Jahr 2016 bereits mehr als 100.000 Bauinteressierte im Rahmen ihres Besuchs der FertighausWelt Wuppertal über das Forschungsprojekt informieren. Darüber hinaus werden die Erfahrungen aus den Untersuchungen intensiv mit den einzelnen Fertighaus-Ausstellern diskutiert, so dass die Ergebnisse aus dem Projekt unmittelbar bei der Weiterentwicklung und Optimierung der jeweiligen Gebäudekonzepte berücksichtigt werden können.

## 2 Summary

So far, the 'efficiency house plus' demonstration projects have been featuring the decentralized approach (one battery storage unit for each house) in response to the modifications regarding feed-in tariffs. In everyday practice, however, the cost efficiency of these individual concepts is on trial. Solutions must be found to establish an economically optimal storage concept in order to maximize on-site self-consumption of locally generated renewable energy in 'efficiency house plus' buildings and to relieve power grid stress.

On its 18,000 m<sup>2</sup>/ 193,750 sq. ft. site at Wuppertal (Germany), the FertighausWelt Wuppertal presents 19 exemplary, innovative residential buildings made by German manufacturers of prefabricated homes. Here, homes of different styles were built, all of which comply with the 'efficiency house plus' standard as defined by BMUB (i.e. the German Federal Ministry for Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety). All homes in this residential district are part of a network, sharing a centralized battery storage, which makes this estate the first sustainable, climate-neutral city quarter achieving the 'efficiency house plus' standard. In addition, an information and event building has been integrated, to which renewable electricity is supplied from the other buildings. In this way it is also possible to examine the networking of various types of buildings featuring different usage scenarios. Besides, another 6 'efficiency house plus' homes can be subjected to detailed measurements at the FertighausWelt Köln site in Cologne (Germany). In three of these buildings, decentralized electricity storage units of different sizes were installed, while three homes feed surplus electricity directly into the public grid. This situation allows to compare solutions featuring district-centralized battery storage with decentralized battery storage units.

In the scope of the research project "Praxis-Vergleich verschiedener Speicherstrategien für Plusenergiehäuser in exemplarischen Wohnsiedlungen - Living Lab Plusenergiesiedlung Wuppertal" ["Practical comparison of different storage strategies for plus energy buildings in exemplary residential districts - Living Lab Plus Energy District at Wuppertal"], which receives funding from the German Federal Institute for Research on Building, Urban Affairs and Spatial Develop-

ment's research initiative "Zukunft Bau" ["Future Building"], measurements are carried out under practical boundary conditions in order to identify potential synergy effects that may be achieved by interconnecting 'efficiency house plus' buildings on a district level. During the 2-year monitoring phase the first year will be dedicated to analyzing the impact of networking the 'efficiency house plus' buildings among each other and with the information and events building. In the second year, an additional central battery storage unit for the district will be integrated into the district grid. The direct comparison of the different supply concepts implemented at the FertighausWelt estates at Wuppertal and Cologne allows to immediately compare the degrees of self-consumption implied by the different approaches. Subsequently, statements regarding the cost-effectiveness of the storage approaches can be derived.

Besides performing measurements, a numerical analysis is being conducted to determine the potential held by further enhancing the district-central storage capacity. Moreover, several options are explored for increasing the energy potential still further by implementing active energy management with the public utility grid. This is done by evaluating different supply variants with the aim to identify strategies to achieve maximum cost efficiency and high savings in primary energy. Starting with conventional decentralized solutions, the supply variants will be further advanced towards innovative, centralized district-level concepts.

The results obtained from this research project are intended to help reduce the costs for the 'efficiency house plus' energy concepts as well as reduce electricity costs by raising the share of self-generated electricity. This will contribute to a more economical market launch of practical approaches and relieve the public grids.

In this context, the FertighausWelt Wuppertal with its Living Lab estate of plus energy buildings is an ideal disseminator to transfer the findings from the scientific investigations into general building practice. Since the research project was launched in 2016, more than 100,000 visitors interested in innovative buildings got detailed information on the project at FertighausWelt Wuppertal. Moreover, the experience gained from the investigations is intensively discussed with all the exhibitors of prefab homes, thus ensuring that the results of the project can be immediately taken into account when advancing and optimizing the respective building concepts.

### 3 Hintergrund

Um die Auswirkungen des Klimawandels zu begrenzen, hat die Weltgemeinschaft 2016 in Paris das rechtlich verbindliche Ziel vereinbart, die globale Zunahme der Erderwärmung auf unter 2 K zu halten. Die Folgen des Klimawandels führen in vielen Regionen der Erde zur Zunahme von extremen Wetterereignissen wie Dürren und Starkregen und somit zur Wasserknappheit und Überschwemmungen, die Armut und Hunger auslösen können. Das vorrangige Ziel der Staaten der Staatengemeinschaft ist daher die Reduktion der Treibhausgase um 80 Prozent bis 95 Prozent bis 2050. Deutschland hat in der Vergangenheit durch die kontinuierliche Verschärfung der energetischen Anforderungen im Gebäudebereich und durch die Förderung von Technologien im Bereich der erneuerbaren Energien bereits große Leistungen erbracht. Insbesondere die Stromerzeugung mit Photovoltaikmodulen hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Dies führt in Zeiten mit hoher Sonnenstrahlung teilweise zur Überlastung der Stromnetze, wenn viele gleichzeitig den generierten Strom ins Netz leiten.

Die Fragestellung hinter dem vorliegenden Forschungsvorhaben lautet daher: Könnten Quartiersstromnetze diese Situation entschärfen, wenn innerhalb des Quartiersnetzes, das aus mehreren Gebäuden besteht, die mit und ohne PV-Anlagen ausgerüstet sind, Stromüberschuss und Strombedarf ausgeglichen wird und nur die überschüssige Energie ins öffentliche Stromnetz geleitet wird? Ferner: Wieviel trägt eine Quartiersbatterie, in die der überschüssige Strom zuerst gespeichert wird, zur Steigerung der Effizienz bei? Für eine künftige Umsetzung in die Praxis spielt auch die Wirtschaftlichkeit eine Rolle.

### 4 Aufgabenstellung

Die Bauindustrie sucht Antworten auf die Frage des wirtschaftlich optimalen Speicherkonzepts zur Maximierung des Eigenverbrauchsanteils von lokal erzeugten erneuerbaren Energien in ihren Effizienzhaus Plus Neubauten. Bisher war der dezentrale Ansatz mit hausweisen Batteriespeichern die Antwort auf die geänderten Bedingungen bei der Einspeisevergütung. Allerdings stand die Wirtschaftlichkeit dieser individuellen Konzepte in der täglichen Umsetzungspraxis auf dem Prüfstand. Es stellt sich die Frage, ob eine quartierszentrale Speicherlösung, auf die mehrere Gebäude gleichzeitig zugreifen, nicht die weitaus wirtschaftlichere Lösung darstellen könnte. Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, die Kosten für die Energiekonzepte von Effizienzhäusern-Plus zu senken und die Praxisansätze dadurch wirtschaftlicher in den Markt zu bringen. In einem Feldversuch in den Fertighauswelten Köln und Wuppertal wird diese Thematik theoretisch und experimentell untersucht, um hieraus Empfehlungen für künftige Siedlungsplanungen ableiten zu können.

In der FertighausWelt in Köln sind 6 Effizienzhäuser Plus der ersten Generation mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet, die für weitere 2 Jahre betrieben werden. Drei der Objekte haben elektrische Speicher unterschiedlicher Größe in den Häusern installiert, drei speisen Überschüsse unmittelbar ins öffentliche Netz ein. Im Living Lab in Wuppertal sind dagegen 19 Effizienzhäuser Plus der zweiten Generation zentral in der Siedlung so vernetzt, dass beispielsweise die Stromüberschüsse von einem Gebäude bei Bedarf an das Nachbargebäude abgegeben werden können. In dieses Siedlungsnetz ist ein elektrischer Zentral-

speicher mit 130 kWh Kapazität integriert. Die Messkonfiguration ist so ausgelegt, dass die Bildung von vollständigen monatlichen Energiebilanzen der Anlagentechnik möglich ist. Daneben werden die nutzbaren und überschüssigen Beiträge aus erneuerbaren Energien (Solarbeiträge), die Stromverbräuche und die Konditionierungsenergien fortlaufend aufgezeichnet. Die auf diese Weise ermittelten Bilanzanteile können mit den vorausgerechneten verglichen und die Leistungsfähigkeit der Gebäudekonzepte so dokumentiert werden. Die Kombination der beiden Plattformen Köln und Wuppertal in einem Projekt erlaubt es, erhebliche Synergieeffekte zu nutzen. In einem zweieinhalbjährigen Monitoringvorhaben werden die unterschiedlichen Eigennutzungsgrade der verschiedenen Ansätze unmittelbar miteinander verglichen und Wirtschaftlichkeitsausagen zu den Speicheransätzen erarbeitet.

In einer rechnerischen Analyse werden die Potentiale der weiteren Aufrüstung der siedlungszentralen Speicherkapazität (mobil oder immobil) ermittelt und Ansätze für weitere Steigerungspotentiale durch aktives Energiemanagement mit dem Netz der Stadtwerke abgeschätzt. Hierbei erfolgt eine Bewertung verschiedener Versorgungsvarianten mit dem Ziel, Strategien für eine größtmögliche Wirtschaftlichkeit und eine hohe Einsparung von Primärenergie herauszuarbeiten. Die Versorgungsvarianten werden beginnend von traditionellen dezentralen Lösungen hin zu innovativen zentralen Siedlungskonzepten fortentwickelt. Dabei werden verschiedene Varianten zur Zielerreichung berechnet.

Im Vorhaben wird demonstriert, dass es möglich ist, städtische Quartiere so zu konzipieren, dass sie sich mit örtlich vorhandenen erneuerbaren Energien weitestgehend selbst versorgen können. Dieser Ansatz wird eine Strahlkraft auf viele Bauprojekte ausüben, die derzeit und künftig neu gebaut werden. Dies wird dazu führen, dass bei künftigen Quartierserschließungen nicht nur die energetischen Mindestanforderungen umgesetzt werden, sondern durch den Einsatz neuer innovativer Produkte ein deutlich höheres energetisches Niveau angestrebt wird. Dadurch erhält auch die Produktneuentwicklung, sowohl im baulichen als auch im anlagentechnischen Bereich, einen positiven Impuls. Neue, innovative Techniken und Produkte finden so eine schnellere Marktdurchdringung.

## 5 Beschreibung des Quartiers

Der Bundesverband Deutscher Fertigbau (BDF) betreibt über ganz Deutschland verteilt aktuell 19 FertighausWelten. Hier laden Musterhausparks zur Besichtigung von Fertighäusern ein. Im Jahr 2011 startete der BDF einzelne Gebäude in seiner FertighausWelt, in Köln-Frechen, als Effizienzhäuser Plus zu realisieren. Eine komplette Siedlung mit Gebäuden im Effizienzhäuser Plus Standard wurde 2013 im sogenannten LivingLab der FertighausWelt des BDF in Wuppertal errichtet. Auf einem 18.000 m<sup>2</sup> großen Areal sind 19 Effizienzhäuser Plus zentral in einer Siedlung untereinander vernetzt. Sie versorgen „schwesterlich“ ein Empfangsgebäude mit erneuerbarem Strom. In das Siedlungsnetz ist ein neben dem Gelände stehender Zentralspeicher integriert, welcher aktuell eine nutzbare Kapazität von 130 Kilowattstunden aufweist.



## 5.1 Siedlungsstruktur der Ausstellungsgelände (Wuppertal und Köln)

Die einzelnen Gebäude sind in den FertighausWelten auf einem Areal von 18.000 m<sup>2</sup> in Wuppertal und 20.000 m<sup>2</sup> in Köln-Frechen erbaut. Dabei werden die Häuser um eine Ringstraße innerhalb und außerhalb des Rings angeordnet. Siedlungsartig verfügt jedes Grundstück über eine kleine umlaufende Grünfläche. Die Größen sowie Luftaufnahmen der Siedlungen in Köln und Wuppertal zeigt Tabelle 1 sowie Bild 1 und Bild 2.

Tabelle 1:  
Größe des Areals und Anzahl der Häuser der FertighausWelten in Wuppertal und Köln.

| FertighausWelt | Areal                 | Anzahl Häuser<br>gesamt | Effizienzhaus<br>Plus |
|----------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Köln           | 20.000 m <sup>2</sup> | 24                      | 6                     |
| Wuppertal      | 18.000 m <sup>2</sup> | 19                      | 19                    |



Bild 1:  
Luftbild FertighausWelt Köln.



Bild 2:  
Luftbild FertighausWelt Wuppertal.

Die Besonderheit der Siedlung in Wuppertal ist die Vernetzung aller Gebäude in Form einer Ringleitung, wie in Bild 3 zu sehen. Am Eingang der Siedlung befindet sich ein zentraler elektrischer Speicher.

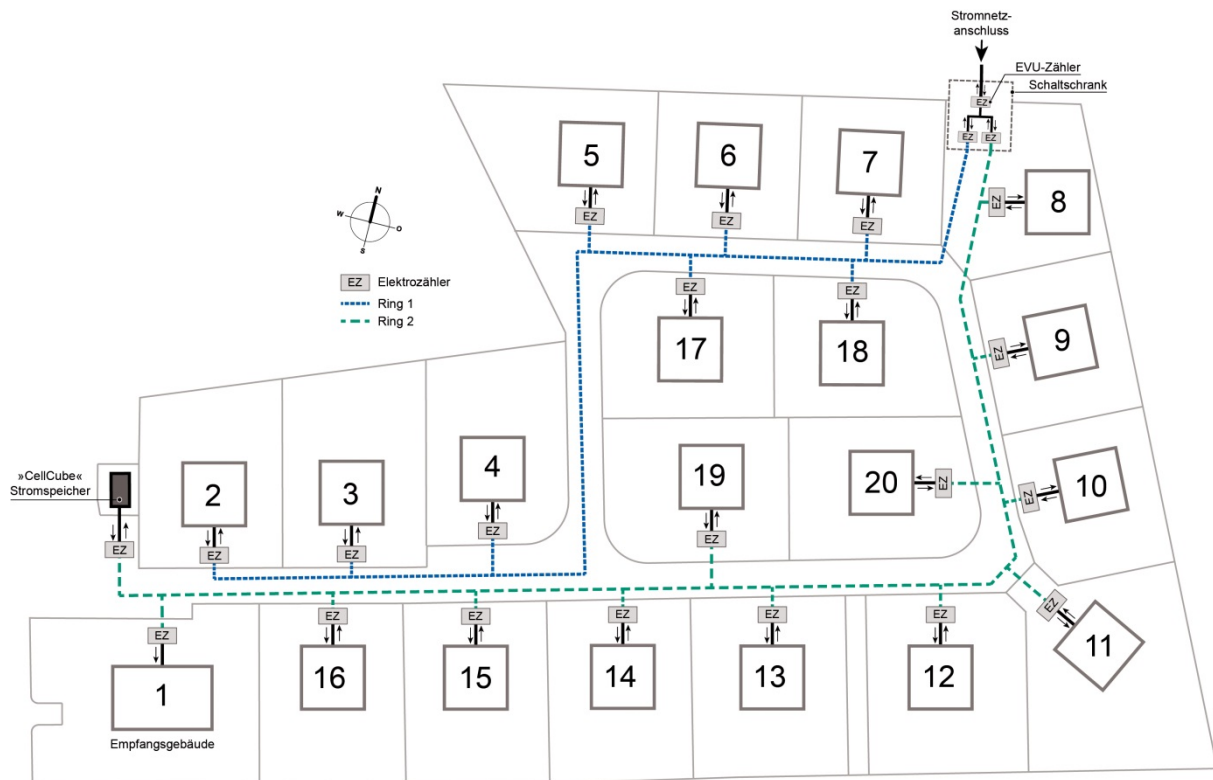


Bild 3:  
Siedlungsstruktur FertighausWelt Wuppertal.

## 5.2 Geometrische Kennwerte der Gebäude

Die Gebäude der FertighausWelt in Wuppertal sind in ein- bis zweigeschossiger Bauweise errichtet und verfügen über eine mittlere, beheizte Wohnfläche von 209 m<sup>2</sup>. Wie Bild 4 zeigt, beträgt die maximale Wohnfläche 397 m<sup>2</sup>, das Minimum liegt bei 142 m<sup>2</sup>. Im Vergleich zu Analysen in [1], bei denen eine mittlere Wohnfläche von Ein- und Zweifamilienhäusern in Deutschland von 135 m<sup>2</sup> ermittelt wurde, zeigt, dass die Gebäude mit einer mittleren Wohnfläche von 209 m<sup>2</sup> relativ groß sind. Der Mittelwert für die Gebäude in der FertighausWelt in Köln ist mit 207 m<sup>2</sup> fast genau gleich groß.

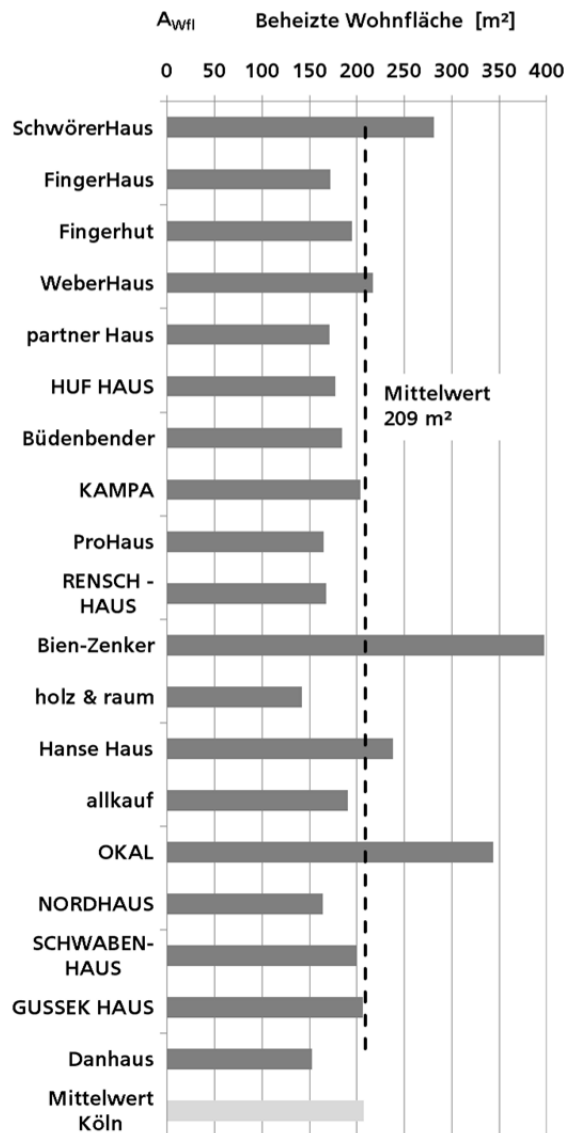


Bild 4:  
Beheizte Wohnfläche und deren Mittelwert der Effizienzhäuser Plus der Fertig-  
hausWelt in Wuppertal sowie Mittelwert der Gebäude in Köln.

Die Gebäudenutzfläche  $A_N$  ist eine reine Rechengröße nach der EnEV, die die im beheiztem Gebäudevolumen zu beheizende Fläche darstellt. Sie wird (nach EnEV) im Wohnungsbau aus dem beheizten Gebäudevolumen unter Berücksichtigung einer üblichen Raumhöhe nach der Gleichung:

$$A_N = 0,32 V_e$$

ermittelt.

Die Gebäudenutzfläche  $A_N$  nach EnEV liegt für die 19 Einfamilienhäuser in Wuppertal zwischen 179 m² und 350 m² und beträgt gemäß Bild 5 im Mittel 229 m². Der Mittelwert der Gebäude in Köln liegt mit 268 m² geringfügig höher.

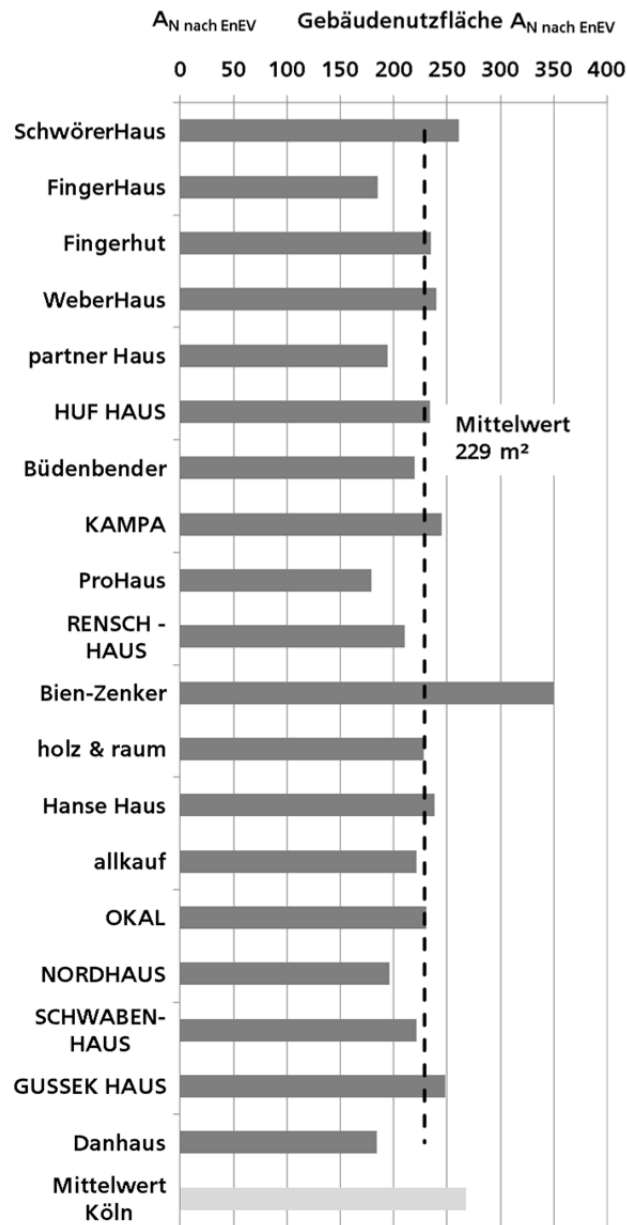


Bild 5:  
Gebäudenutzfläche  $A_N$  nach Energieeinsparverordnung und deren Mittelwert der Effizienzhäuser Plus der FertighausWelt in Wuppertal sowie Mittelwert der Gebäude in Köln.

Das beheizte Gebäudevolumen der Einfamilienhäuser schwankt wie Bild 6 zeigt zwischen  $559 \text{ m}^3$  und  $1491 \text{ m}^3$  und liegt im Mittel bei  $759 \text{ m}^3$ . Dies liegt über dem Bundesdurchschnitt von  $515 \text{ m}^3$ . Der Mittelwert der Gebäude in Köln war mit  $837 \text{ m}^3$  geringfügig größer, als der der Gebäude in Wuppertal.

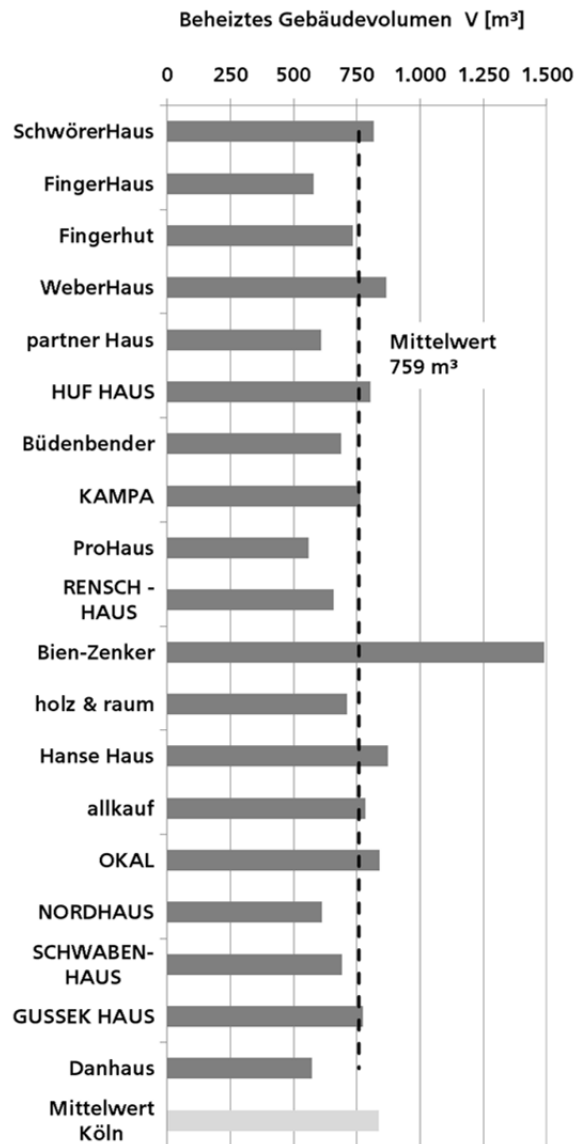


Bild 6:  
Beheiztes Gebäudevolumen und dessen Mittelwert der Effizienzhäuser Plus der FertighausWelt in Wuppertal und der Mittelwert der Gebäude in Köln.

Die Gebäudehüllfläche der Gebäude in Wuppertal variiert zwischen 392 m² und 745 m² und beträgt im Mittel, wie in Bild 7 gezeigt, 536 m². Der Mittelwert der Gebäude in Köln liegt bei 575 und ist damit geringfügig größer.

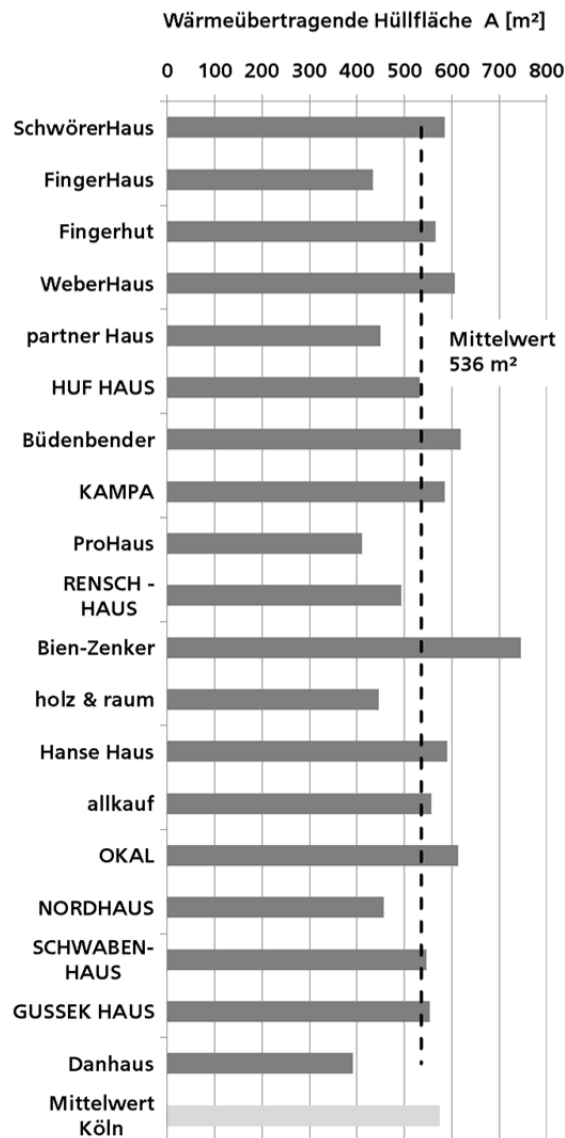


Bild 7:  
Gebäudehüllfläche und deren Mittelwert nach Energieeinsparverordnung der Effizienzhäuser Plus der FertighausWelt in Wuppertal und der Mittelwert der Gebäude in Köln.

Das Verhältnis der Gebäudehüllfläche zum beheizten Gebäudevolumen, A/V-Verhältnis, schwankt in Wuppertal zwischen 0,5 und 0,9 hat im Mittel eine Größe von 0,72, wie in Bild 8 gezeigt. Im Vergleich zu den Gebäuden in Köln, mit einem A/V Verhältnis von 0,70, ist es in Wuppertal geringfügig größer.

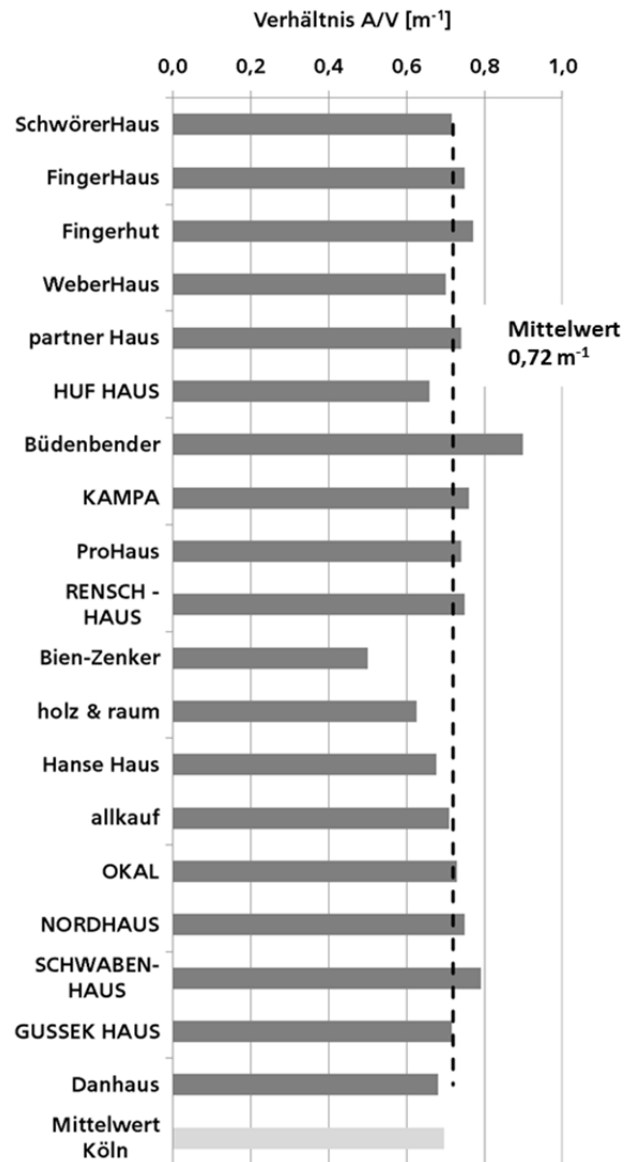


Bild 8:  
Verhältnis A/V und dessen Mittelwert der Effizienzhäuser Plus der Fertighaus-Welt in Wuppertal sowie der Mittelwert der Gebäude in Köln.

### 5.3 Kennwerte des baulichen Wärmeschutzes

Die 19 Gebäude sind überwiegend in kompakten, wärmebrückenarmen und energetisch optimierten Baukonstruktionen der Gebäudehülle errichtet.

Die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Dachkonstruktion der einzelnen Demonstrationsvorhaben sind in Bild 9 dargestellt. Dabei beträgt der kleinste U-Wert  $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und der höchste  $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Im Mittel beträgt der U-Wert  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und liegt somit ca. 30 Prozent unterhalb des EnEV-Referenzwertes dieses Bauteils von  $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

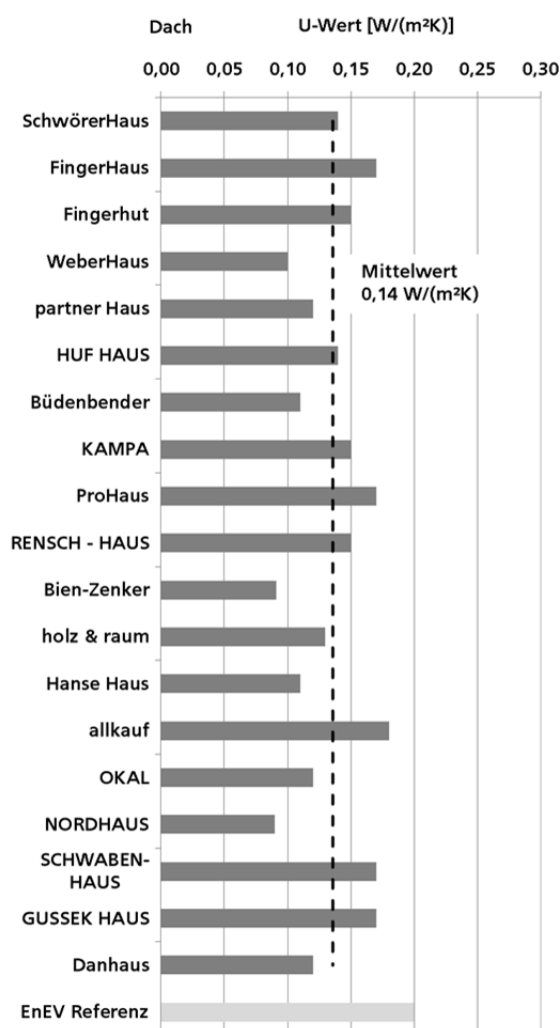


Bild 9:  
U-Wert der Dachkonstruktion der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard und EnEV-Referenzwert.



Die U-Werte der Wandkonstruktion der einzelnen Demonstrationsvorhaben sind in Bild 10 dargestellt. Der minimale U-Wert liegt für die Wandkonstruktion bei  $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und maximal bei  $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Im Mittel beträgt er  $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und liegt somit mehr als 50 Prozent unterhalb des EnEV-Referenzwertes von  $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

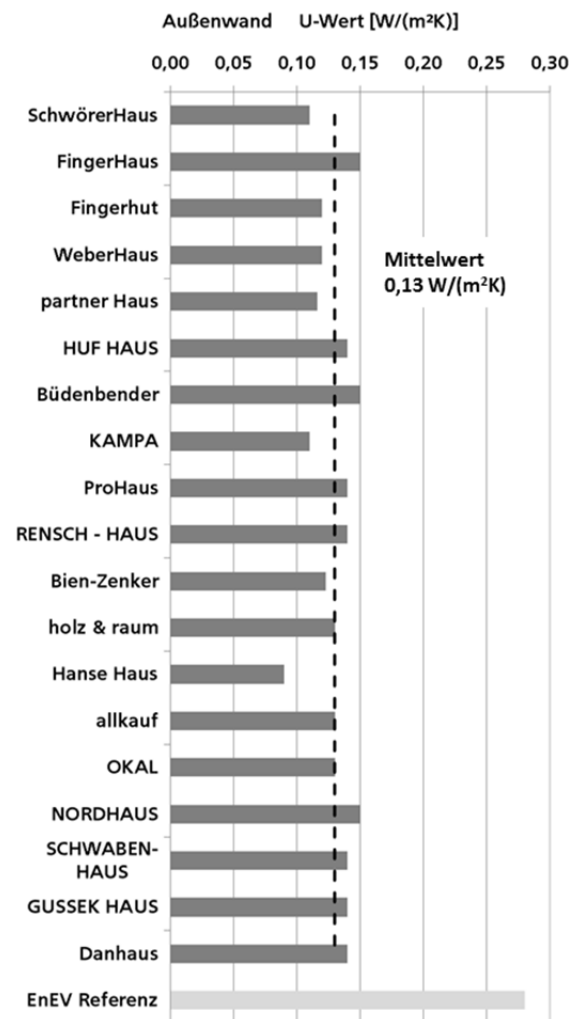


Bild 10:  
U-Wert der Außenwandkonstruktion der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Die verbauten Fenster sind vorrangig dreifach-verglast, deren  $U_W$  für das Gesamtbauteil Fenster zwischen minimal  $0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  und maximal  $1,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  schwanken. Wie in Bild 11 zu sehen, liegt der  $U_W$  – Wert im Mittel bei  $0,85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  und unterschreitet den Referenzwert der EnEV von  $1,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  um 45 Prozent.

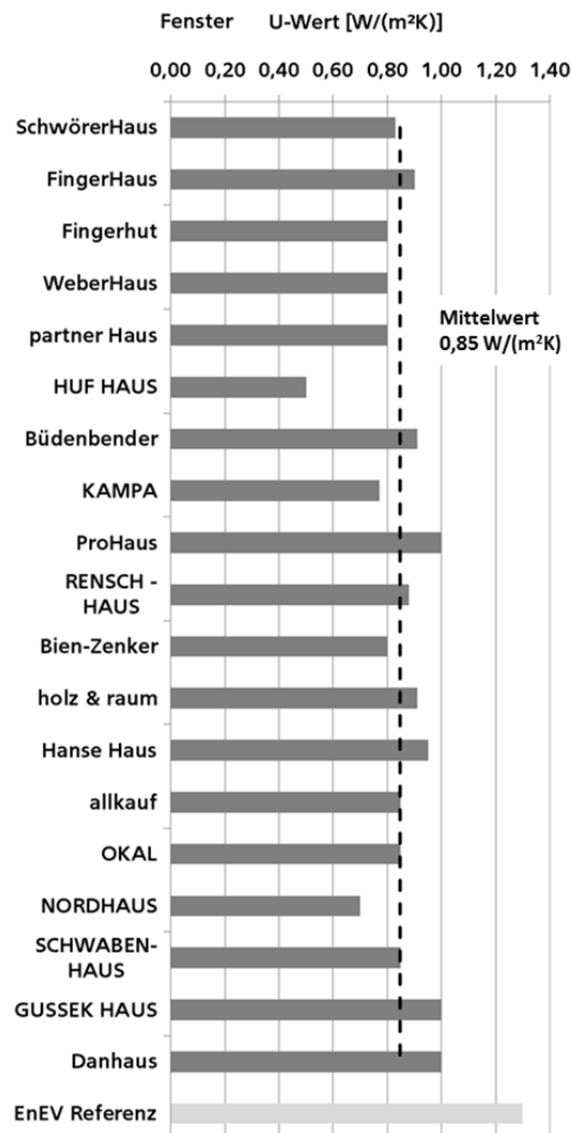


Bild 11:  
U-Wert der Fensterkonstruktion der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Im Bereich des unteren Gebäudeabschlusses des beheizten Volumens werden U-Werte der Bodenplatten nach Bild 12 von minimal 0,09 W/(m²K) und maximal 0,35 W/(m²K) erreicht. Im Mittel liegt der Wert bei 0,19 W/(m²K) und unterschreitet den Referenzwert der EnEV von 0,35 W/(m²K) um 45 Prozent.

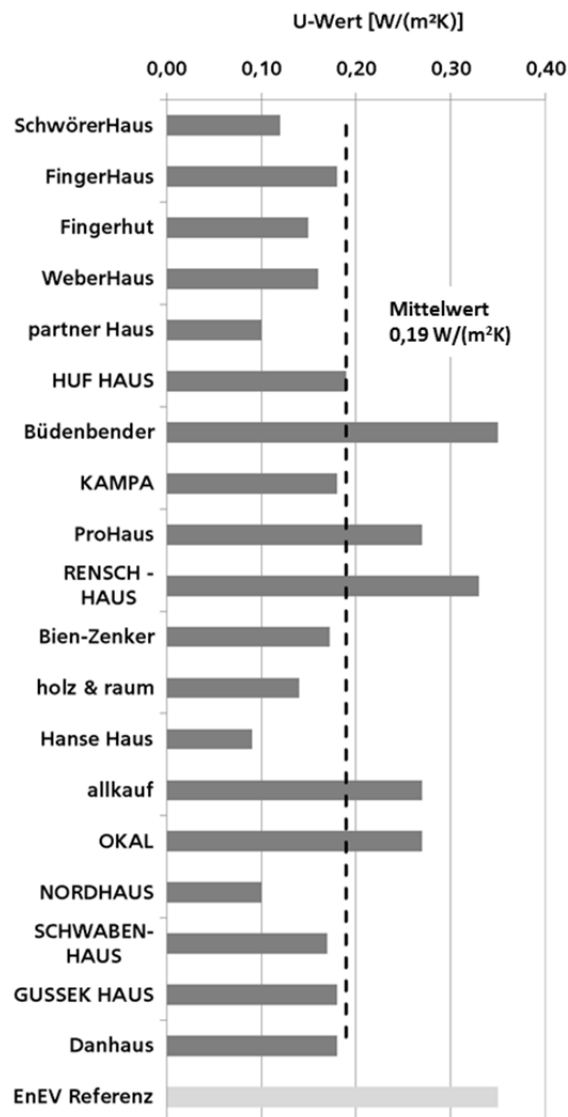


Bild 12:

U-Wert der Bodenplattenkonstruktion der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Zusammenfassend ist der deutlich bessere Wärmeschutz der realisierten Gebäude im Vergleich zu dem in der Energieeinsparverordnung (EnEV) beschriebenen Gebäude in Bild 13 dargestellt. Die U-Werte des EnEV-Referenzgebäudes werden im Mittel um ca. 40 Prozent unterschritten.

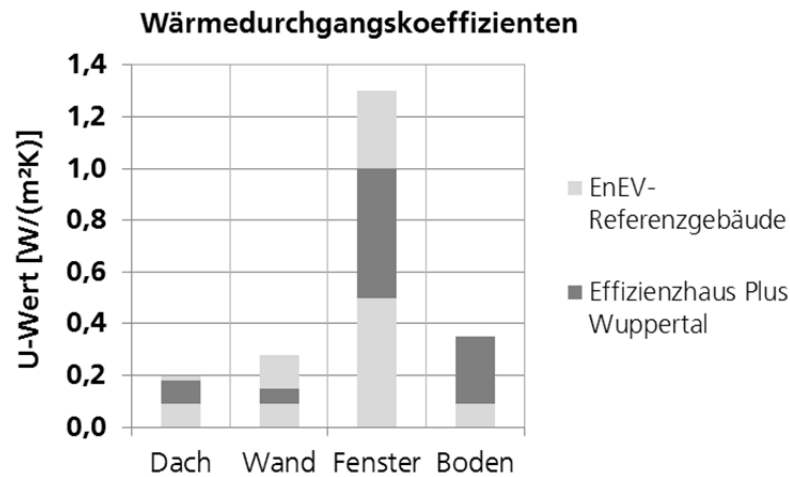


Bild 13:

Bandbreite der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) einzelner Bauteile der Effizienzhäuser Plus Wuppertal im Vergleich zu den Vorgabewerten des Referenzgebäudes der Energieeinsparverordnung.

Einen Vergleich der Wärmedurchgangskoeffizienten der Häuser der FertighausWelt in Wuppertal und der untersuchten Häuser in Köln im Vergleich zum EnEV-Referenzgebäude ist in Tabelle 2 gezeigt. Zwischen den U-Werten der Gebäude der FertighausWelten liegen nur geringfügige Unterschiede vor, lediglich die Fenster als auch die Bodenplatten sind in Köln mit einer etwas höheren wärmedämmtechnischen Qualität ausgestattet.

Tabelle 2:

Größe des Areals und Anzahl der Häuser der FertighausWelten in Wuppertal und Köln.

| U-Wert<br>[W/(m²K)]     | Dach | Wand | Fenster | Boden |
|-------------------------|------|------|---------|-------|
| Wuppertal<br>Mittelwert | 0,14 | 0,13 | 0,85    | 0,19  |
| Köln<br>Mittelwert      | 0,12 | 0,14 | 0,78    | 0,16  |
| EnEV<br>Referenzwert    | 0,20 | 0,28 | 1,3     | 0,35  |

Der auf die Umfassungsflächen bezogene Transmissionswärmeverlust  $H'_T$  ist für die einzelnen Gebäude in Bild 14 dargestellt. Ergänzend zeigt die Grafik am unteren Rand des Diagramms den zulässigen Grenzwert nach EnEV für Gebäude mit einer Nutzfläche von  $A_N \leq 350 \text{ m}^2$  und für Gebäude mit einer Nutzfläche von  $A_N > 350 \text{ m}^2$ . Bei den Gebäuden in Wuppertal verfügt nur das Haus der Firma Bien-Zenker über eine Nutzfläche von mehr als  $350 \text{ m}^2$ .

Aufgrund der wärmetechnisch hochwertigen Hüllflächenbauteile bewegt sich der Transmissionswärmeverlust  $H'_T$  aller Objekte zwischen  $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und  $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und beträgt im Mittel  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Damit wird der zulässige Grenzwert der EnEV um im Mittel 35 Prozent unterschritten. Die mittlere energetische Qualität der Gebäudehülle bewegt sich zwischen den derzeit gültigen KfW-Förderstufen (Effizienzhaus 40 und 55). Der Schwerpunkt tendiert jedoch in Richtung KfW-Effizienzhaus 55.

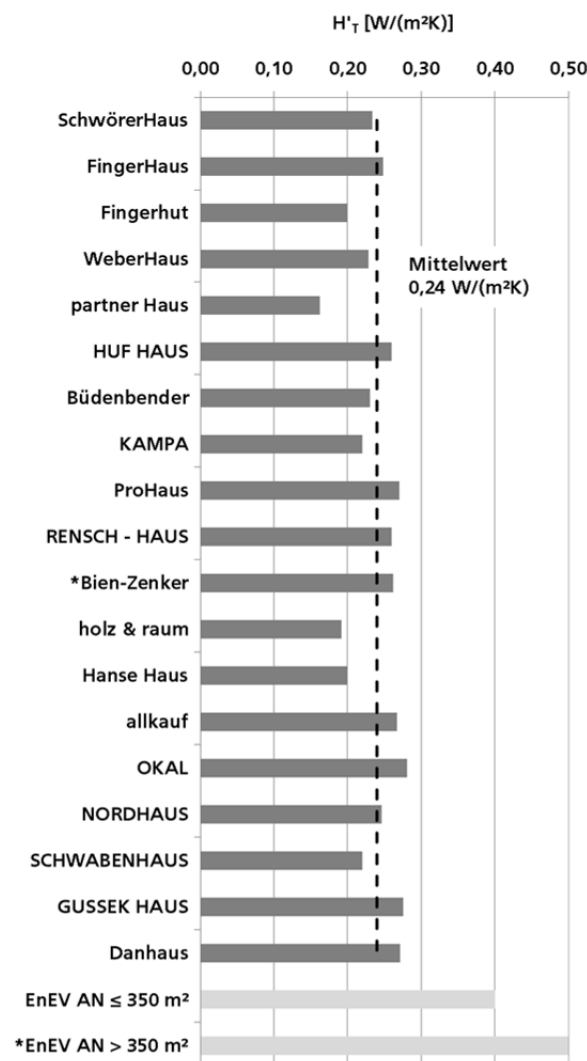


Bild 14:  
Transmissionswärmeverlust  $H'_T$  der Musterhäuser der FertighausWelt in Wuppertal mit Angabe der zulässigen Größen nach der EnEV.

Im Vergleich zu den Häusern der FertighausWelt in Köln, die einen mittleren Transmissionswärmeverlust von  $0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  aufweisen, besteht im Hinblick auf die wärmedämmtechnische Qualität der Gebäudehülle kein Unterschied.

## 5.4 Anlagentechnische Kennwerte der Gebäude

### Wärmeerzeuger

Zur Deckung des Nutzwärmebedarfs werden ausschließlich elektrisch betriebene Wärmepumpen eingesetzt. Dabei wird vorzugsweise als Wärmequelle, wie Bild 15 zeigt, die Luft mit 89 Prozent aller eingesetzten Wärmepumpen und das Erdreich mit 11 Prozent genutzt. Beim Betrieb der Luftwärmepumpen wird in einem Gebäude (6 Prozent) die Abluft, in zwei Gebäuden (12 Prozent) sowohl die Ab- als auch die Außenluft und in den übrigen 14 Gebäuden (82 Prozent) die reine Außenluft als Wärmequelle verwendet. Die Heizleistung der installierten Anlagen bewegt sich zwischen 3 kW bis zu 15,5 kW.

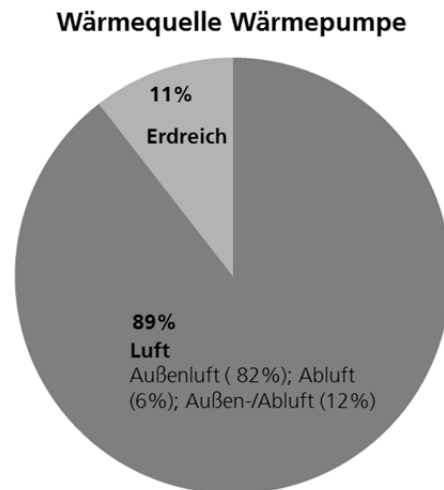


Bild 15:  
Prozentuale Verteilung der Wärmequelle der Wärmepumpen der Musterhäuser der FertighausWelt in Wuppertal.

### Lüftungsanlagen

Zur Versorgung der Häuser mit Frischluft wird ein Gebäude (5 Prozent) über eine bedarfsgeführte Abluftanlage betrieben. Alle anderen 18 Musterhäuser (95 Prozent) verfügen über eine zentrale Zu- und Abluftanlage. Wie Bild 16 zeigt, ist für 7 Vorhaben (37 Prozent) die Lüftungsanlage in einem Kompaktgerät in Kombination mit der Wärmepumpe integriert.

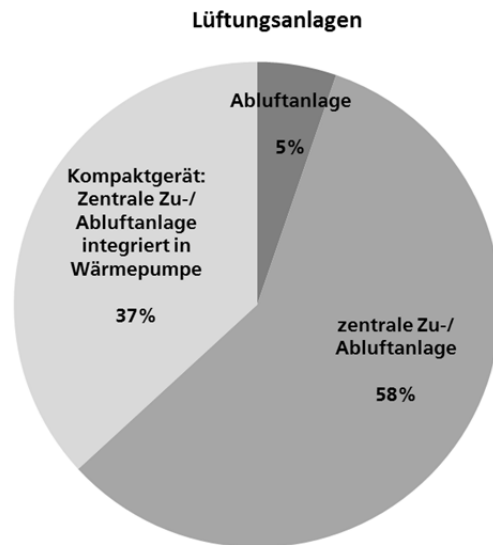


Bild 16:  
Prozentuale Verteilung des Lüftungsanlagentyps der Musterhäuser der FertighausWelt in Wuppertal.

### Photovoltaikanlagen

Die solare Stromerzeugung der Gebäude wird mit unterschiedlichen Photovoltaikmodulen realisiert, die überwiegend als Aufdachmontagen ausgeführt sind. Dabei werden, wie Bild 17 zeigt, zu 37 Prozent Solarzellen aus monokristallinem Silicium und zu 58 Prozent aus polykristallinem Silicium verbaut. Bei einem Objekt werden CIS- (Kupfer-Indium-Diselenid) Solarzellen in der Fassade integriert.

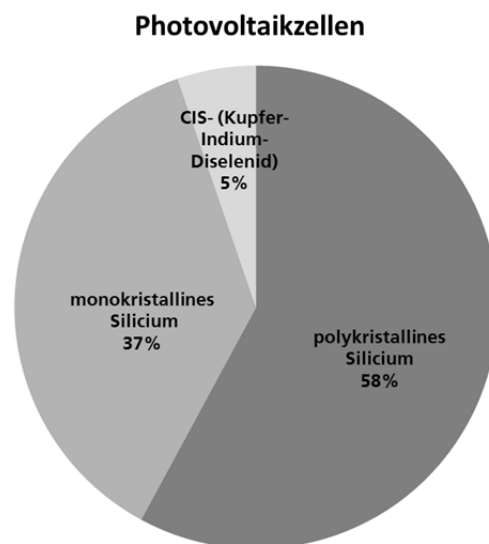


Bild 17:  
Art und Verteilung der Photovoltaik-Zellen der Musterhäuser der FertighausWelt in Wuppertal.

Die installierte Photovoltaikfläche der Gebäude liegt zwischen 39 m<sup>2</sup> und 98 m<sup>2</sup>. Die dabei installierte Photovoltaikfläche pro m<sup>2</sup> beheizte Wohnfläche beträgt nach Bild 18 im Mittel 0,30 m<sup>2</sup><sub>PV</sub>/ m<sup>2</sup><sub>Wfl.</sub>. Im Vergleich zu den Gebäuden in der FertighausWelt in Köln, wo eine Verhältniszahl von 0,41 vorliegt, wurden in Wuppertal weniger Photovoltaikflächen installiert.

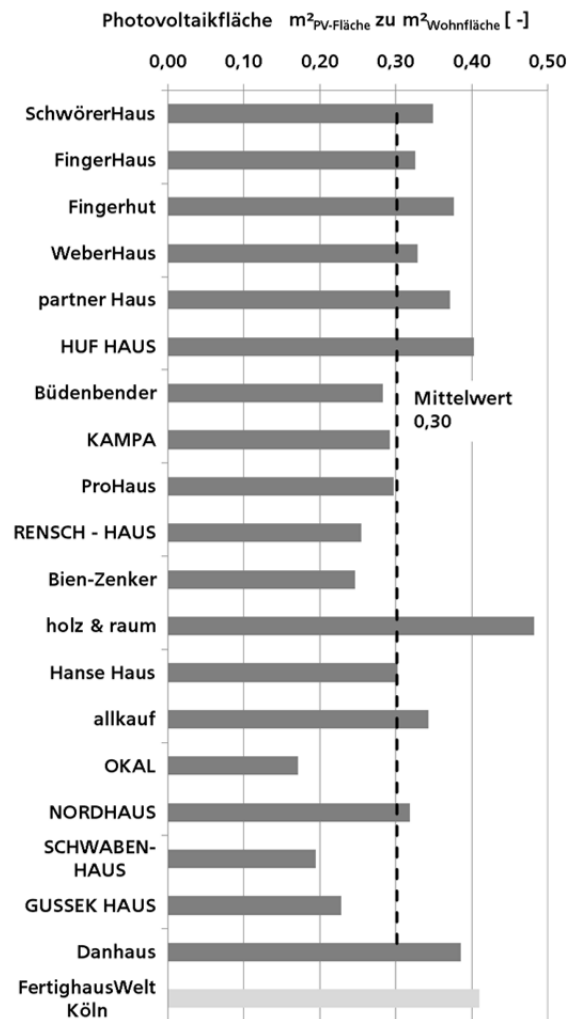


Bild 18:  
Verhältnis Photovoltaikfläche zur beheizten Wohnfläche der Musterhäuser der FertighausWelt Wuppertal.



## 5.5 Zentraler Batteriespeicher

Als Batteriespeicher wird eine Vanadium-Redox Flow Batterie des Herstellers Gildemeister Energy Solutions Typ FB 10-40 eingesetzt. Durch eine Aufrüstung kann die Batterie mit einer Nennleistung von 30 kW be- bzw. entladen werden und besitzt dabei eine Kapazität von 130 kWh, wobei die Entladeenergie (AC) auf 104 kWh beschränkt ist. In Bild 19 ist der Aufbau und die Funktion der Batterie schematisch dargestellt.

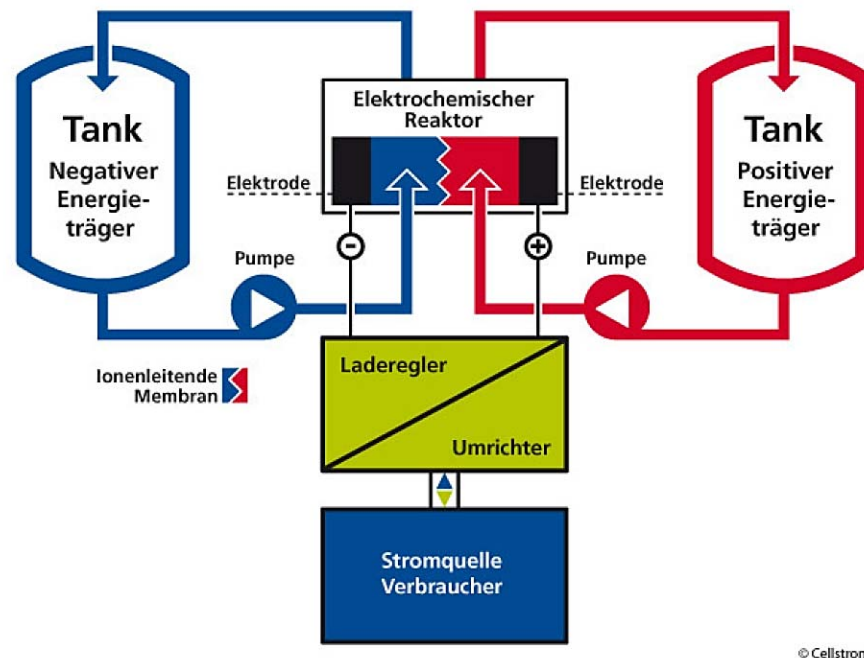


Bild 19:  
Aufbau und Funktion der Vanadium Redox Flow Batterie (Quelle: Betriebs-  
handbuch CellCube FB 10/20/30; Gildemeister Energy Solutions).

Die Funktion des Batteriespeichers wird vom Hersteller wie folgt beschrieben [2]:

„Die Vanadium Redox Flow Batterie ist ein elektrochemischer Durchflussreaktor mit in Serie verbundenen elektrochemischen Zellen. Die einzelne Zelle ist durch eine Membran in zwei Halbzellen mit je einer Elektrode geteilt. Diese Halbzellen werden von je einer Flüssigkeit, den Energieträgern - auch Elektrolyte genannt - parallel durchflossen. Beim Laden wird über die Elektroden in die Halbzellen elektrische Energie zugeführt und dabei in einem Redox Prozess die chemische Energie der Flüssigkeiten verändert. Beim Entladen wird die chemische Energie der Flüssigkeiten durch Umkehr des Redox Prozesses und Entnahme elektrischer Energie an den Elektroden wieder in den Ausgangszustand gebracht. Im Betrieb werden die flüssigen Energieträger (positiver und negativer Elektrolyt) ständig im Kreislauf zwischen elektrochemischen Zellen/Stacks und Tanks gepumpt. Der elektrische Strom wird über einen Laderegler an die Stacks gebracht und über einen Wechselrichter an den Verbraucher geleitet.“

Der Batteriespeicher ist in der Nähe des Empfangsgebäudes im Freien aufgestellt und an den Stromversorgungsstrang 2 angeschlossen. Die Regelung der Be- und Entladung wird vom Batteriespeicher selbst übernommen. Es wird lediglich die vom Hauptstromzähler gemessene aktuelle elektrische Leistung an die Datenschnittstelle des Speichers übergeben. Im vorliegenden Fall werden die Leistungen der beiden Ringzähler 1 und 2 zu einem sogenannten virtuellen Zähler addiert und sekundlich an den Speicher übertragen. Der Speicher wird im aktuellen Regelungsmodus beladen, sobald dieser Wert eine Einspeisung ins öffentliche Netz wiedergibt und entladen, wenn ein Bezug vom öffentlichen Netz vorliegt. Die Belade- und Entladeleistung wird dabei so angepasst, dass der Speicher im Idealfall nicht ins öffentliche Netz einspeist bzw. aus dem öffentlichen Netz bezieht.

Des Weiteren übermittelt der CellCube seine Statusdaten und im Bedarfsfall Alarmmeldungen via Internetverbindung an die Servicezentrale des Herstellers.

## 6 Rechnerische Bewertung verschiedener Versorgungskonzepte

Durch eine modulare und integrale Gestaltung der Infrastruktur des Ausstellungsgeländes der FertighausWelt Wuppertal können anhand des Standorts unterschiedliche Lösungen untersucht werden, mittels denen der Primärenergieverbrauch und die Investitionskosten von ganzen Siedlungen minimiert werden können. Ziel ist es dabei, Strategien für eine größtmögliche Wirtschaftlichkeit und eine hohe Einsparung von Primärenergie herauszuarbeiten. Die Versorgungsvarianten werden beginnend von traditionellen dezentralen Lösungen hin zu innovativen zentralen Siedlungskonzepten fortentwickelt, mit dem Ziel, den Eigennutzungsgrad in der Siedlung kontinuierlich zu steigern.

Innerhalb des Arbeitspaketes sollen die Auswirkungen der nachfolgend aufgeführten Versorgungskonzepte auf den Primärenergiebedarf, den Investitionskosten sowie den Eigennutzungsgrad unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit aufgezeigt werden:

- V0 (Referenzvariante): Dezentrale Gebäude und PV-Anlagen. Der PV-Ertrag wird entweder am Gebäude selbst verbraucht oder in das Stromnetz des EVU eingespeist.
- V1: Dezentrale Gebäude und PV-Anlagen mit Hausbatterie (Untervarianten mit 1 kWh Nutzkapazität pro kWp PV-Leistung und 2 kWh/kWp). Der PV-Ertrag wird entweder am Gebäude selbst verbraucht oder in das Stromnetz des EVU eingespeist.
- V2: Dezentrale Gebäude und PV-Anlagen, welche mit einem Quartiersstromnetz miteinander verbunden sind sowie mit einem weiteren Gebäude (Info-Zentrum der FertighausWelt Wuppertal). Der PV-Ertrag wird entweder am Gebäude selbst verbraucht, ins Quartiersstromnetz eingespeist und an anderer Stelle im Quartier verbraucht, oder in das Stromnetz des EVU eingespeist.
- V3: Dezentrale Gebäude und PV-Anlagen, welche mit einem Quartiersstromnetz miteinander verbunden sind sowie mit einem weiteren Gebäude (Info-Zentrum der FertighausWelt Wuppertal) und sich eine ge-

meinsame Quartiersbatterie teilen (Untervarianten für die Quartiersbatterie mit Nutzkapazitäten von 36 bzw. 106 kWh). Der PV-Ertrag wird entweder am Gebäude selbst verbraucht, in die Quartiersbatterie oder ins Quartiersstromnetz eingespeist und an anderer Stelle im Quartier verbraucht oder in das Stromnetz des EVU eingespeist.

- V4: Dezentrale Plusenergiegebäude mit PV-Anlagen sowie weitere Einfamilien-Typgebäude (KfW 55), welche mit einem Quartiersstromnetz und einer Quartiersbatterie miteinander verbunden sind. Innerhalb der Variante wird die Anzahl der KfW 55-Einfamilienhäuser variiert, sowie zwei Untervarianten gebildet, bei denen die Wärmeerzeugung zwischen Wärmepumpe bzw. Gasbrennwert variiert wird.
- V5: Die 19 Plusenergiegebäude werden an ein Quartiersstromnetz, eine Quartiersbatterie und ein Quartierswärmenetz gekoppelt. Die Wärmeerzeugung für das Quartierswärmenetz übernimmt eine zentrale Sole-Wasser-Wärmepumpe. Die Trinkwasser-Nacherwärmung erfolgt dezentral mit elektrischen Durchlauferhitzern. In Untervarianten werden verschiedene Stückzahlen an zusätzlichen KfW55-Gebäuden dem Quartiersstrom- und -wärmenetz hinzugefügt.

Die betrachteten Versorgungskonzepte werden in Bezug auf den Endenergiebedarf, den Investitionskosten, den Eigennutzungsgrad sowie der Wirtschaftlichkeit miteinander verglichen und die besten Konzepte herausgestellt.

Die Methodik der Berechnung der unterschiedlichen Versorgungsvarianten findet sich in Anhang A.1.

## **6.1 Ergebnisse der Versorgungsvarianten**

Nachfolgend werden die Berechnungsergebnisse der unterschiedlichen Versorgungsvarianten dargestellt, welche anschließend miteinander verglichen werden. Die Methoden auf deren Basis die Ergebnisse der Versorgungsvarianten berechnet wurden sind in Kapitel 11 detailliert beschrieben.

### **6.1.1 Versorgungsvariante V0**

Bei der Versorgungsvariante V0 handelt es sich um die Referenzvariante. Sie besteht aus den 19 Musterhäusern mit anhand der Effizienzhaus Plus-Lastprofile abgebildeten Wohnungsnutzung. Die Annahmen zur installierten PV-Leistung orientieren sich hierbei an den tatsächlich verbauten PV-Anlagen in der FertighausWelt. Der PV-Ertrag wird entweder am Gebäude selbst verbraucht oder in das Stromnetz des EVU eingespeist. Es gibt keine Speichermöglichkeit für den erzeugten PV-Strom.

Die Ergebnisse des Living Lab für die Versorgungsvariante V0 sind in Tabelle 3 aufgeführt. Aufgrund der fehlenden Speichermöglichkeit für den produzierten PV-Strom beträgt der über alle Gebäude gemittelte Eigenverbrauchsanteil nur 25 Prozent.

Tabelle 3:

Berechnungsergebnisse der Variante V0 (Referenzvariante) über alle Musterhäuser im Living Lab Wuppertal.

| <b>Ergebnisse von V0</b>                  |         |
|-------------------------------------------|---------|
| Strombedarf der Gebäude [kWh]             | 125.780 |
| PV-Produktion der Gebäude [kWh]           | 159.687 |
| Direkter Eigenverbrauch der Gebäude [kWh] | 39.182  |
| Mittlerer Eigenverbrauchsanteil [%]       | 25      |
| Netzeinspeisung [kWh]                     | 120.502 |
| Netzbezug [kWh]                           | 86.598  |

### 6.1.2 Versorgungsvariante V1

Bei der Versorgungsvariante V1 handelt es sich um die Referenzvariante mit zusätzlichen Hausbatterien, welche in drei Untervarianten mit 1 kWh Nutzkapazität pro installierter kWp PV-Leistung (V1.1), 2 kWh/kWp (V1.2) und 0,6 kWh/kWp (V1.3) abgebildet werden. Der PV-Ertrag wird entweder am Gebäude selbst verbraucht (direkt oder zwischengespeichert in der Hausbatterie) oder in das Stromnetz des EVU eingespeist.

Die Ergebnisse des Living Lab für die Versorgungsvariante V1 sind in Tabelle 4 aufgeführt. Der erhöhte Strombedarf der Gebäude gegenüber der Variante V0 (+3.983 kWh) ergibt sich durch den Stromverbrauch der Stromspeicher. Aufgrund der nun vorhandenen Speichermöglichkeit für PV-Strom erhöht sich der mittlere Eigenverbrauchsanteil im Vergleich zur Variante V0 (25 Prozent) deutlich auf 47 Prozent (1 kWh/kWp), 52 Prozent (2 kWh/kWp) bzw. 42 Prozent (0,6 kWh/kWp). Durch die Integration der Hausbatterien in das Versorgungskonzept steigt der Strombedarf der Gebäude in Summe um 3.983 kWh (V1.1), 5.319 kWh (V1.2) bzw. 3.414 kWh (V1.3) durch den Stromverbrauch der Hausbatterien. Die Verdopplung der nutzbaren Batteriekapazität von 1 kWh/kWp (V1.1) auf 2 kWh/kWp (V1.2) erhöht den gesamten Eigenverbrauch der Gebäude in Summe lediglich um weitere 7.314 kWh.

Bei dem direkten Eigenverbrauch handelt es sich um jenen Eigenverbrauch, welcher durch die direkte Stromabnahme der Verbraucher aus dem von der PV-Anlage erzeugten Strom ergibt, also ohne Umweg über die Batterien. Der gesamte Eigenverbrauch enthält auch jenen Strom der in den Batterien zwischengespeichert und anschließend verbraucht wurde.

Tabelle 4:  
Berechnungsergebnisse der Versorgungsvariante V1 mit den Untervarianten V1.1, V1.2 und V1.3.

| Ergebnisse von V1                         | V1.1<br>(1 kWh/kWp) | V1.2<br>(2 kWh/kWp) | V1.3<br>(0,6 kWh/kWp) |
|-------------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| Strombedarf der Gebäude [kWh]             | 129.763             | 131.099             | 129.194               |
| PV-Produktion der Gebäude [kWh]           | 159.687             | 159.687             | 159.687               |
| Direkter Eigenverbrauch der Gebäude [kWh] | 40.499              | 41.277              | 40.151                |
| Gesamter Eigenverbrauch der Gebäude [kWh] | 75.615              | 82.929              | 67.167                |
| Mittlerer Eigenverbrauchsanteil [%]       | 47                  | 52                  | 42                    |

### 6.1.3 Versorgungsvariante V2

Bei der Versorgungsvariante V2.1 handelt es sich um die Referenzvariante, wobei die einzelnen Gebäude und ein zusätzliches Gebäude (Info-Zentrum der FertighausWelt Wuppertal) mit einem Quartiersstromnetz miteinander verbunden sind und darüber Energie austauschen können. Der PV-Ertrag wird entweder am Gebäude direkt selbst verbraucht, über das Quartiersstromnetz ausgetauscht oder in das Stromnetz des EVU eingespeist. Es gibt keine Speichermöglichkeit für den erzeugten PV-Strom.

Das Info-Zentrum der FertighausWelt Wuppertal wurde über gemessene Verbrauchswerte abgebildet, wobei zum Zeitpunkt der Berechnung dieser Versorgungsvariante nur die Messwerte einer Jahreshälfte vorlagen. Aufgrund der passenden jahreszeitlichen Messperiode konnte durch eine Spiegelung der Messwerte ein Strombedarf für ein vollständiges Jahr erstellt werden. Der Jahresstrombedarf des Info-Zentrums summiert sich auf 30.136 kWh.

Aufgrund des zusätzlichen Verbraucher-Gebäudes (Info-Zentrum), welches nicht über eine PV-Anlage verfügt, und des zusätzlichen Quartiersstromnetzes steigt der direkte Eigenverbrauch im Quartier um 11.008 kWh im Vergleich zu V0 auf 50.190 kWh (vgl. Tabelle 5). Die Steigerung des Eigenverbrauchs durch das Quartiersnetz setzt sich zusammen aus 816 kWh (vgl. V2.2 – ohne Info-Zentrum), welche zwischen den 19 Plusenergie-Musterhäusern verteilt werden und 10.192 kWh, welche vom Info-Zentrum aufgenommen werden.

Tabelle 5:  
Berechnungsergebnisse der Versorgungsvariante V2, welche neben den 19 Plusenergie-Musterhäusern noch das Info-Zentrum der FertighausWelt Wuppertal in ein Quartiersnetz integriert.

| Ergebnisse von V2                           | V2.1    | V2.2    |
|---------------------------------------------|---------|---------|
| Strombedarf des Quartiers [kWh]             | 155.917 | 125.780 |
| PV-Produktion der Gebäude [kWh]             | 159.687 | 159.687 |
| Direkter Eigenverbrauch der Gebäude [kWh]   | 39.182  | 39.182  |
| Einspeisung ins Quartiersnetz [kWh]         | 120.505 | 120.505 |
| Entnahme aus dem Quartiersnetz [kWh]        | 11.008  | 816     |
| Direkter Eigenverbrauch des Quartiers [kWh] | 50.190  | 39.998  |
| Eigenverbrauchsanteil des Quartiers [%]     | 31      | 25      |

#### 6.1.4 Versorgungsvariante V3

Bei der Versorgungsvariante V3 handelt es sich um die Versorgungsvariante V2, wobei im Quartiersstromnetz, welches die Musterhäuser und das Info-Zentrum miteinander verbindet, eine Quartiersbatterie integriert ist. Die Quartiersbatterie beruht auf dem Funktionsprinzip der Redox-Flow-Batterie, deren Nutzkapazität für die Berechnung der Versorgungsvariante in zwei Untervarianten variiert wird (V3.1: 36 kWh Nutzkapazität, V3.2: 106 kWh Nutzkapazität). Der PV-Ertrag wird entweder am Gebäude selbst verbraucht, in die Quartiersbatterie oder ins Quartiersstromnetz eingespeist und an anderer Stelle im Quartier verbraucht oder in das Stromnetz des EVU eingespeist.

Besonders deutlich zeigt sich die Erhöhung des Strombedarfs des Quartiers durch die Redox-Flow-Batterie. Das Quartier ohne Batterie hat einen Strombedarf von 155.917 kWh (vgl. Kapitel 6.1.3). Durch die Redox-Flow-Batterie und deren hohe Standbyverluste erhöht sich der Strombedarfs des Quartiers um 4.377 kWh (V3.1) bzw. 5.518 kWh (V3.2), wodurch sich ebenfalls der direkte und gesamte Eigenverbrauch des Quartiers erhöht. Dies entspricht einer Erhöhung des Eigenverbrauchs von 122 kWh pro kWh Nutzkapazität (V3.1) bzw. 52 kWh/kWh (V3.2). Im Vergleich dazu erhöht sich in V1.3, welche in Summe ebenfalls über eine Nutzkapazität von 106 kWh verfügt und somit vergleichbar zu V3.2 ist, der Eigenverbrauch um lediglich 32 kWh/kWh.

Würde die Redox-Flow-Batterie durch einen Lithium-Ionen-Akkumulator gleicher nutzbarer Kapazität (106 kWh) ersetzt und dieser gemäß den in Kapitel 11.6 beschriebenen Zusammenhängen modelliert, so könnten deutlich bessere Ergebnisse erzielt werden. Dies liegt zum einem am höheren Wechselrichterwirkungsgrad der Lithium-Ionen-Akkus und an deren geringeren Standby- und Leerlaufverlust. Die Ergebnisse für die Variante mit Lithium-Ionen-Akkumulator sind in V3.3 dargestellt

Tabelle 6:

Berechnungsergebnisse der Versorgungsvariante V3, welche die Musterhäusern und das Info-Zentrum enthält. Diese sind über ein Quartiersnetz untereinander und mit einer Quartiersbatterie verbunden.

| Ergebnisse von V3                           | V3.1<br>(36 kWh) | V3.2<br>(106 kWh) | V3.3<br>(106 kWh) |
|---------------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Strombedarf des Quartiers [kWh]             | 160.296          | 161.435           | 157.371           |
| PV-Produktion der Gebäude [kWh]             | 159.687          | 159.687           | 159.687           |
| Direkter Eigenverbrauch der Gebäude [kWh]   | 39.182           | 39.182            | 39.302            |
| Einspeisung ins Quartiersnetz [kWh]         | 108.284          | 107.954           | 109.954           |
| Entnahme aus dem Quartiersnetz [kWh]        | 12.221           | 12.551            | 11.203            |
| Ladung der Quartiersbatterie [kWh]          | 11.047           | 29.162            | 28.052            |
| Entnahme aus der Quartiersbatterie [kWh]    | 8.948            | 23.621            | 24.687            |
| Direkter Eigenverbrauch des Quartiers [kWh] | 51.403           | 51.733            | 50.385            |
| Gesamter Eigenverbrauch des Quartiers [kWh] | 62.451           | 80.896            | 78.437            |
| Eigenverbrauchsanteil des Quartiers [%]     | 39               | 51                | 49                |
| Netzeinspeisung [kWh]                       | 97.238           | 78.793            | 81.251            |
| Netzbezug [kWh]                             | 99.945           | 86.081            | 82.299            |

### 6.1.5 Versorgungsvariante V4

Die Versorgungsvariante V4 ist zur Übertragung der Plusenergie-Musterhäuser in die gebaute Realität gedacht. Deshalb wurden dem Plusenergiequartier, bestehend aus den 19 Wuppertaler Musterhäusern, weitere Gebäude hinzugefügt, welche ausschließlich als Verbraucher dienen. Außerdem wurde das Info-Zentrum, welches sehr spezifisch für die Fertighauswelt Wuppertal ist, nicht mehr berücksichtigt. Ansonsten handelt es sich bei V4 um eine Erweiterung von V3 um weitere Gebäude, welche ausschließlich als Verbraucher auftreten. Diese Verbraucherhäuser wurden gemäß Kapitel 11.7 abgebildet. Die Verbraucherhäuser sind KfW 55-Einfamilienhäuser (Stand 06/2017), welche entweder mit dem Wärmeerzeuger Wärmepumpe oder Gasbrennwertthermen ausgestattet sind. Die Gebäude mit Gasbrennwerttherme können dabei stellvertretend für Gebäude gesehen werden, welche über keine strombasierte Wärmeherzeugung verfügen. Je nach Untervariante, werden zu den bestehenden 19 Musterhäusern, welche über das Quartiersstromnetz untereinander und mit der Quartiersbatterie verbunden sind, weitere Verbrauchergebäude an das Quartiersnetz und somit auch an die Quartiersbatterie angeschlossen. Eine Übersicht der Untervarianten von V4 ist in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7:

Auflistung der Untervarianten für die Versorgungsvariante V4.

| <b>Untervarianten von V4</b> | <b>Anzahl der KfW55-Typ-Einfamilienhäuser mit Luft-Wasser-Wärmepumpe</b> | <b>Anzahl der KfW55-Typ-Einfamilienhäuser mit Gasbrennwerttherme</b> |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| V4.1.0                       | 0                                                                        | 0                                                                    |
| V4.1.1                       | 10                                                                       | 0                                                                    |
| V4.1.2                       | 20                                                                       | 0                                                                    |
| V4.1.3                       | 30                                                                       | 0                                                                    |
| V4.2.1                       | 0                                                                        | 10                                                                   |
| V4.2.2                       | 0                                                                        | 20                                                                   |
| V4.2.3                       | 0                                                                        | 30                                                                   |

Die Quartiersbatterie verfügt in dieser Versorgungsvariante, analog zu V3.2, über eine nutzbare Kapazität von 106 kWh. Auch die sonstigen technischen Randbedingungen der Vanadium-Redox-Flow-Batterie bleiben gleich. Die 19 Musterhäuser sowie die PV-Anlagen bleiben unverändert.

Die Erweiterung des Quartiers um weitere Verbrauchergebäude erhöht den Strombedarf des Quartiers. Dieser Effekt ist bei den Untervarianten mit Wärmepumpen-Wärmeerzeugung stärker ausgeprägt als bei einer Wärmeversorgung mit Gas, wo nur ein Strombedarf für die Hilfsenergie, Lüftung und Nutzerstrom anfällt. Der höhere Strombedarf führt durch die Kopplung der Gebäude über das Quartiersstromnetz zu einem höheren direkten Eigenverbrauch, wobei hier die Untervarianten mit Wärmepumpen (V4.1.1 bis V4.1.3) aufgrund des insgesamt höheren Strombedarfs besser abschneiden als die Vergleichsvarianten mit Gas-Wärmeerzeugung. Mit steigendem Strombedarf und gleichbleibender PV-Strom-Erzeugung sinkt auch der Anteil am gesamten Eigenverbrauch, welcher durch die VRF-Batterie gedeckt werden kann. Die Ergebnisse der Versorgungsvariante V4 sind in Tabelle 8 aufgeführt. Auf die zusätzlichen

Verbraucher-Häuser mit Wärmepumpe entfällt pro Haus ein Eigenverbrauch an PV-Strom von 1.281 kWh/a (V4.1.1) bis 1.123 kWh/a (V4.1.3). Somit profitieren diese Häuser deutlich stärker vom Anschluss an das Quartiersnetz als die Gas-beheizten, welche zwischen 836 kWh/a (V4.2.1) bis 785 kWh/a (V4.2.3) aus dem Quartiersnetz beziehen. Für die Betreiber bzw. Einspeiser des Quartiersnetzes und der Quartiersbatterie wird somit der Betrieb mit steigender Anzahl an Verbrauchern attraktiver, wohingegen der Anschluss für die Verbraucherhäuser mit steigender Anschlussnehmerzahl unattraktiver wird, da sie weniger günstigen PV-Strom aus dem Quartiersnetz beziehen können. Die Wirtschaftlichkeit des Netzes samt Batterie sowie die Wirtschaftlichkeit des Anschlusses für die Verbraucherhäuser ist in Kapitel 6.2.5 dargestellt.

Tabelle 8:  
Ergebnisse der Untervarianten für die Versorgungsvariante V4.

| Ergebnisse von V4                                       | V4.1.0  | V4.1.1  | V4.1.2  | V4.1.3  | V4.2.1  | V4.2.2  | V4.2.3  |
|---------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Strombedarf des Quartiers [kWh/a]                       | 131.299 | 194.186 | 257.073 | 319.960 | 163.026 | 194.754 | 226.481 |
| PV-Produktion der Gebäude [kWh/a]                       | 159.687 | 159.687 | 159.687 | 159.687 | 159.687 | 159.687 | 159.687 |
| Entnahme aus der Quartiersbatterie [kWh/a]              | 23.771  | 22.935  | 21.293  | 19.846  | 23.834  | 23.081  | 22.283  |
| Direkter Eigenverbrauch des Quartiers [kWh/a]           | 41.729  | 56.794  | 69.957  | 81.508  | 51.234  | 60.045  | 68.323  |
| Gesamter Eigenverbrauch des Quartiers [kWh/a]           | 71.076  | 85.108  | 96.245  | 106.010 | 80.659  | 88.540  | 95.833  |
| Eigenverbrauchsanteil des Quartiers [%]                 | 45      | 53      | 60      | 66      | 51      | 55      | 60      |
| Eigenverbrauch pro zusätzlichem Verbraucherhaus [kWh/a] | 0       | 1.281   | 1.197   | 1.123   | 836     | 812     | 785     |
| Netzeinspeisung [kWh]                                   | 88.613  | 74.580  | 63.444  | 53.678  | 79.030  | 71.149  | 63.855  |
| Netzbezug [kWh]                                         | 65.799  | 114.458 | 165.823 | 218.605 | 87.959  | 111.628 | 138.876 |

### 6.1.6 Versorgungsvariante V5

Die Versorgungsvariante V5 stellt eine Erweiterung der Versorgungsvariante V4 um ein Nahwärmenetz dar. Die 19 Wuppertaler Musterhäuser sind an ein Quartiersstrom- (incl. Quartiersbatterie - 106 kWh) und Wärmenetz angeschlossen. Die Wärmeerzeugung erfolgt zentral über eine Sole-Wasser-WP. Die Nacherwärmung des Trinkwarmwassers erfolgt dezentral über elektrische Heizstäbe.

In der Variante V5.1.1 werden die 19 Plusenergiegebäude an ein Nahwärmenetz gekoppelt, welches vom 15. April bis 15. September nicht in Betrieb ist. Während dieser Zeit erfolgt die Trinkwarmwassererzeugung ausschließlich über elektrische Heizstäbe. In Variante V5.1.2 wird das Nahwärmenetz ganzjährig



mit gleichbleibendem Temperaturniveau betrieben (55/30). In Variante V5.1.3 wird das Nahwärmenetz ganzjährig mit einem gleichbleibenden Temperaturniveau von  $T_{VL}$  75 °C und  $T_{RL}$  45°C betrieben.

Die Ergebnisse der Varianten sind in Tabelle 9 dargestellt. Dort zeigt sich, dass trotz der anfallenden Wärmeverluste im Nahwärmenetz und der andauernd anfallenden Leistungsaufnahme der Nahwärmenetzpumpe ein ganzjähriger Betrieb (V5.1.2) aus energetischer Sicht sinnvoller ist, ein ganzjähriger Betrieb mit erhöhter Temperatur (V5.1.3) erwartungsgemäß aufgrund der geringeren JAZ der Wärmepumpe sich schlechter darstellt als V5.1.2. Zwar ist der erzielte Eigenverbrauch in der Variante mit nur halbjährig betriebenen Nahwärmenetz (V5.1.1) aufgrund des höheren Energiebedarfs bei der TWW-Erzeugung über elektrische Heizstäbe höher, dafür fällt aber auch der Gesamtstrombedarf des Quartiers incl. Nahwärmenetz rund 15.000 kWh höher aus.

Tabelle 9:  
Berechnungsergebnisse der Versorgungsvarianten V5.

| <b>Ergebnisse von V5</b>                                     | <b>V5.1.1</b> | <b>V5.1.2</b> | <b>V5.1.3</b> |
|--------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Strombedarf des Quartiers incl. Nahwärmenetz [kWh]           | 166.059       | 149.535       | 150.063       |
| PV-Produktion der Gebäude [kWh]                              | 159.687       | 159.687       | 159.687       |
| Direkter Eigenverbrauch der Gebäude incl. Nahwärmenetz [kWh] | 56.123        | 47.857        | 46.436        |
| Entnahme aus der Quartiersbatterie [kWh]                     | 24.203        | 24.353        | 24.489        |
| Gesamter Eigenverbrauch der Gebäude incl. Nahwärmenetz [kWh] | 86.004        | 77.922        | 76.669        |
| Eigenverbrauchsanteil des Quartiers incl. Nahwärmenetz [%]   | 50            | 45            | 44            |
| Netzeinspeisung [kWh]                                        | 73.685        | 81.766        | 83.020        |
| Netzbezug [kWh]                                              | 85.733        | 77.323        | 79.138        |

Analog zur Versorgungsvariante V4 wurden ebenfalls Untervarianten gebildet, welche weitere KfW55-Verbrauchergebäude an das Quartiersstromnetz und in diesem Fall auch an das Nahwärmenetz koppeln. Die Untervarianten V5.2.1 bis V5.2.3 beinhalten 10, 20 und 30 zusätzliche KfW55-Gebäude, welche ebenfalls über das Quartiersstromnetz und die Nahwärme (ganzjähriger Betrieb) (55/30) versorgt werden. Die Ergebnisse der Untervarianten V5.2.1 bis V5.2.3 sind in Tabelle 10 dargestellt. Dort zeigt sich, dass durch die zusätzlichen Verbrauchergebäude der Eigenverbrauch steigt aber die Nutzung der Quartiersbatterie zurückgeht, da der meiste PV-Strom direkt verbraucht werden kann.

Tabelle 10:  
Berechnungsergebnisse der Versorgungsvarianten V5.2.1 bis V5.2.3.

| <b>Ergebnisse von V5</b>                                     | <b>V5.2.1<br/>(+10 KfW55)</b> | <b>V5.2.2<br/>(+20 KfW55)</b> | <b>V5.2.3<br/>(+30 KfW55)</b> |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Strombedarf des Quartiers incl. Nahwärmenetz [kWh]           | 221.098                       | 292.662                       | 364.226                       |
| PV-Produktion der Gebäude [kWh]                              | 159.687                       | 159.687                       | 159.687                       |
| Direkter Eigenverbrauch der Gebäude incl. Nahwärmenetz [kWh] | 65.060                        | 79.822                        | 92.485                        |
| Entnahme aus der Quartiersbatterie [kWh]                     | 22.576                        | 20.610                        | 18.866                        |
| Gesamter Eigenverbrauch der Gebäude incl. Nahwärmenetz [kWh] | 92.932                        | 105.266                       | 115.778                       |
| Eigenverbrauchsanteil des Quartiers incl. Nahwärmenetz [%]   | 55                            | 63                            | 70                            |
| Netzeinspeisung [kWh]                                        | 66.755                        | 54.423                        | 43.911                        |
| Netzbezug [kWh]                                              | 133.462                       | 192.231                       | 252.874                       |

## 6.2 Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvarianten

Nachfolgend wird die Wirtschaftlichkeit für die Versorgungsvarianten betrachtet, ausgehend von der Referenzvariante V0. Für die Wirtschaftlichkeit werden, wie in Kapitel 11.10 näher erläutert, nur Mehr- bzw. Minderkosten der Varianten im Vergleich zur Referenzvariante V0 betrachtet. Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit werden die Verbrauchskosten der Referenzvariante V0 den zusätzlichen Investitions- und Betriebskosten sowie den Verbrauchskosten der anderen Versorgungsvarianten gegenübergestellt und eine Differenz gebildet.

### 6.2.1 Verbrauchskosten der Versorgungsvariante V0

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der anderen Varianten wird davon ausgegangen, dass die Referenzvariante V0 sowieso umgesetzt worden wäre. Deshalb sind alle Kosten, welche für die Anschaffung und den Betrieb der in V0 beinhalten Komponenten als Sowieso-Kosten zu betrachten, welche nicht dargestellt werden. Die Verbrauchskosten der Referenzvariante V0 betragen 10.058 €/a, was sich aus 24.880 €/a für den Strombezug und 14.822 €/a EEG-Vergütung für den eingespeisten Strom zusammensetzt.

Wird die Variante V0 mit dem Info-Zentrum der FertighausWelt Wuppertal betrachtet, so ergeben sich Verbrauchskosten, aufgrund des zusätzlichen Stromverbrauchs, von 18.716 €/a.

Die Berechnungsgrundlagen der Wirtschaftlichkeit sind im Anhang A.1 in den Kapiteln 11.5.1 und 11.10 detailliert beschrieben.

## 6.2.2 Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V1

Im Versorgungskonzept V1 wurden die einzelnen Plusenergie-Musterhäuser zusätzlich mit dezentralen Lithium-Ionen-Akkumulatoren ausgestattet, wobei die nutzbare Kapazität abhängig von der installierten PV-Leistung variiert wurde.

In Summe erhöht sich der Eigenverbrauch von PV-Strom (der Mehrverbrauch durch das Batteriesystem wurde bereits abgezogen) für das Quartier durch die Lithium-Ionen-Akkumulatoren je nach Untervariante zwischen 27.016 kWh/a und 41.652 kWh/a.

Tabelle 11 zeigt, dass die Wirtschaftlichkeit der Lithium-Ionen-Akkumulatoren betrachtet über alle 19 Plusenergiehäuser nicht gegeben ist, da die Einsparungen durch den erhöhten Eigenverbrauch die jährlichen Kosten nicht decken können. Vor allem die Investitionskosten, welche über 15 Jahre abgeschrieben werden und 1.900 € [3] pro nutzbarer kWh Batteriekapazität betragen, verhindern einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen (insgesamt installierte PV-Leistung beträgt 176 kWp). Hier bleibt die Tatsache unberücksichtigt, dass z.B. in Deutschland die Installation von Solarbatterien durch die KfW bis voraussichtlich Ende 2018 gefördert werden.

Tabelle 11:

Ergebnisse der Untervarianten für die Versorgungsvariante V1 (Batteriekosten 2015).

| <b>Wirtschaftlichkeit von V1</b> | <b>V1.1<br/>(1 kWh/kWp)</b> | <b>V1.2<br/>(2 kWh/kWp)</b> | <b>V1.3<br/>(0,6 kWh/kWp)</b> |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Investitionskosten [€/a]         | 22.293                      | 44.840                      | 13.300                        |
| Betriebskosten [€/a]             | 570                         | 570                         | 570                           |
| Verbrauchskosten [€/a]           | 5.216                       | 4.397                       | 6.440                         |
| Wirtschaftlichkeit [€/a]         | Nein, -18.021               | Nein, -39.749               | Nein, -10.252                 |

Die Kosten von 1.900 €/kWh stammen aus dem 2. Halbjahr 2015 und sind somit zwar wissenschaftlich fundiert, aber aufgrund des schnellen Preisverfalls bei Lithium-Ionen-Akkumulatoren nicht perspektivisch anzusetzen. Die aktuelle Preisdegression bei Lithium-Ionen-Akkumulatoren liegt nach [3] bei 18 Prozent/a. Somit kann Ende 2018 mit einem Preis von ca. 1050 €/kWh gerechnet werden. Außerdem ist aufgrund der Fortschritte in der Lithium-Ionen-Technologie zu erwarten, dass die Lebensdauer auf 20 Jahre steigt. Die Ergebnisse für die Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante im Jahr 2018 ist in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12:

Ergebnisse der Untervarianten für die Versorgungsvariante V1 (Batteriekosten Ende 2018).

| <b>Wirtschaftlichkeit von V1</b> | <b>V1.1<br/>(1 kWh/kWp)</b> | <b>V1.2<br/>(2 kWh/kWp)</b> | <b>V1.3<br/>(0,6 kWh/kWp)</b> |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Investitionskosten [€/a]         | 9.240                       | 18.585                      | 5.513                         |
| Betriebskosten [€/a]             | 570                         | 570                         | 570                           |
| Verbrauchskosten [€/a]           | 5.216                       | 4.397                       | 6.440                         |
| Wirtschaftlichkeit [€/a]         | Nein, -4.968                | Nein, -13.495               | Nein, -2.465                  |

Unter den genannten Randbedingungen (1.050 €/kWh, 20 Jahre Lebensdauer) können Ende 2018 die Versorgungsvarianten V1 bei Plusenergiehäusern nicht ohne Förderung wirtschaftlich abgebildet werden. Die Variante V1.2 weist mit 2 kWh/kWp einen deutlich zu großen Lithium-Ionen-Akkumulator auf, welcher keine große Steigerung des Eigenverbrauchs bewirkt und deshalb für Plusenergiegebäude deutlich unwirtschaftlich ist.

### 6.2.3 Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V2

Die Versorgungsvariante V2 verfügt nicht über Batterien, sondern verbindet die einzelnen Plusenergiehäuser miteinander sowie mit dem Info-Zentrum der Fertighauswelt Wuppertal.

Wie in Kapitel 11.10 dargelegt, entstehen durch das Quartiersstromnetz zusätzliche Jahreskosten von 1.397 €/a.

Da zwischen den Plusenergiehäusern alleine (V2.2) über das Quartiersnetz nur 816 kWh (vgl. Kapitel 6.1.3) ausgetauscht werden, kann dieses so nicht wirtschaftlich dargestellt werden. An das Quartiersnetz müssen also für den wirtschaftlichen Betrieb der Versorgungsvariante V2 weitere Verbraucher angeschlossen werden. Mit dem Info-Zentrum als zusätzlichen Verbraucher (V2.1) können über das Quartiersnetz zusätzlich 10.192 kWh/a Strom ausgetauscht werden.

Tabelle 13:

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit der Untervarianten für die Versorgungsvariante V2 (aktuelle Gesetzeslage des EEG).

| <b>Wirtschaftlichkeit von V2</b> | <b>V2.1</b>  | <b>V2.2</b>  |
|----------------------------------|--------------|--------------|
| Investitionskosten [€/a]         | 1.097        | 1.097        |
| Betriebskosten [€/a]             | 300          | 300          |
| Verbrauchskosten [€/a]           | 19.946       | 12.866       |
| Wirtschaftlichkeit [€/a]         | Nein, -2.627 | Nein, -4.205 |

Aufgrund des gemeinsamen Netzanschlusses des Quartiersstromnetzes an das EVU-Stromnetz gelten alle PV-Anlagen als eine große Anlage. Dadurch reduziert sich die Einspeisevergütung (vgl. Kapitel 11.5.1) und ein Anteil der EEG-Umlage auf eigenverbrauchten Strom wird fällig. Wie sich die Wirtschaftlichkeit von V2 ändern würde, wenn die über ein Quartiersstromnetz zusammengeschlossenen PV-Anlagen im EEG wie einzelne, dezentrale Anlagen bewertet werden würden, ist in Tabelle 14 dargestellt. Unter diesen Umständen ließe sich das Quartiersstromnetz mit einem zusätzlichen Verbraucher, in diesem Fall dem Infozentrum der Fertighauswelt Wuppertal, wirtschaftlich darstellen.

Tabelle 14:

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit der Untervarianten für die Versorgungsvariante V2 (PV-Anlagen im Quartiersstromnetz werden vom EEG wie einzelne, dezentrale Anlagen bewertet).

| <b>Wirtschaftlichkeit von V2</b> | <b>V2.1</b> | <b>V2.2</b>  |
|----------------------------------|-------------|--------------|
| Investitionskosten [€/a]         | 1.097       | 1.097        |
| Betriebskosten [€/a]             | 300         | 300          |
| Verbrauchsdaten [€/a]            | 16.908      | 9.923        |
| Wirtschaftlichkeit [€/a]         | Ja, +411    | Nein, -1.262 |

#### 6.2.4 Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V3

Da sich in der Versorgungsvariante bereits gezeigt hat, dass ein Quartiersstromnetz nur dann in den Bereich der Wirtschaftlichkeit kommt, wenn zu den Plusenergiehäusern ein zusätzlicher Verbraucher hinzugezogen wird, wird die Versorgungsvariante V3 ausschließlich mit dem Info-Zentrum der Fertighaus-Welt Wuppertal und einer Quartiersbatterie betrachtet. Die Versorgungsvariante V3.2 bildet den Endausbauzustand der Quartiersbatterie des Living Lab Wuppertal ab.

Die Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante 3 ist in Tabelle 15 für die aktuelle Gesetzeslage des EEG dargestellt und in Tabelle 16 wenn die über das Quartiersstromnetz zusammengeschalteten PV-Anlagen im EEG gleich behandelt werden wie einzelne, dezentrale Anlagen.

Es zeigt sich, dass auch mit einer geänderten Gesetzeslage kein wirtschaftlicher Betrieb eines Quartiersstromnetzes mit Quartiersbatterie unter den gewählten Randbedingungen möglich ist. Damit die Gewinnschwelle erreicht wird, müsste bei den geänderten gesetzlichen Rahmenbedingungen und Batteriekosten von Ende 2018 zusätzlich zum Info-Zentrum ein weiterer Stromverbraucher angeschlossen werden, welcher den Eigenverbrauch von PV-Strom um weitere 10.800 kWh/a erhöht.

Tabelle 15:

Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V3 (aktuelle Gesetzeslage des EEG).

| <b>Wirtschaftlichkeit von V3</b> | <b>V3.1<br/>(36 kWh)</b> | <b>V3.2<br/>(106 kWh)</b> | <b>V3.3<br/>(106 kWh 2015)</b> | <b>V3.4<br/>(106 kWh 2018)</b> |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Investitionskosten [€/a]         | 6.224                    | 10.685                    | 7.457                          | 6.132                          |
| Betriebskosten [€/a]             | 1.270                    | 1.270                     | 700                            | 700                            |
| Verbrauchsdaten [€/a]            | 19.906                   | 18.363                    | 23.645                         | 23.645                         |
| Wirtschaftlichkeit [€/a]         | Nein, -8.683             | Nein, -11.602             | Nein, -6.392                   | Nein, -5.067                   |

Tabelle 16:

Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V3 (PV-Anlagen im Quartiersstromnetz werden vom EEG wie einzelne, dezentrale Anlagen bewertet).

| <b>Wirtschaftlichkeit von V3</b> | <b>V3.1<br/>(36 kWh)</b> | <b>V3.2<br/>(106 kWh)</b> | <b>V3.3<br/>(106 kWh 2015)</b> | <b>V3.4<br/>(106 kWh 2018)</b> |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Investitionskosten [€/a]         | 6.224                    | 10.685                    | 7.457                          | 6.132                          |
| Betriebskosten [€/a]             | 1.270                    | 1.270                     | 700                            | 700                            |
| Verbrauchskosten [€/a]           | 16.754                   | 15.040                    | 13.651                         | 13.651                         |
| Wirtschaftlichkeit [€/a]         | Nein, -5.532             | Nein, -8.278              | Nein, -3.091                   | Nein, -1.766                   |

### 6.2.5 Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V4

Durch den Anschluss weiterer Verbrauchergebäude an das Quartiersstromnetz und die Quartiersbatterie lässt sich die Wirtschaftlichkeit der Lösung erhöhen. In diesen Varianten ist das Info-Zentrum der FertighausWelt Wuppertal nicht enthalten.

Durch den Anschluss weiterer Verbrauchergebäude erhöhen sich die Investitionskosten für das Quartiersstromnetz. Zur Abschätzung der zusätzlichen Kosten pro zusätzlich angeschlossenem Verbrauchergebäude, werden die in Kapitel 11.10 ermittelten Investitionskosten ergänzt. Wie in Tabelle 17 dargestellt, betragen die zusätzlichen Investitionskosten pro zusätzlichem Verbrauchergebäude bei der Eigenschließung des Areals 3.670 € (Gebäude mit Wärmepumpe) bzw. 3.520 € (Gebäude mit Gas-Brennwerttherme). Bei einer Erschließung durch das EVU fallen pro zusätzlichem Verbrauchergebäude weitere Investitionskosten von 2.710 € an.

Tabelle 17:

Zusätzliche Brutto-Investitionskosten pro weiterem Verbrauchergebäude für die Eigenschließung des Areals.

| <b>Komponente</b>              | <b>Gebäude mit Wärmepumpe</b> | <b>Gebäude mit Gas-Brennwerttherme</b> |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
| Netzanschluss für das Areal    | 580 € (8 kVA)                 | 430 € (6 kVA)                          |
| Erschließung Netz 1 und Netz 2 | 1.240 €                       | 1.240 €                                |
| Hausanschlüsse                 | 770 €                         | 770 €                                  |
| Schaltanlagen EVU              | 780 €                         | 780 €                                  |
| Kabelverteilerschrank          | 300 €                         | 300 €                                  |
| <b>Zusatzkosten (brutto)</b>   | <b>3.670 €</b>                | <b>3.520 €</b>                         |

In Tabelle 18 sind die Mehrinvestitionskosten für die Eigenschließung des Areals mit einem Quartiersstromnetz gegenüber der Erschließung durch das EVU zusammen mit den Investitionskosten für die Vanadium-Redox-Flow-Batterie (106 kWh Nutzkapazität – 9.588 €/a) für die Versorgungsvarianten V4 dargestellt. Die Tabelle beinhaltet auch die Betriebskosten sowie die Verbrauchskosten (nur Strom) der jeweiligen Untervarianten.

Tabelle 18:

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit der Untervarianten für die Versorgungsvariante V4 (aktuelle Gesetzeslage des EEG).

|                          | <b>V4.1.1</b> | <b>V4.1.2</b> | <b>V4.1.3</b> | <b>V4.2.1</b> | <b>V4.2.2</b> | <b>V4.2.3</b> |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Investitionskosten [€/a] | 11.093        | 11.501        | 11.909        | 11.063        | 11.441        | 11.819        |
| Betriebskosten [€/a]     | 1.370         | 1.470         | 1.570         | 1.370         | 1.470         | 1.570         |
| Verbrauchskosten [€/a]   | 27.073        | 43.303        | 59.760        | 18.871        | 26.714        | 35.507        |
| Wirtschaftlichkeit [€/a] | Nein, -10.232 | Nein, -8.902  | Nein, -7.800  | Nein, -10.952 | Nein, -10.158 | Nein, -10.314 |

Die in Tabelle 18 dargestellten Ergebnisse zeigen deutlich, dass unter den gegebenen gesetzlichen Rahmenbedingungen des EEG auch der Anschluss von 30 weiteren KfW55-Gebäuden mit Wärmepumpe (V4.1.3) keinen wirtschaftlichen Betrieb eines Quartiersstromnetzes mit Redox-Flow-Quartiersbatterie ermöglichen. Wird Anstelle der Redox-Flow-Batterie eine gleichgroße Lithium-Ionen-Akkumulator eingesetzt und die Kosten für Ende 2018 angesetzt reduzieren sich dafür die Investitionsmehrkosten auf 5.034 €/a. Diese Reduktion alleine ermöglicht noch keinen wirtschaftlichen Betrieb. Wird darüber hinaus noch die Gesetzeslage des EEG so angepasst, dass die über das Quartiersstromnetz zusammengeschlossenen Anlagen gleich behandelt werden wie einzelne Anlagen, so ergibt sich die in Tabelle 19 dargestellte Wirtschaftlichkeit.

Tabelle 19:

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit der Untervarianten für die Versorgungsvariante V4 mit Lithium-Ionen-Akkumulator (PV-Anlagen im Quartiersstromnetz werden vom EEG wie einzelne, dezentrale Anlagen bewertet).

|                          | <b>V4.1.1</b> | <b>V4.1.2</b> | <b>V4.1.3</b> | <b>V4.2.1</b> | <b>V4.2.2</b> | <b>V4.2.3</b> |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Investitionskosten [€/a] | 6.540         | 6.948         | 7.356         | 6.510         | 6.888         | 7.266         |
| Betriebskosten [€/a]     | 800           | 900           | 1.000         | 800           | 900           | 1.000         |
| Verbrauchskosten [€/a]   | 23.710        | 39.837        | 56.203        | 15.550        | 23.319        | 32.045        |
| Wirtschaftlichkeit [€/a] | Nein, -1.746  | Ja, -313      | Ja, +880      | Nein, -2.508  | Nein, -1.640  | Nein, -1.729  |

Es zeigt sich, dass der Mehrverbrauch von den mit Gas-Brennwertthermen beheizten KfW55-Gebäude (V4.2.1 bis V.2.3) nicht ausreicht, um den wirtschaftlichen Betrieb des Quartierstromnetzes mit Lithium-Ionen-Quartiersbatterie zu gewährleisten. Werden 30 zusätzliche KfW55-Einfamilienhäuser mit Wärmepumpen an das Quartiersnetz und die Batterie angeschlossen, so ist ein wirtschaftlicher Betrieb unter der Voraussetzung möglich, dass ein Lithium-Ionen-Akkumulator verwendet wird und das EEG zugunsten des Quartierstromnetzes geändert wird.

## 6.2.6 Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V5

Die Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V5, welche eine Erweiterung der Versorgungsvariante V4 um ein Nahwärmenetz darstellt ist in Tabelle 20 dargestellt.

In den Untervarianten V5.1.1 bis V5.1.3 wurden die 19 Wuppertaler Musterhäuser an ein Quartiersstrom (incl. Quartiersbatterie - 106 kWh, Vanadium-Redox-Flox-Technologie) und ein Wärmenetz angeschlossen. Die Wärmeerzeugung erfolgt zentral über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe. Die Nacherwärmung des Trinkwarmwassers erfolgt dezentral über elektrische Heizstäbe.

In der Variante V5.1.1 werden die 19 Plusenergiegebäude an ein Nahwärmenetz gekoppelt, welches vom 15. April bis 15. September nicht in Betrieb ist. Während dieser Zeit erfolgt die Trinkwarmwassererzeugung ausschließlich über elektrische Heizstäbe. In Variante V5.1.2 wird das Nahwärmenetz ganzjährig mit gleichbleibendem Temperaturniveau betrieben (55/30). In Variante V5.1.3 wird das Nahwärmenetz ganzjährig mit einem gleichbleibenden Temperaturniveau von TVL 75 °C und TRL 45°C betrieben.

Analog zur Versorgungsvariante V4 wurden ebenfalls Untervarianten gebildet, welche weitere KfW55-Verbrauchergebäude an das Quartiersstromnetz und das Nahwärmenetz koppeln. Die Untervarianten V5.2.1 bis V5.2.3 beinhalten 10, 20 und 30 zusätzliche KfW55-Gebäude, welche ebenfalls über das Quartiersstromnetz und die Nahwärme (ganzjähriger Betrieb) (55/30) versorgt werden.

Tabelle 20:

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit der Untervarianten für die Versorgungsvariante V5 (aktuelle Gesetzeslage des EEG).

|                           | <b>V5.1.1</b>   | <b>V5.1.2</b>    | <b>V5.1.3</b>    | <b>V5.2.1</b>    | <b>V5.2.2</b>    | <b>V5.2.3</b>    |
|---------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Investitionskosten [€/a]  | 23.163          | 22.935           | 23.855           | 30.366           | 36.788           | 46.326           |
| Betriebskosten [€/a]      | 12.187          | 12.118           | 12.624           | 10.311           | 8.368            | 6.999            |
| Verbrauchs-kosten [€/a]   | 18.939          | 15.453           | 15.809           | 33.568           | 52.084           | 70.897           |
| Wirtschaft-lichkeit [€/a] | Nein,<br>-44.23 | Nein,<br>-40.448 | Nein,<br>-42.230 | Nein,<br>-46.096 | Nein,<br>-50.999 | Nein,<br>-59.891 |



Aufgrund der hohen Investitions- und Betriebskosten lässt sich die Versorgungsvariante V5 in keiner Untervariante annähernd wirtschaftlich darstellen. Dies ändert sich auch nicht, wenn eine Änderung des EEG zum Vorteil der PV-Anlagen in einem Quartiersstromnetz erfolgt.

### 6.3 Fazit und Empfehlungen

Die Betrachtung verschiedener Energieversorgungskonzepte am Beispiel des Living Lab Wuppertal hat gezeigt, dass sich nur wenige Konzepte wirtschaftlich rechnen, obwohl ein energetischer Nutzen z.B. durch eine Erhöhung des Eigenverbrauchs von PV-Strom gegeben ist. Im Rahmen der Untersuchungen zeigt sich, dass weder dezentrale Lösungen mit Hausbatteriespeichern sich zum betrachteten Zeitraum (2015) ohne Förderung bei Plusenergiegebäuden wirtschaftlich darstellen lassen, noch stärker zentralisierte Lösungen mit Wärmenetz sich wirtschaftlich rechnen.

Quartierslösungen mit einem Quartiersstromnetz (V2) beziehungsweise mit Quartiersstromnetz und Quartiersbatterie (V3 und V4) ermöglichen die Entlastung der Stromnetze und ermöglichen die effiziente Nutzung regenerativ erzeugter Energie direkt vor Ort. Damit sich die hier betrachteten Lösungen perspektivisch relevant werden können und die Energiewende voranbringen können, sollten in Zukunft zwei Voraussetzungen erfüllt werden:

1. Der reine Zusammenschluss von Plusenergiegebäuden über ein Quartiersstromnetz, egal ob mit oder ohne Quartiersbatterie, lässt sich wirtschaftlich nicht darstellen, da der Austausch von im Quartier erzeugtem PV-Strom über das Quartiersstromnetz zu gering ist, um die Investitions- und Betriebskosten zu decken. Deshalb müssen weitere Verbrauchergebäude angeschlossen werden, idealerweise mit abweichendem Lastprofil wie z.B. Bürogebäude oder Handwerksbetriebe.
2. Durch den Zusammenschluss mehrerer PV-Anlagen auf Einfamilienhausdächern über ein Quartiersstromnetz werden diese Anlagen vom EEG als eine große, zusammenhängende Anlage behandelt, da diese über einen Anschlusspunkt an das Stromnetz des EVU angeschlossen wird. Dadurch verschlechtern sich die Einspeise- und Eigenverbrauchsbedingungen. Hier muss das EEG angepasst werden.

Durch das jetzige EEG verringert sich bei Lösungen mit Quartiersstromnetz nicht nur die Einspeisevergütung der Anlagen, darüber hinaus wird auf den eigenverbrauchten PV-Strom ein Anteil der EEG-Umlage fällig. Es ergibt sich also das Paradoxon, dass durch eine Maßnahme, in diesem Fall das Quartiersstromnetz, welche das Ziel hat den Eigenverbrauch von PV-Strom zu erhöhen um dadurch die Nieder- und Mittelspannungsnetze zu entlasten, der Eigenverbrauch finanziell schlechter gestellt wird als in einem normalen Einfamilienhaus. Die Berechnungen haben gezeigt, dass manche Versorgungsvarianten (V2.1 und V4.1.3) alleine dadurch die Gewinnschwelle übersteigen können, wenn entsprechende Änderungen am EEG vorgenommen werden, damit PV-Anlagen im Quartiersstromnetz mit dezentralen Anlagen gleichgestellt werden. Dies sollte definitiv ein Bestandteil der nächsten Überarbeitung des EEGs sein.

Eine weitere Möglichkeiten die Wirtschaftlichkeit von Quartiersstromnetzen (unabhängig davon ob mit oder ohne Quartiersbatterie) zu erhöhen, wäre durch die Gründung eines Unternehmens an die vergünstigten Strompreise für Unternehmen heranzukommen. Mit deutlichen Stromkostenrückgängen ist ab einer Abnahme von 160.000 kWh/a zu rechnen.

Der Vergleich von dezentralen und zentralen Batteriespeichern am Beispiel des Living Lab zeigt, dass beide Batterievarianten in Effizienzhaus Plus-Einfamilienhäusern ohne Förderung sich in vergleichbarem Maß nicht wirtschaftlich darstellen lassen. Die Vorteile des Quartiersspeichers (geringere Wartungskosten, effizientere Auslegung, einfachere Nachrüstung) werden durch die zusätzlichen Maßnahmen für das Quartiersstromnetz aufgehoben. Außerdem kann beobachtet werden, dass in den letzten Jahren die Investitionskosten pro kWh Nutzkapazität für Hausbatterien schneller abfallen als für Großbatterien.

## **7 Beschreibung Messkonzept**

### **7.1 Messtechnische Ausstattung der Einzelhäuser**

Die Ausstellungsgebäude der FertighausWelt Köln werden bereits seit 2012 im Zuge eines Monitoring-Projektes erfasst. Für diese Gebäude wurde ein Pflichtenheft für die zu verbauende Messtechnik definiert. Dieses ist bzgl. der zu erfassenden Messgrößen identisch mit den im Anschluss beschriebenen Vorgaben für die FertighausWelt Wuppertal.

Im Rahmen eines ersten Vor-Ort-Termins wird eine Bestandsaufnahme der messtechnischen Ausstattung der Ausstellungsgebäude in der FertighausWelt Wuppertal vorgenommen. Hierbei zeigt sich, dass die zur Errichtung der Gebäude ursprünglich geforderten messtechnischen Ausstattungen (gemäß Pflichtenheft vom 24. April 2013) überwiegend nicht vollständig umgesetzt wurden. Die Anforderungen werden daher nochmals an die einzelnen Aussteller kommuniziert und ein Termin zu Nachinstallation vorgegeben. Jedes Gebäude soll demnach über folgende Messstellen verfügen (Tabelle 21 bis Tabelle 23):

Tabelle 21:  
Geforderte elektrische Energiezähler.

| <b>elektrische Energie [kWh]</b>                                           |
|----------------------------------------------------------------------------|
| Bezug aus Ringnetz                                                         |
| Einspeisung in Ringnetz                                                    |
| PV (z.B. separat für Dach, Wand, Carport,...)                              |
| PV (Wechselrichter)                                                        |
| Wärmepumpe/Lüftungsgerät                                                   |
| Heizstab                                                                   |
| <b>Einzelzähler</b>                                                        |
| <i>Elektroheizkörper (z.B. Badheizkörper, ...)</i>                         |
| <i>Office-Geräte (PC, Drucker, Fachberatung,.....)</i>                     |
| <i>Beleuchtung Außen</i>                                                   |
| <i>Beleuchtung Innen</i>                                                   |
| <i>Haushaltsgeräte (z.B. TV, Küche, Steckdosen,....)</i>                   |
| <i>Anlagentechnik (z.B. Pumpen, Ventilatoren, Steuerung, Regelung,...)</i> |
| <i>Stromverbrauch Hausautomatisation</i>                                   |

Tabelle 22:  
Geforderte thermische Energiezähler.

| <b>Wärmemengen [kWh]</b> |
|--------------------------|
| Ausgang Wärmepumpe       |
| Trinkwarmwasserspeicher  |

Tabelle 23:  
Geforderte raumklimatische Messgrößen.

| Raumklima und Lüftung                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Raumlufthtemperatur (möglichst in allen Räumen) [°C]                                  |
| Raumlufthfeuchte (min. zentral im Abluftstrom der Lüftungsanlage) [%]                 |
| CO <sub>2</sub> -Konzentration (min. zentral im Abluftstrom der Lüftungsanlage) [ppm] |
| Zuluft- und Ablufttemperaturen an der Lüftungsanlage [°C]                             |
| Zuluft- und Abluftvolumenstrom der Lüftungsanlage [m <sup>3</sup> /h]                 |

Bild 20 zeigt schematisch eine Elektroversorgung mit Angabe der Stromzähler (EZ) für die Erfassung der einzelnen Stromverbräuche. Die Stromzähler müssen über eine Datenschnittstelle und ein Display verfügen (Bild 21). Das Display dient zur monatlichen manuellen Datenablesung, welche zu Kontrollzwecken und aus Gründen der Redundanz durchgeführt wird.

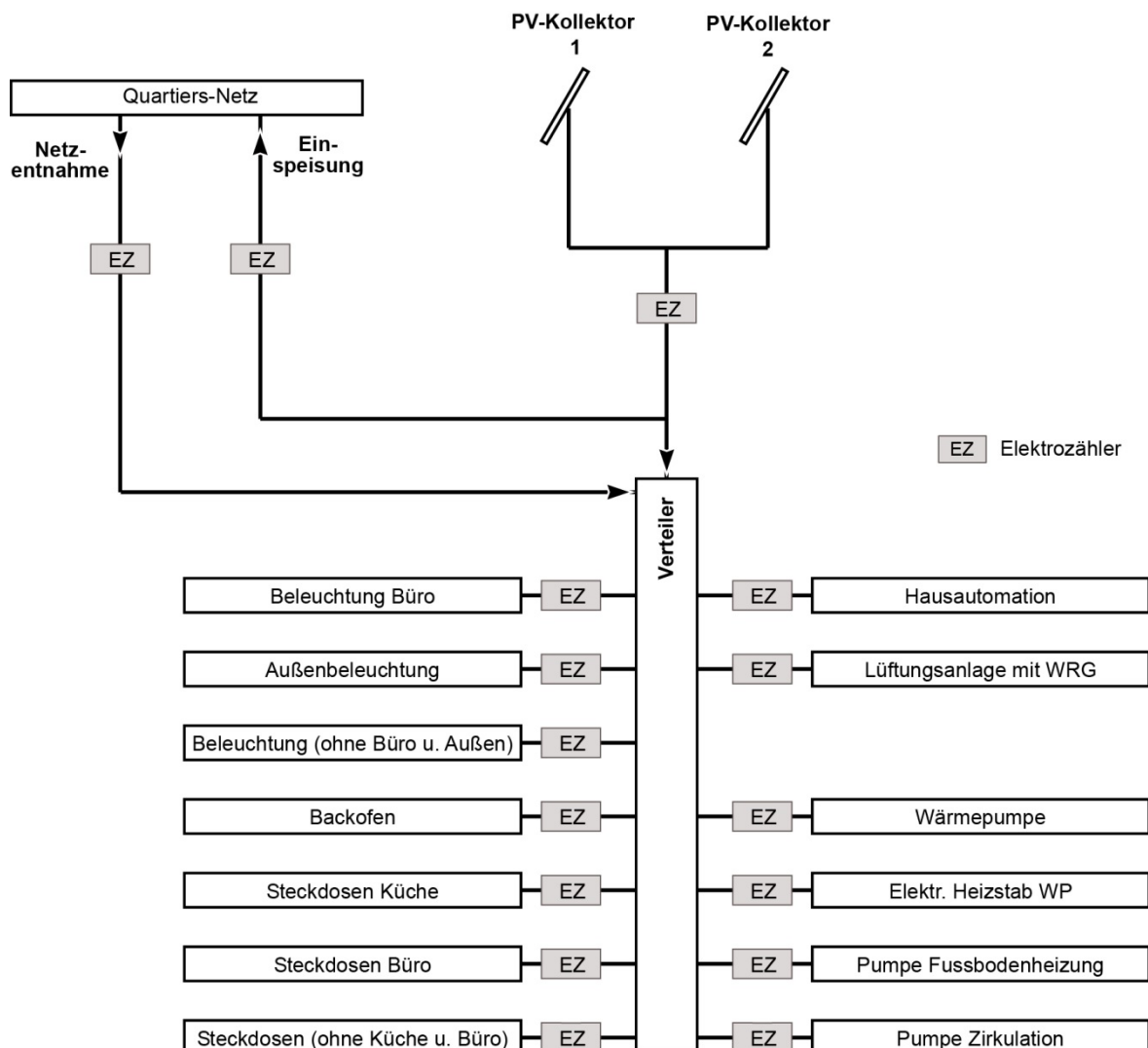


Bild 20:  
Messschema Elektroversorgung.



Bild 21:  
Stromzähler mit Display und Datenschnittstelle (links: Hauszähler, rechts Zähler zur Erfassung der Einzelverbraucher einphasig).

Bild 22 zeigt beispielhaft eine Heizanlage mit den zu installierenden Wärmemengenzählern (WMZ) zur Erfassung der vom Wärmeerzeuger gelieferten thermischen Energien. Diese müssen über eine Datenschnittstelle (M-Bus) verfügen. Ferner sind die Temperatursensoren und die Volumenstrommessgeräte in der Zu- und Abluft, sowie die Messstellen für die relative Luftfeuchte und die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Abluft dargestellt. Hier erfolgt die Auslesung über eine Datenschnittstelle des Lüftungsgerätes bzw., falls nicht vorhanden, über extern zu installierende Sensoren (Bild 23).

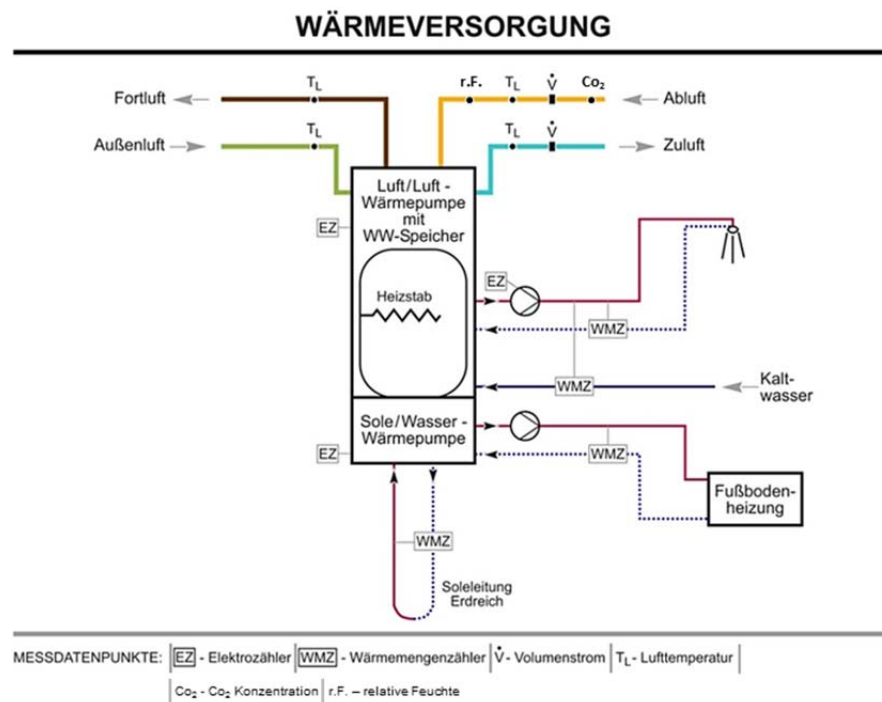


Bild 22:  
Beispielhaftes Messschema Wärmeversorgung und Lüftungsanlage.



Bild 23:  
Wärmemengenzähler zur Erfassung des Warmwasserverbrauchs und der Zirkulationswärmeverluste (links) bzw. Volumenstrom- und Temperatursensoren in den Lüftungsleitungen (rechts).

Die Erfassung der Raumlufttemperaturen erfolgt gebäudespezifisch, d.h. entweder werden die Daten direkt aus der zentralen GLT (z.B. Raumthermostate) abgefragt oder es werden einzelnen Funksensoren nachgerüstet (Bild 24).



Bild 24:  
Raumtemperaturerfassung; links mittels Raumthermostaten, rechts durch Nachrüstung von Funksensoren, z.B. über den Lichtschaltern.

In Tabelle 24 ist die messtechnische Ausstattung (Stand Ende Juni 2018) für jedes Einzelgebäude dargestellt. Leider war es aufgrund unterschiedlichster Faktoren nicht möglich, im Untersuchungszeitraum alle Gebäude mit der im Pflichtenheft geforderten Messtechnik auszustatten (vgl. Kapitel 7.4).

Tabelle 24:  
Messtechnische Ausstattung der Ausstellungsgebäude (Stand Juni 2018).

| Gebäude        | Stromzähler         |                        | WMZ | Raumluf | Lüftung |
|----------------|---------------------|------------------------|-----|---------|---------|
|                | Haupt, PV<br>und WP | Weitere<br>Stromkreise |     |         |         |
| 01_Empfang     | ☒                   | 83                     |     |         |         |
| 02_Schwörer    | ☒                   | 26                     | ☒   | ☒       | ☒       |
| 03_Finger      | ☒                   | 10                     |     | ☒       | ☒       |
| 04_Fingerhut   | ☒                   | 18                     | ☒   | ☒       |         |
| 05_Weber       | ☒                   | 46                     | ☒   |         |         |
| 06_Partner     | ☒                   | 8                      | ☒   | ☒       | ☒       |
| 07_Huf         | ☒                   | 28                     | ☒   | ☒       |         |
| 08_Büdenbender | ☒                   | 12                     |     | ☒       |         |
| 09_Kampa       | ☒                   | 20                     | ☒   |         |         |
| 10_Pro         | ☒                   | 0                      | ☒   | ☒       |         |
| 11_Rensch      | ☒                   | 0                      |     |         |         |
| 12_BienZenker  | ☒                   | 23                     | ☒   | ☒       | ☒       |
| 13_holz&raum   | ☒                   | 6                      |     | ☒       |         |
| 14_Hanse       | ☒                   | 22                     | ☒   | ☒       | ☒       |
| 15_allkauf     | ☒                   | 26                     | ☒   |         |         |
| 16_Okal        | ☒                   | 27                     | ☒   |         |         |
| 17_Nord        | ☒                   | 6                      |     |         |         |
| 18_Schwaben    | ☒                   | 0                      |     |         |         |
| 19_Gussek      | ☒                   | 0                      | ☒   | ☒       |         |
| 20_Dan         | ☒                   | 5                      |     | ☒       |         |

## 7.2 Messtechnische Ausstattung des Ausstellungsgeländes FertighausWelt Wuppertal

Da im Zuge des Monitorings die Stromverschiebung innerhalb eines Quartiers bzw. eines Siedlungsverbundes und darüber hinaus der Einfluss eines zentralen Batteriespeichers untersucht werden soll, wird auch auf dem Gelände der FertighausWelt Wuppertal Messsensorik installiert. In Köln hingegen werden ausschließlich die Einzelgebäude und deren dezentrale Energiespeicher betrachtet.

Das Gelände der FertighausWelt Wuppertal verfügt über zwei getrennte Stromversorgungsringe, wobei jedes Gebäude jeweils nur an einen Ring angeschlossen ist (vgl. Tabelle 25). Die beiden Ringe verfügen jeweils über einen eigenen Bezugs- und Einspeisezähler (Eigentum der FertighausWelt). Die aktuellen Zählerstände (der einzelnen Phasen) werden im Zuge des Monitorings über eine Datenschnittstelle in 5-Minuten-Intervallen abgerufen. Ring 1 und Ring 2 sind vor dem zentralen Übergabepunkt der Stadtwerke zusammengeschlossen, d.h. es gibt einen zentralen Zähler für den Bezug und die Einspeisung aus bzw. in das Netz der Stadtwerke Wuppertal (Bild 25). Dieser Zähler ist Eigentum der Stadtwerke und dient zur Abrechnung. Die Zählerstände können in einem 15-Minuten-Raster von den Stadtwerken zur Verfügung gestellt werden (z.B. monatlich in Form einer Excel-Datei). Darüber hinaus besitzen die Zähler einen Impulsausgang, der im Zuge des Monitorings genutzt wird. Der Batteriespeicher ist an Ring 2 angeschlossen und verfügt ebenfalls über einen eigenen Zähler. Hierbei können die eingespeicherten und die ausgespeicherten Energiemengen und die aktuellen elektrischen Leistungen der drei Phasen abgefragt werden. Dadurch besteht auch die Möglichkeit, den Eigenverbrauch des Speichers und die Wechselrichterverluste zu quantifizieren.



Bild 25:  
Ringzähler mit Datenschnittstelle und Display (links) und Abrechnungszähler der Stadtwerke Wuppertal (rechts).



Zur Erfassung der relevanten Energiemengen bzw. der aktuellen Leistungen im Ringnetz des Ausstellungsgeländes werden folgende Messgrößen erfasst:

- Strom vom Ring ans öffentliche Netz; Zähler Stadtwerke (gesamt)
- Strom aus öffentlichem Netz an Ring; Zähler Stadtwerke (gesamt)
- Strom/Leistung Einspeisung der beiden Ringzähler (L1, L2, L3 und gesamt)
- Strom/Leistung Bezug der beiden Ringzähler (L1, L2, L3 und gesamt)
- Strom/Leistung in Speicher (L1, L2, L3 und gesamt)
- Strom/Leistung aus Speicher (L1, L2, L3 und gesamt)

Tabelle 25:  
Anschlusspunkt der einzelnen Ausstellungsgebäude ans Stromnetz der Fertig-  
hausWelt Wuppertal.

| Gebäude         | Ring1 | Ring2 |
|-----------------|-------|-------|
| Energiespeicher |       | ☒     |
| 01_Empfang      |       | ☒     |
| 02_Schwörer     | ☒     |       |
| 03_Finger       | ☒     |       |
| 04_Fingerhut    | ☒     |       |
| 05_Weber        | ☒     |       |
| 06_Partner      | ☒     |       |
| 07_Huf          | ☒     |       |
| 08_Büdenbender  |       | ☒     |
| 09_Kampa        |       | ☒     |
| 10_Pro          |       | ☒     |
| 11_Rensch       |       | ☒     |
| 12_BienZenker   |       | ☒     |
| 13_holz&raum    |       | ☒     |
| 14_Hanse        |       | ☒     |
| 15_allkauf      |       | ☒     |
| 16_Okal         |       | ☒     |
| 17_Nord         | ☒     |       |
| 18_Schwaben     | ☒     |       |
| 19_Gussek       |       | ☒     |
| 20_Dan          |       | ☒     |

Mittels einer zentralen Wetterstation auf dem Dach des Empfangsgebäudes sollen die lokalen Klimadaten für das Ausstellungsgelände erfasst werden. Hierbei werden die Außenlufttemperatur (ca. 1,5 m über Dachfirst) sowie die Solarstrahlung (horizontal, senkrecht Süd) aufgezeichnet. Aufgrund technischer Schwierigkeiten bei der Installation und Inbetriebnahme der zentralen Wetterstation werden im Zuge des Berichts die Daten der hauseigenen Wetterstation des Gebäudes 07\_HUF HAUS für die Auswertung herangezogen (Bild 26). Diese Daten werden zu Vergleichszwecken mit den Daten einer nahe liegenden (kommerziellen bzw. öffentlichen) Wetterstation verglichen.



Bild 26:  
Wetterstation auf dem Dach des 07\_HUF HAUS-Gebäudes.

### 7.3 Datenbündelung in der Cloud

Im Rahmen einer Vor-Ort-Begehung zeigt sich, dass in vielen Ausstellungsbauten am Gelände in Wuppertal bereits Exor-Stromzähler (dreiphasig) bzw. Saia-burgess-Stromzähler (einphasig) durch die Fa. Beck IPC installiert worden sind. Diese übermitteln teilweise bereits über ein entsprechendes Gateway die aktuellen Verbrauchswerte in eine Daten-Cloud (webbasiertes com.tom Portal der Firma Beck IPC GmbH). Es wird daraufhin vereinbart, dass dieses System einheitlich für alle Gebäude auf dem Ausstellungsgelände verwendet werden soll. Bei Bedarf sind die noch fehlenden Sensoren (Finanzierung durch die jeweiligen Aussteller) bzw. Gateways nachzurüsten und an die Daten-Cloud anzubinden. Jeder Aussteller erhält für das eigene Gebäude einen passwortgeschützten Zugang zur Daten-Cloud der Fa. Beck IPC.

In Bild 27 ist schematisch die Datenerfassung sowie die realisierte Datenkommunikation über das Daten-Gateway an das com.tom Portal (Daten-Cloud) und anschließend an die IBP-interne Imedas<sup>TM</sup>-Messdatenbank dargestellt.

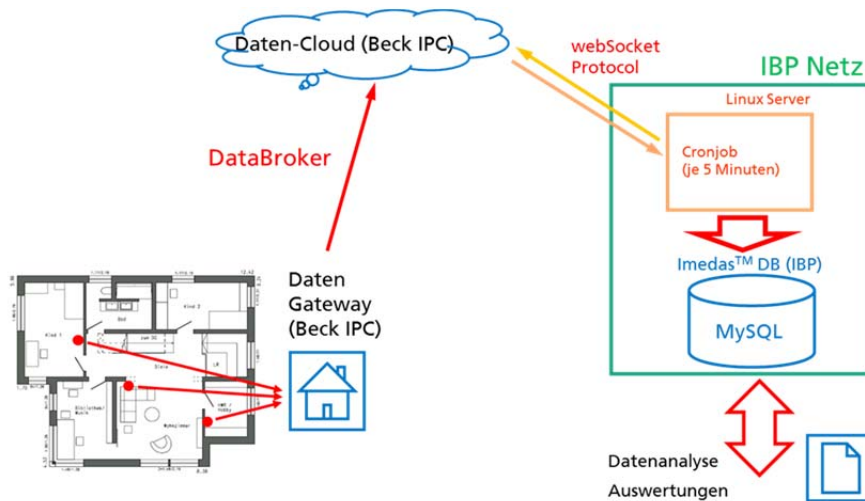


Bild 27:  
Funktionsschema der Datenkommunikation.

Bild 28 zeigt beispielhaft einen Screenshot des webbasierten com.tom Portals. Hierbei handelt es sich um den Zugang des Fraunhofer IBP, in welchem alle Gebäude auf dem Ausstellungsgelände aufgeführt sind. In Portal werden die aktuellen Messdaten gesammelt und nach Ausstellungsgebäude geordnet dargestellt. Gültige Werte sind dabei grün eingefärbt. Sind Werte ungültig, z.B. weil die Datenverbindung unterbrochen ist, sind die Messwerte rot. Im Rahmen des Monitorings werden die Daten in regelmäßigen Abständen durch das IBP auf Ausfall bzw. neu ins Portal aufgenommene Messkanäle geprüft. Dabei hat es sich abermals als essentiell erwiesen, die Zählerstände zusätzlich in regelmäßigen Abständen (z.B. monatlich) manuell abzulesen. Dies dient zur Absicherung der Messdaten bei Problemen in der automatischen Datenübertragung.

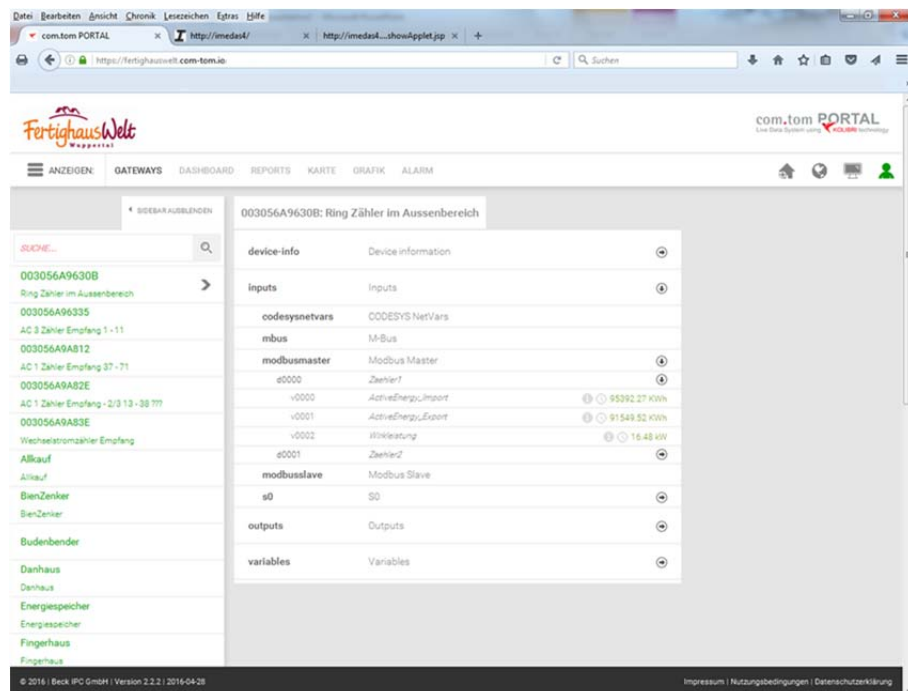


Bild 28:  
Webbasiertes com.tom Portal der Fa. Beck IPC.

Zur Auswertung durch das IBP werden die Messwerte mittels eines webSocket-Protokolls alle 5 Minuten von der Daten-Cloud in die IBP-interne Imedas™-Messdatenbank übermittelt. Im Auswertetool der Imedas™-Datenbank wird eine gebäudeweise Auswerte-Maske erstellt, durch die eine einfache und regelmäßige Auswertung und Plausibilitätsprüfung durchgeführt werden kann. In Bild 29 und Bild 30 sind beispielhaft die Konfigurations- und die Auswerteoberfläche des IBP-internen Imedas™-Datenbanksystems dargestellt.

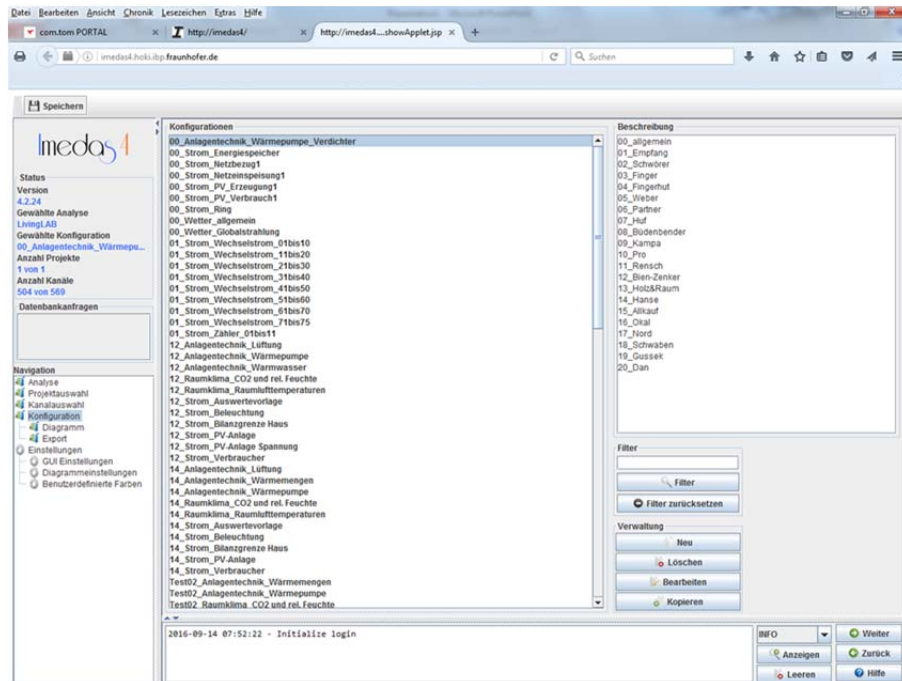


Bild 29:  
Imedas™-Konfigurationsoberfläche.

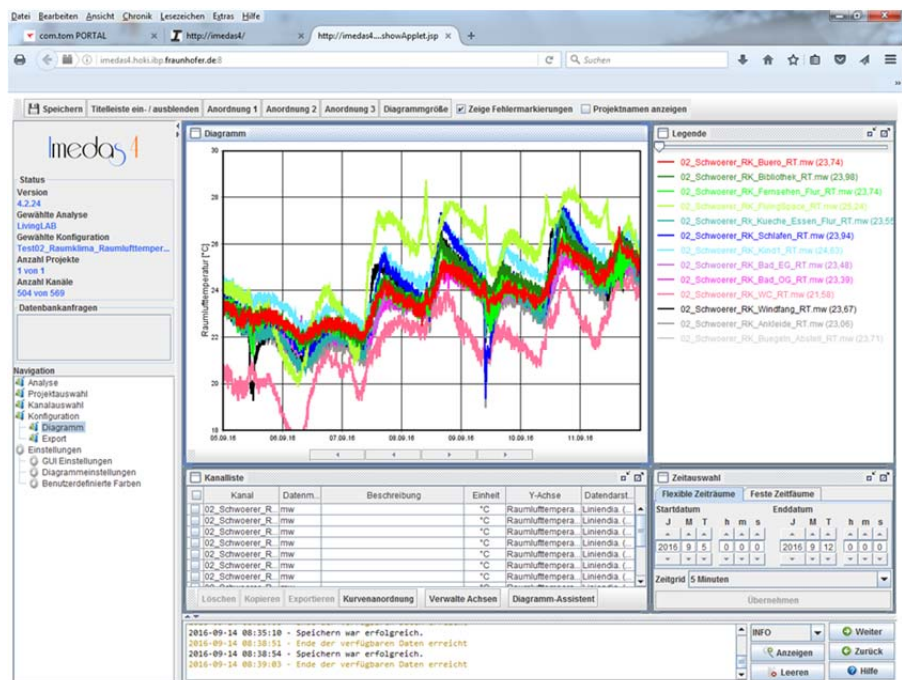


Bild 30:  
Imedas™-Auswerteoberfläche.

## 7.4 Herausforderungen während des Monitorings

Es zeigt sich abermals, dass ein während der Bauphase nicht konsequent umgesetztes Pflichtenheft zur Datenerfassung zusätzliche Schwierigkeiten verursacht. So führt eine nachträgliche Sensormontage oftmals zu deutlich höherem Aufwand bzw. zu Kompromissen bei der Sensorposition. Zum Beispiel ist es nachträglich kaum mehr möglich die Stromkreise so aufzuteilen, dass die geforderten Verbraucher durch Einzelzähler erfasst werden können. Oft ist hierdurch eine Trennung zwischen Beleuchtung und Haushaltsstrom nur noch bedingt möglich. Im Bereich der Anlagentechnik ist vor allem der Einbau der Wärmemengenzähler (WMZ) zu nennen. Diese sind zur Berechnung der Arbeitszahl der Wärmepumpe notwendig und sollten an genau definierten Stellen eingebaut werden. Sind die Komponenten der Heizungsanlage erst einmal positioniert und verrohrt, ist der nachträgliche Einbau eines WMZ meist nur noch mit gewissen Kompromissen möglich.

Des Weiteren wäre es sinnvoll, die Messdaten der einzelnen Gebäude bereits durch die Haushersteller zu bündeln und an einem zentralen Übergabepunkt mittels einer definierten Schnittstelle (Datenprotokoll) zur Verfügung zu stellen. Im aktuellen Monitoringvorhaben gab es hier, neben der Nachrüstung von Sensoren, die größten Schwierigkeiten bzw. den meisten Abstimmungsbedarf.

Der geforderte zeitliche Ablauf zur Vervollständigung der Messinstallation, sowie zur Datenanbindung an das com.tom Portal konnte nicht eingehalten werden. Es wurde daher vereinbart, die Inbetriebnahme der Sensorik in zwei Phasen durchzuführen. Mit erster Priorität werden zunächst die wichtigsten Basisdaten (Basismonitoring: Strombezug, Stromeinspeisung, PV-Ertrag und Wärmepumpe) vervollständigt und anschließend die restlichen energetischen und raumklimatischen Parameter (vollständiges Monitoring), sofern noch vorhanden, nachgerüstet. Die korrekte Erfassung der Basisdaten aller Häuser erfolgt seit September 2016. Das vollständige Monitoring aller Ausstellungsgebäude konnte bis zur Erstellung dieses Berichts nicht fertiggestellt werden.

Die Inbetriebnahme des Redox-Flow Batteriespeichers wurde aufgrund einer Tiefentladung des Speichers während der Stillstandszeit im Dezember 2016 verzögert. Aufgrund der Tiefentladung konnte der Speicher nicht mehr selbsttätig geladen werden. Für die Wiederinbetriebsetzung musste ein Spezialgerät von der Herstellerfirma geordert werden, welches erst nach einer mehrwöchigen Vorlaufzeit zu Verfügung stand. Der Speicher war im Anschluss an eine kurze Testphase von September 2017 bis Januar 2018 im Regelbetrieb, ehe es zu einer weiteren technischen Störung kam. Diese führte erneut zu einer Tiefentladung des Speichers mit den zuvor genannten Schwierigkeiten bei der Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft. Erst dann konnte mit der Ursachenforschung für die technische Störung begonnen werden. Bis zum Ende des Berichtszeitraums konnte diese nicht final abgeschlossen werden, weshalb der Speicher bislang nicht wieder in Betrieb genommen werden konnte.

Durch einen Kurzschluss bei der Montage der Wetterstation wurde diese so stark beschädigt, dass sie nicht mehr repariert werden konnte. Aufgrund dessen wurde die Entscheidung getroffen, auf die Daten der am Ausstellungsgebäude HUF HAUS installierten Wetterstation zurückzugreifen.

## 8 Ergebnisse Monitoring

Für die Auswertung werden drei Messperioden betrachtet:

- Messperiode 1: 1. Januar 2016 bis 31. Dezember 2016
- Messperiode 2: 1. Januar 2017 bis 31. Dezember 2017
- Messperiode 3: 1. Juli 2017 bis 30. Juni 2018

Aufgrund der jährlichen Auswertezeiträume und der betrachteten Gesamtprojektlaufzeit besteht zwischen den Messperioden 2 und 3 eine gewisse Überlappung. Für das Teil-Monitoring in Köln endete die Projektlaufzeit bereits zum 31. Dezember 2017, weshalb es in den folgenden graphischen Darstellungen für diese Gebäude keine Messperiode 3 gibt.

### 8.1 Meteorologische Randbedingungen

#### 8.1.1 Solarstrahlung

Der Ertrag der Photovoltaikanlagen ist maßgeblich von der Solarstrahlung abhängig. In Bild 31, Bild 32 und Bild 33 werden die monatlichen solaren Einstrahlungen während der drei Messperioden dargestellt. Es erfolgt eine Gegenüberstellung mit den Daten der MeteoGroup Station Lüdenscheid sowie mit den Werten des Referenzklimas nach EnEV2014 (Potsdam). Die Wetterstation der MeteoGroup liegt ca. 27 km südöstlich des Ausstellungsgeländes. Die Daten der Wetterstation auf dem Gelände der FertighausWelt Wuppertal sind erst ab dem September 2016 messtechnisch erfasst. Ein Abgleich mit den Werten der MeteoGroup zeigt im weiteren Verlauf eine gute Übereinstimmung. Die Jahreseinstrahlung, gemessen an der Wetterstation der MeteoGroup, liegt in der Messperiode 1 (Jan. 2016 bis Dez. 2016) 5 Prozent, in der Messperiode 2 (Jan. 2017 bis Dez. 2017) 9 Prozent und in der Messperiode 3 (Jul. 2017 bis Jun. 2018) 3 Prozent unter der des Referenzklimas.

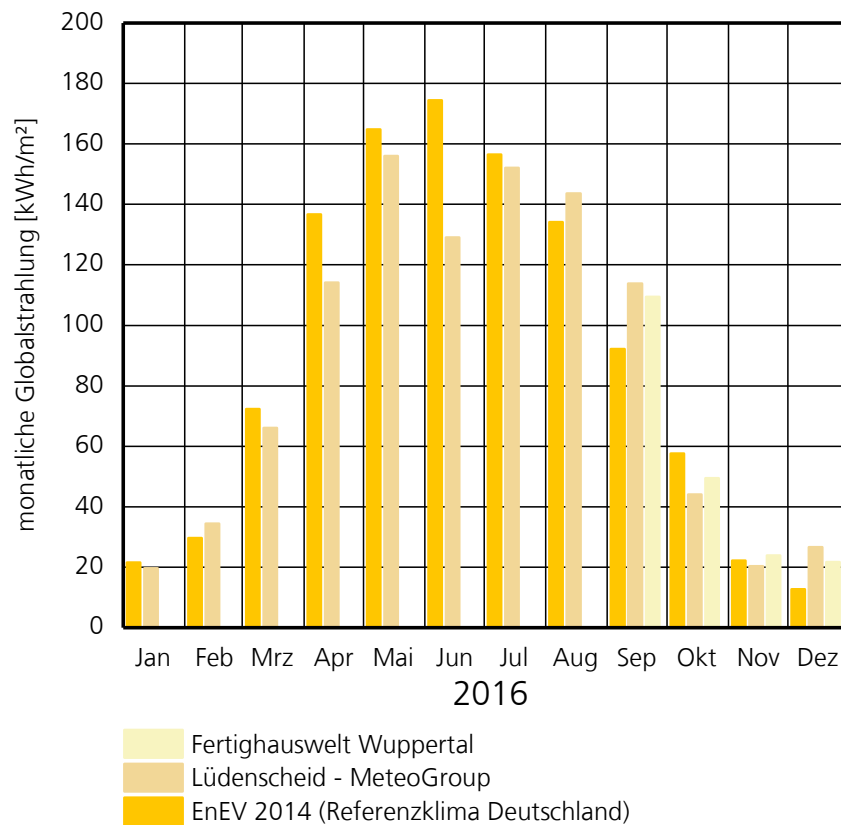


Bild 31:  
Monatsmittel der solaren Einstrahlung in Messperiode 1.

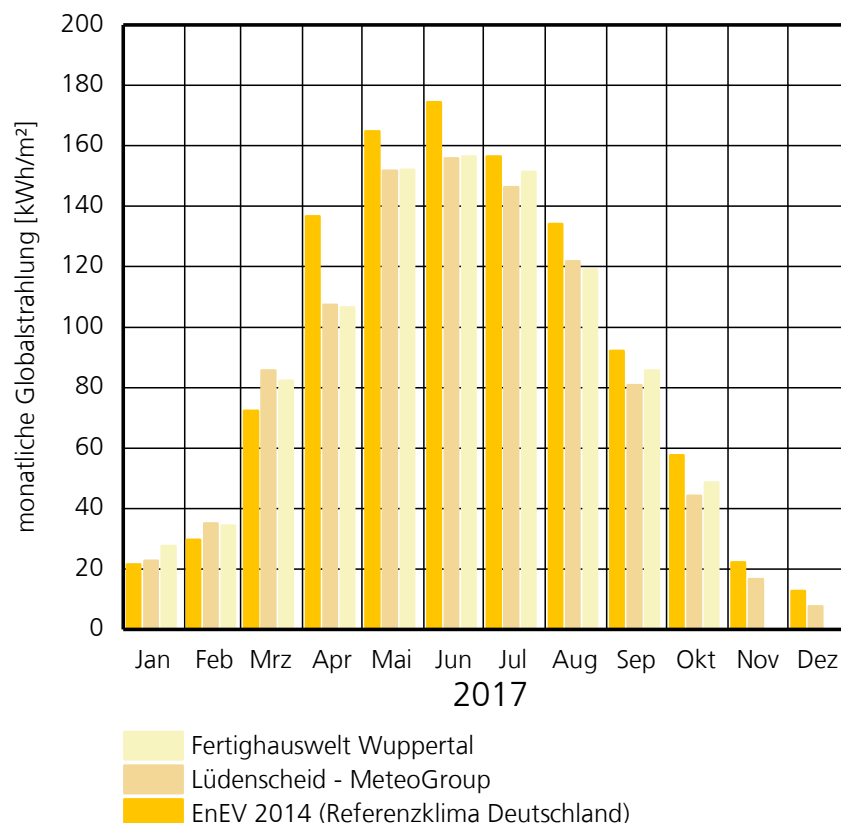


Bild 32:  
Monatsmittel der solaren Einstrahlung in Messperiode 2.



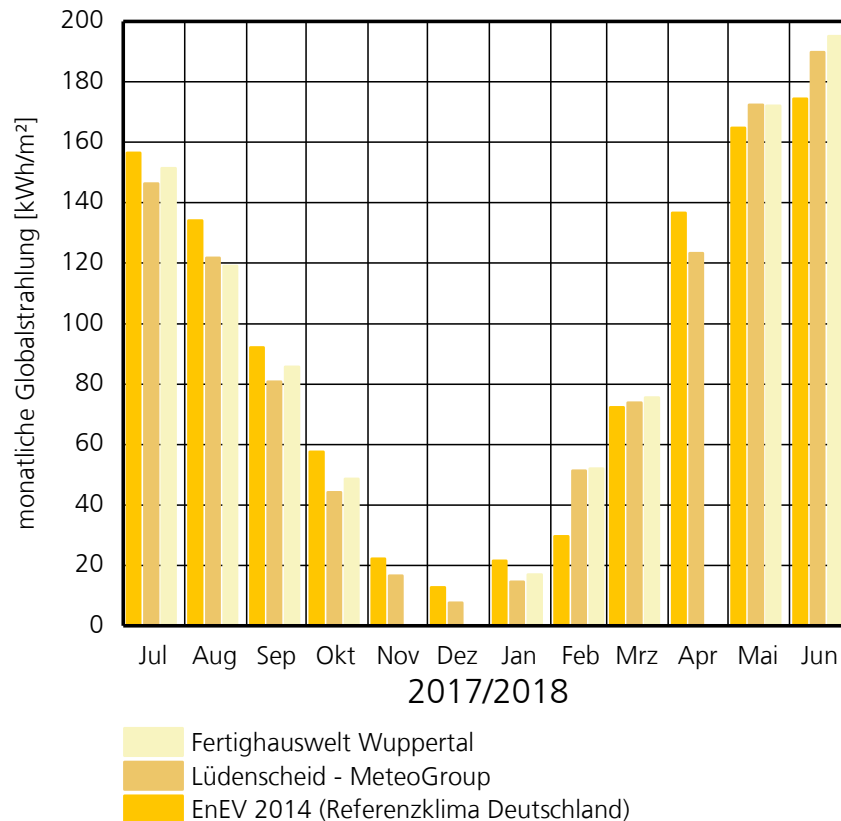


Bild 33:  
Monatsmittel der solaren Einstrahlung in Messperiode 3.

### 8.1.2 Außenlufttemperaturen

Die zur Beheizung der Gebäude notwendige elektrische Energie hängt in zweierlei Hinsicht von der Außenlufttemperatur ab. Einerseits direkt durch die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste und andererseits indirekt über die Effizienzen der Außenluftwärmepumpen. In Bild 34, Bild 35 und Bild 36 werden die Monatsmittel der Außenlufttemperaturen während der drei Messperioden dargestellt. Es erfolgt eine Gegenüberstellung mit den Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) Station Wuppertal-Buchenhofen sowie mit den Werten des Referenzklimas nach EnEV2014 (Potsdam). Die DWD-Wetterstation liegt ca. 14 km südwestlich des Ausstellungsgeländes. Die Daten der Wetterstation auf dem Gelände der FertighausWelt Wuppertal sind erst ab dem September 2016 messtechnisch erfasst, passen im weiteren Verlauf jedoch zu den durchgängig verfügbaren Daten der Wetterstation des DWD. Im Vergleich zum Referenzklima waren die Wintermonate (Jan, Feb, Dez) deutlich wärmer, ausgenommen der Januar 2017 und der Februar 2018.

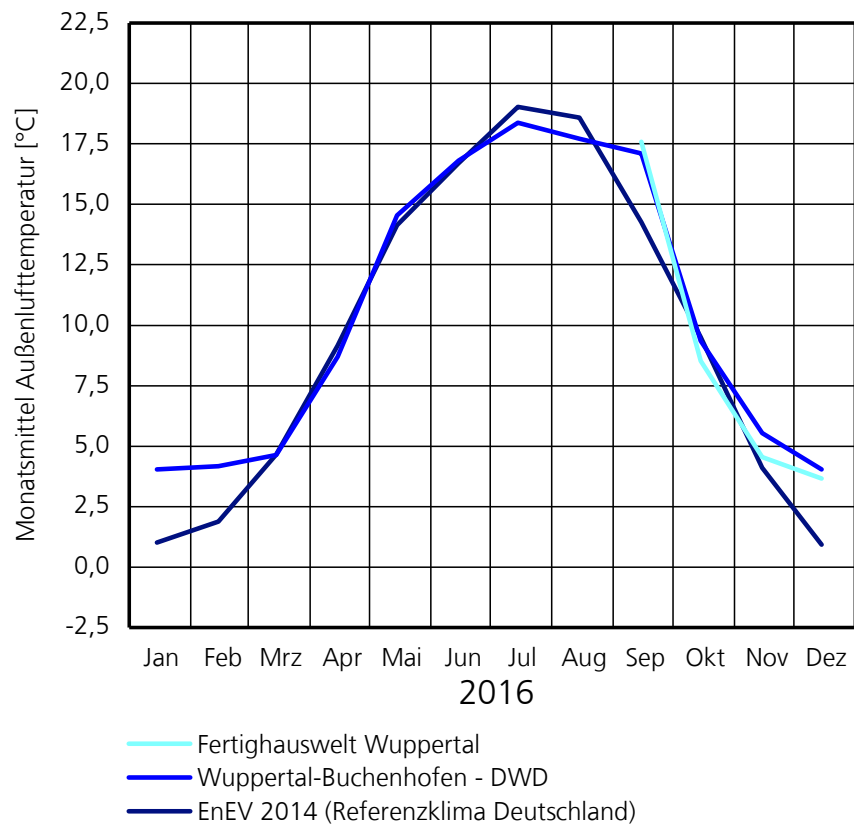


Bild 34:  
Monatsmittel der Außenlufttemperatur in Messperiode 1.

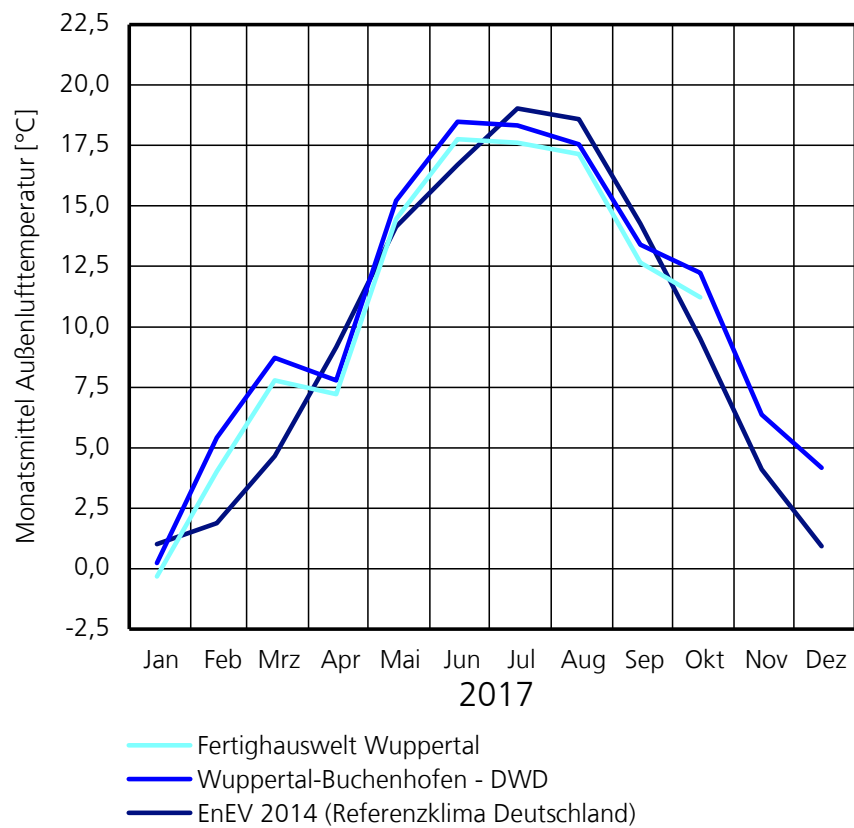


Bild 35:  
Monatsmittel der Außenlufttemperatur in Messperiode 2.

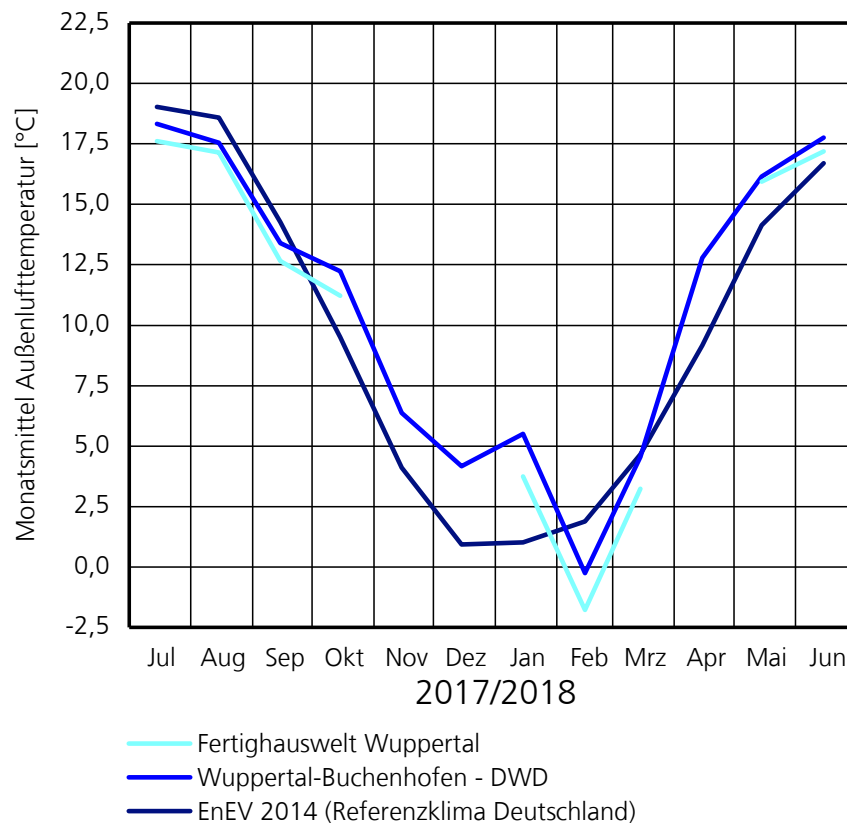


Bild 36:  
Monatsmittel der Außenlufttemperatur in Messperiode 3.

## 8.2 Einzelgebäude

Im Folgenden werden die Messwerte des Monitorings auf Messperiode 1 (1. Jan. 2016 bis 31. Dez. 2016), Messperiode 2 (1. Jan. 2017 bis 31. Dez. 2017) und Messperiode 3 (1. Jul. 2017 bis 30. Juni 2018) aufgegliedert dargestellt. Es wird dabei jeweils zwischen den beiden Ausstellungsgeländen Wuppertal und Köln unterschieden.

### 8.2.1 PV-Erträge

In Bild 37 und Bild 38 ist das Verhältnis der installierten PV-Fläche zur Gebäudenutzfläche  $A_N$  aufgetragen. Das Mittel liegt bei 0,29 (Köln) bzw. 0,30 (Wuppertal), wobei das kleinste Verhältnis bei 18\_SCHWABENHAUS 0,18 und das größte Verhältnis bei 11\_Rensch-Haus bei 0,46 liegt. Es ist zu erwähnen, dass das Gebäude 02\_SchwörerHaus als einziges, zusätzlich zu den auf dem Dach montierten PV-Modulen, über Fassadenmodule verfügt.

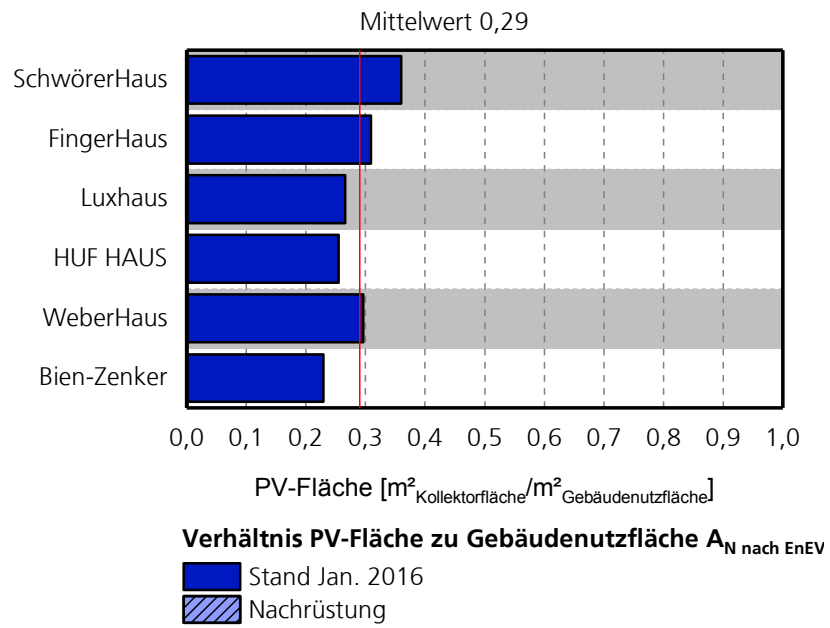


Bild 37:  
Verhältnis installierter PV-Fläche zu Gebäudenutzfläche  $A_{N \text{ nach EnEV}}$  (Fertighaus-Welt Köln).

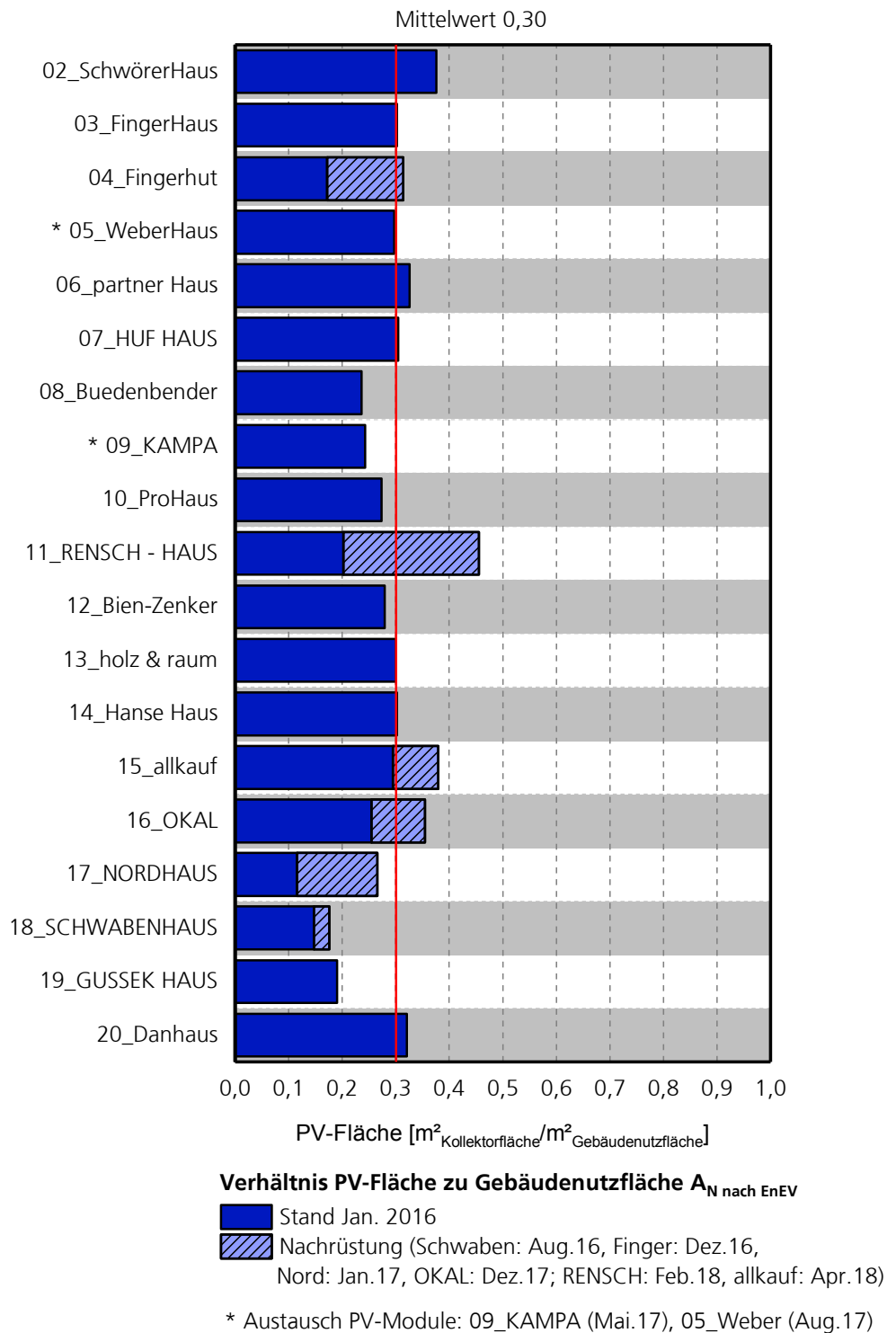


Bild 38:  
Verhältnis installierter PV-Fläche zu Gebäudenutzfläche  $A_N$  nach EnEV (Fertighaus-Welt Wuppertal).

In Bild 39 und Bild 40 werden den real gemessenen spezifischen Jahreserträgen die rechnerischen Prognosewerte gegenübergestellt. Dabei ist festzustellen, dass die prognostizierten Jahreserträge zumeist erfüllt oder sogar übertroffen werden. Eine nennenswerte Unterschreitung findet bei 05\_WeberHaus (Wuppertal) in den Messperioden 1 und 2 statt. Hier ist eine, in die Dachpfannen integrierte PV-Anlage installiert, welche im August 2017 durch flächengleiche Aufdach-Module ersetzt wurde. 09\_KAMPA hat im Mai 2017 ebenfalls seine PV-Module erneuert. Die Gebäude 18\_SCHWABENHAUS (Aug. 2016), 04\_Fingerhut und 17\_NORDHAUS (Jahreswechsel 2016/2017), 16\_OKAL (Dez. 2017), 10\_RENSCH-HAUS (Feb. 2018) und 15\_allkauf (Apr. 2018) haben zusätzliche PV-Fläche installiert (schraffierte Fläche entspricht der Prognose der Nachrüstung). Zu erwähnen ist, dass beim Gebäude 02\_SchwörerHaus (Wuppertal) eine geringe Verschattung der Module durch den Werbepylon der FertighausWelt auftritt und dieses Gebäude als einziges über Fassadenmodule verfügt, welche im besonderen Maß von Verschattung durch umliegende Bebauung und Bepflanzung betroffen sind. Aufgrund eines defekten Wechselrichters konnte beim Gebäude 14\_Hanse Haus im Mai 2016 kein PV-Ertrag generiert werden. Beim Gebäude Bien-Zenker (Köln) kam es während der ersten Messperiode im Zeitraum Juli bis November 2016 zu Ausfällen einzelner Wechselrichter. Beim Gebäude 07\_HUF HAUS kam es zwischen Mitte Februar und Ende Mai 2018 zu einer Störung der Wechselrichter, wodurch deutlich weniger PV-Strom erzeugt wurde.

Mit Ausnahme von 02\_SchwörerHaus beinhalten alle Prognosewerte keine Verschattung durch Bäume oder Bauwerke. Da die aktuellen Ertragsprognosen bis zur Fertigstellung dieses Berichtes für die Gebäude 15\_allkauf und 16\_OKAL nicht vorlagen, basieren diese in den folgenden Grafiken auf den Daten vor der Nachrüstung der PV-Fläche.

#### Mittelwert PV-Erzeugung (Prognose 38,1 kWh/m²\*a)

Messperiode 1: 37,5 kWh/m²\*a; Messperiode 2: 41,3 kWh/m²\*a

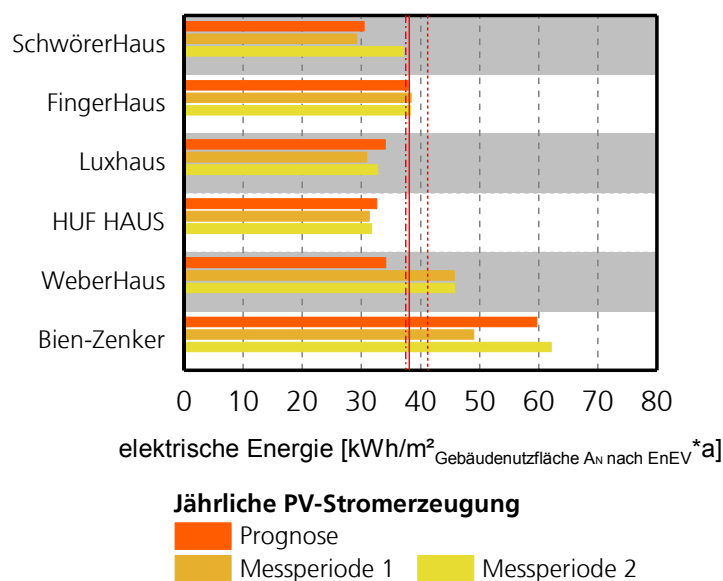
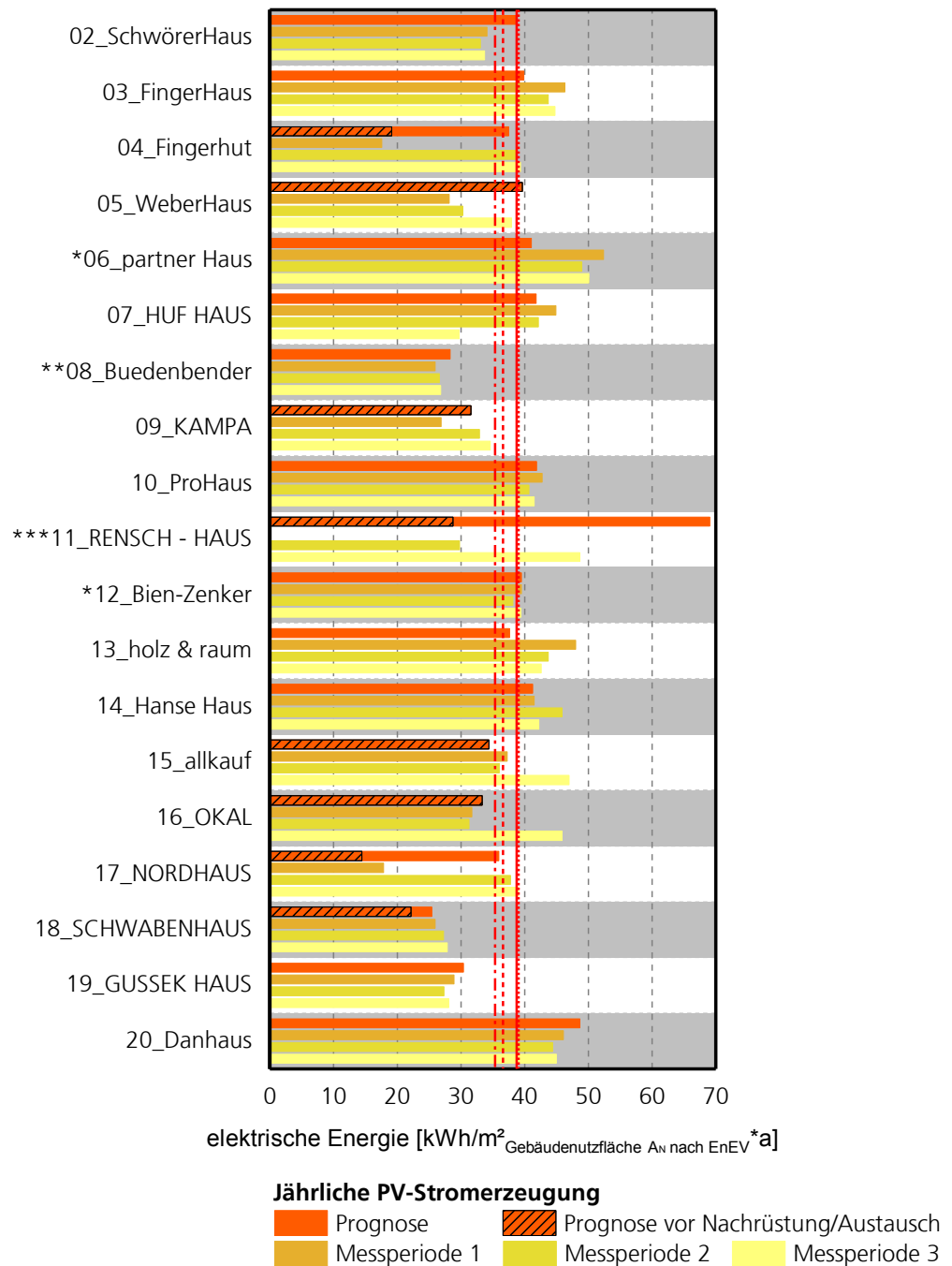


Bild 39:

Gegenüberstellung des gemessenen spez. PV-Ertrags zu den Prognosewerten, bezogen auf die Gebäudenutzfläche  $A_N$  nach EnEV (FertighausWelt Köln).

### Mittelwert PV-Erzeugung (Prognose: 38,7 kWh/m²\*a)

Messperiode1: 35,3kWh/m²\*a, Messperiode2: 36,8kWh/m²\*a, Messperiode3: 39,2kWh/m²\*a



\*Messperiode1: Mrz16 - Feb17; \*\*Messperiode1: Apr16 - Mrz17; \*\*\*Messperiode1: keine Messung

Bild 40:

Gegenüberstellung des gemessenen spez. PV-Ertrags zu den Prognosewerten, bezogen auf die Gebäudenutzfläche A<sub>N</sub> nach EnEV (FertighausWelt Wuppertal).

## 8.2.2 Endenergieverbrauch

Die tatsächlichen Energieverbräuche der Plusenergiegebäude Wuppertal stimmen in etwa bei der Hälfte der Gebäude mit den Bedarfsberechnungen überein. Bei der anderen Hälfte der Gebäude werden die vorausgerechneten Verbräuche teils deutlich überschritten. Tendenziell ist über die Messperioden eine gewisse Reduzierung der Verbräuche festzustellen (vgl. Bild 42). Dies wurde durch eine Sensibilisierung der Haushersteller mittels des Energiemonitorings - und die damit verbundene regelmäßige Information der Haushersteller im Rahmen der Arbeitsgruppentreffen und über die Internetseite des BBSR (<http://www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/forschung/effizienzhaus-plus-im-quartier/>) - gefördert. Die Gebäude in Köln weisen eine größere Abweichung von den Prognosewerten auf und zeigen in der Messperiode 2, mit Ausnahme von Bien-Zenker, keine Verbesserung (Bild 41).

### Mittelwert Hausverbrauch (Bedarfsberechnung 29,0 kWh/m²\*a)

Messperiode 1: 41,2 kWh/m²\*a; Messperiode 2: 41,5 kWh/m²\*a

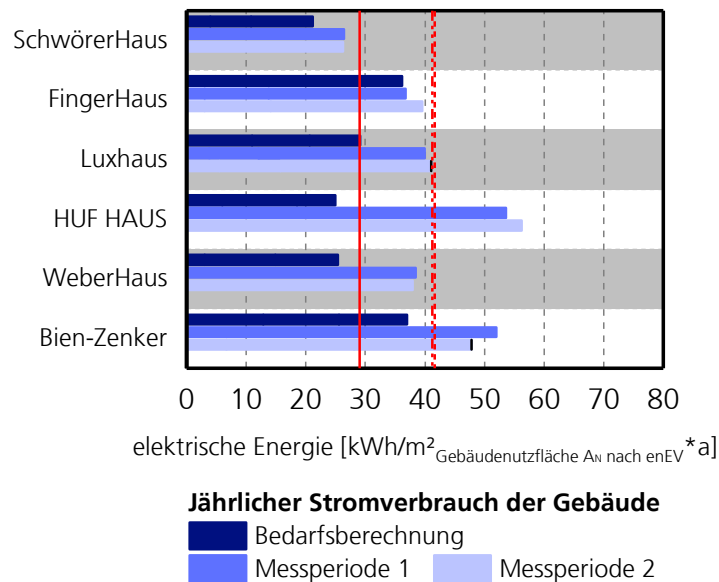


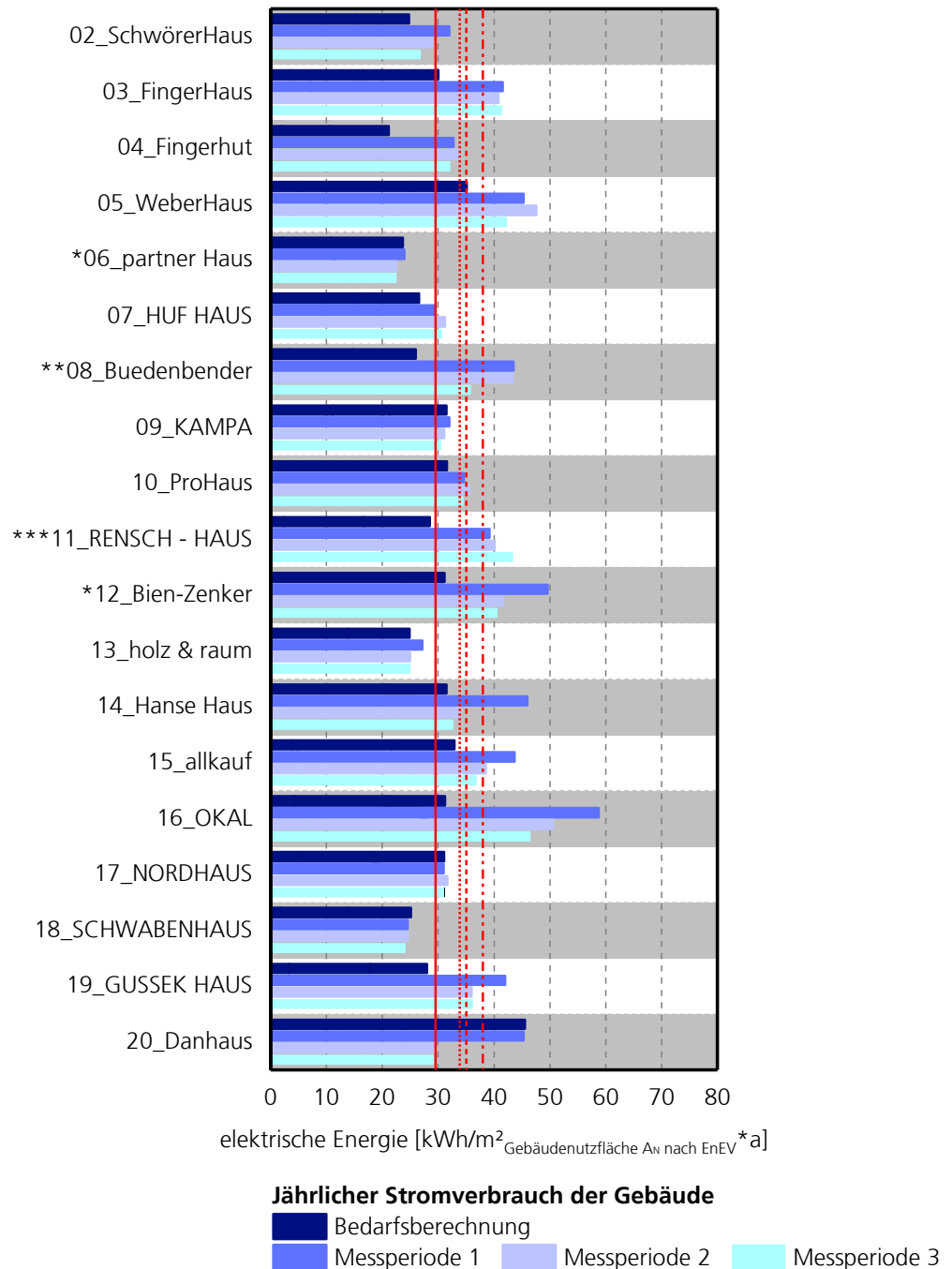
Bild 41:

Gegenüberstellung der gemessenen Hausverbräuche zu den Bedarfsberechnungen, bezogen auf die Gebäudenutzfläche  $A_N$  nach EnEV (FertighausWelt Köln).



### Mittelwerte Hausverbrauch (Bedarfsberechnung 29,5 kWh/m²\*a)

Messperiode1: 38,0kWh/m²\*a, Messperiode2: 35,0kWh/m²\*a, Messperiode3: 33,8kWh/m²\*a



\*Messperiode1: Mrz16 - Feb17; \*\*Messperiode1: Apr16 - Mrz17; \*\*\*Messperiode1: keine Messung

Bild 42:

Gegenüberstellung der gemessenen Hausverbräuche zu den Bedarfsberechnungen, bezogen auf die Gebäudenutzfläche A<sub>N</sub> nach EnEV (FertighausWelt Wuppertal).

In Bild 43 und Bild 44 wird jeweils zwischen den Verbräuchen für „Heizen, Trinkwarmwasser und Hilfsenergie“ und „Beleuchtung und Haushaltstrom“ unterschieden. Diese Darstellung ist nicht bei allen Gebäuden möglich, da die notwendigen Unterzähler bisher noch nicht installiert wurden. Die zusätzlich angegebenen vorausberechneten Bedarfswerte ermöglichen dabei eine Einschätzung bzgl. der Nutzung der verbauten Anlagenqualität, d.h. ist der Verbrauch deutlich größer als der vorausberechnete Bedarf, liegen bei der Nutzung des Gebäudes bzw. bei den Einstellwerten der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik gewisse Optimierungspotentiale vor. Hierbei könnte es sich z.B. um zu hohe Vorlauftemperaturen der Heizung, unkontrolliertes (Dauer-)Lüften des Gebäudes durch offen oder gekippte Fenster oder eine Dauerbeleuchtung der Innenräume handeln.

Die größten Mehrverbräuche weisen in der Fertighauswelt Wuppertal anfangs die Häuser 08\_Buedenbender, 12\_Bien-Zenker (Wärmepumpe + elektrische Nachheizung und Beleuchtung), 14\_Hanse Haus (Wasserwand und Hausautomation), 16\_OKAL (Beleuchtung und Hausautomation) und 19\_Gussek auf.

Auf Basis des Energiemonitorings wurden bei einigen Hausherstellern Anpassungen in der Anlagentechnik vorgenommen. Am deutlichsten sind diese Verbesserungen beim Gebäude 20\_Danhaus erkennbar. Hier wurde zum einen die Einstellungen der Wärmepumpe durch den Hersteller angepasst und zum anderen die Beleuchtung optimiert (Austausch Leuchtkörper). Auch die Gebäude 02\_SchwörerHaus, 05\_WeberHaus, 12\_Bien-Zenker, 14\_Hanse Haus, 15\_allkauf und 16\_OKAL haben ihre Stromverbraucher analysiert und Optimierungen vorgenommen, wodurch teilweise deutliche Einsparungen ermöglicht wurden.

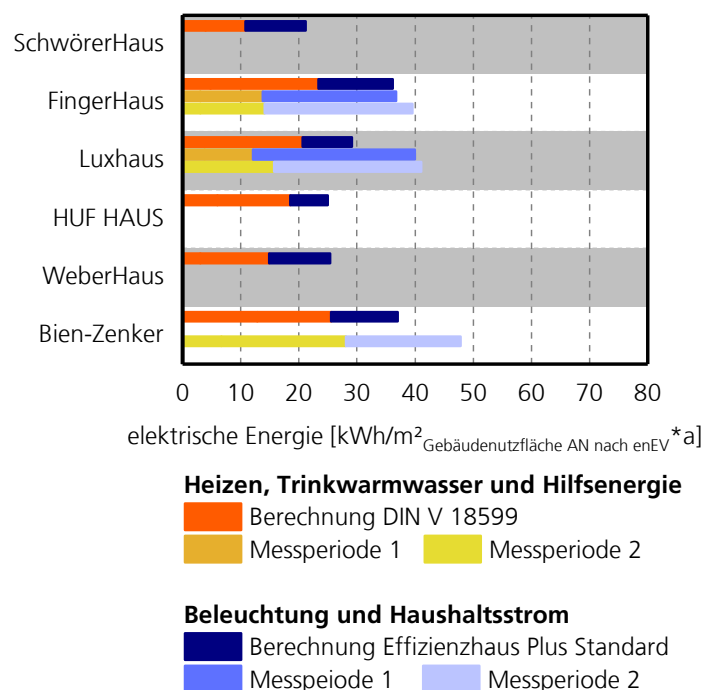
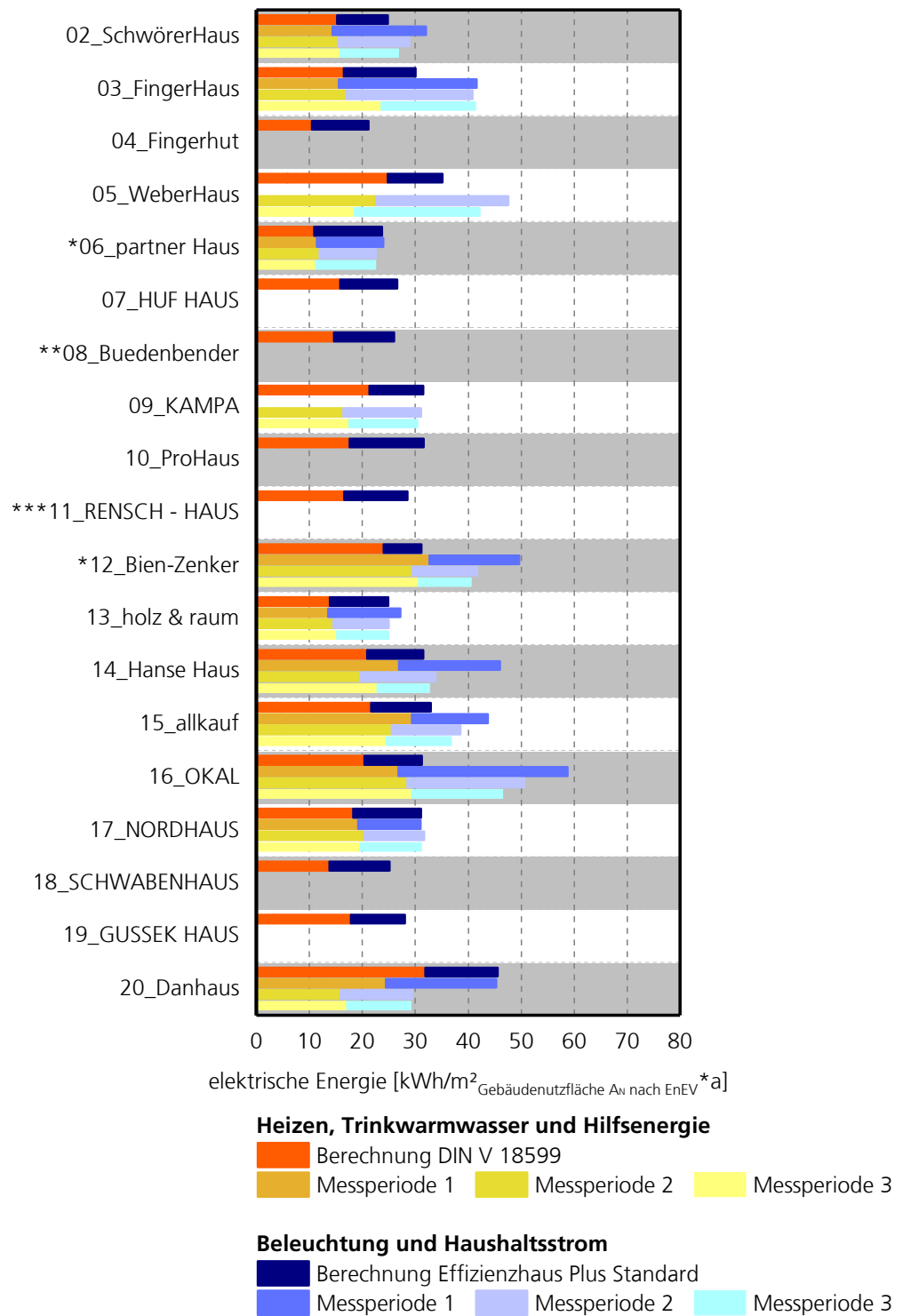


Bild 43:

Aufschlüsselung der Hausverbräuche auf die Teilbereiche „Heizen, Trinkwarmwasser und Hilfsenergie“ und „Beleuchtung und Haushaltstrom“, bezogen auf die Gebäudenutzfläche  $A_N$  nach EnEV (FertighausWelt Köln).



\*Messperiode1: Mrz16 - Feb17; \*\*Messperiode1: Apr16 - Mrz17; \*\*\*Messperiode1: keine Messung

Bild 44:

Aufschlüsselung der Hausverbräuche auf die Teilbereiche „Heizen, Trinkwarmwasser und Hilfsenergie“ und „Beleuchtung und Haushaltsstrom“, bezogen auf die Gebäudenutzfläche  $A_N$  nach EnEV (FertighausWelt Wuppertal).

### 8.2.3 Endenergieüberschuss

Bild 45 und Bild 46 zeigen die Plus-Energiebilanzen der einzelnen Gebäude in den betreffenden Messperioden. Für die Gebäude 09\_KAMPA, 11\_RENSCH-HAUS (vor Nachrüstung) und 18\_SCHWABENHAUS fällt die Prognose der Plus-Energiebilanz nur sehr knapp aus, weshalb in Bild 46 der Prognosebalken nicht sichtbar ist. Bei den Gebäuden 04\_Fingerhut, 10\_RENSCH-HAUS; 15\_allkauf, 16\_OKAL, 17\_NORDHAUS und 18\_SCHWABENHAUS ist zu erwähnen, dass PV-Fläche nachgerüstet bzw. bei 05\_WeberHaus und 09\_KAMPA ausgetauscht wurde. Beim Gebäude 04\_Fingerhut wurde in Messperiode 1 aufgrund eines defekten Windrades deutlich weniger Strom erzeugt als ursprünglich geplant, worauf das Windrad durch zusätzliche PV-Fläche ersetzt wurde (Prognosebalken vor Nachrüstung exklusive Prognosevorhersage für Windrad). Das Gebäude 17\_NORDHAUS war in Messperiode 1 nicht als Plus-Energie-Gebäude ausgeführt. Aufgrund einer Störung des Wechselrichters am Gebäude 07\_HUF HAUS wurde im Zeitraum zwischen Mitte Februar und Ende Mai 2018 deutlich weniger PV-Strom erzeugt. Der prognostizierte Endenergieüberschuss konnte daher in Messperiode 3 nicht erreicht werden. Da die aktuellen Ertragsprognosen für die Gebäude 15\_allkauf und 16\_OKAL bis zur Fertigstellung dieses Berichtes nicht vorlagen, basieren die Plusenergieprognosen in Bild 46 auf den Daten vor der Nachrüstung der PV-Fläche.

Es zeigt sich, dass im praktischen Betrieb eine (Über-)Erfüllung der errechneten/prognostizierten Plus-Energiebilanzen nur bei gut einem Drittel der Gebäude stattfindet. Ein weiteres Drittel erfüllt zwar die Plus-Energiebilanz, jedoch nicht in der Höhe der Prognose. Die verbleibenden Gebäude in Wuppertal verfehlen die Plus-Energiebilanz, wobei ein deutlicher Trend zur Erfüllung erkennbar ist. Im Wesentlichen ist das Verfehlen der Plusenergiebilanz einzelner Häuser im praktischen Betrieb auf den zu hohen Hausverbrauch zurückzuführen. Einzig beim Gebäude 05\_WeberHaus (Wuppertal) liegt auch der PV-Ertrag deutlich unter der Prognose. Hier wurde die PV-Anlage im August 2017 ausgetauscht. Im Zeitraum zwischen Dezember 2017 bis Mai 2018, eine Periode mit zeitweise außergewöhnlichen Starkregenereignissen, kam es beim Gebäude 05\_WeberHaus zu einer Störung an den Wasserhaltungspumpen (ungeregelter Betrieb), wodurch sich in Messperiode 2 und 3 ein erhöhter Stromverbrauch ergab. Die positive Entwicklung der Energiebilanzen über die Messjahre einzelner Gebäude im praktischen Betrieb wird einerseits durch Einsparungen im Hausverbrauch, andererseits jedoch auch durch zusätzliche PV-Flächen getragen.

In Summe über alle 19 Effizienzhäuser Plus auf dem Ausstellungsgelände der FertighausWelt Wuppertal ergibt sich in der letzten Messperiode ein Überschuss von 20.855 kWh/a.

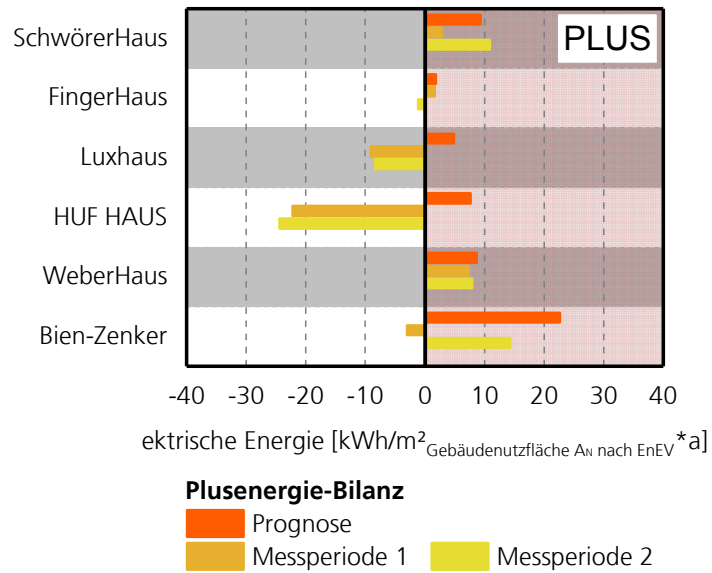


Bild 45:  
 Plusenergiebilanz der Einzelhäuser, bezogen auf die Gebäudenutzfläche  $A_{N \text{ nach EnEV}}$  (FertighausWelt Köln).

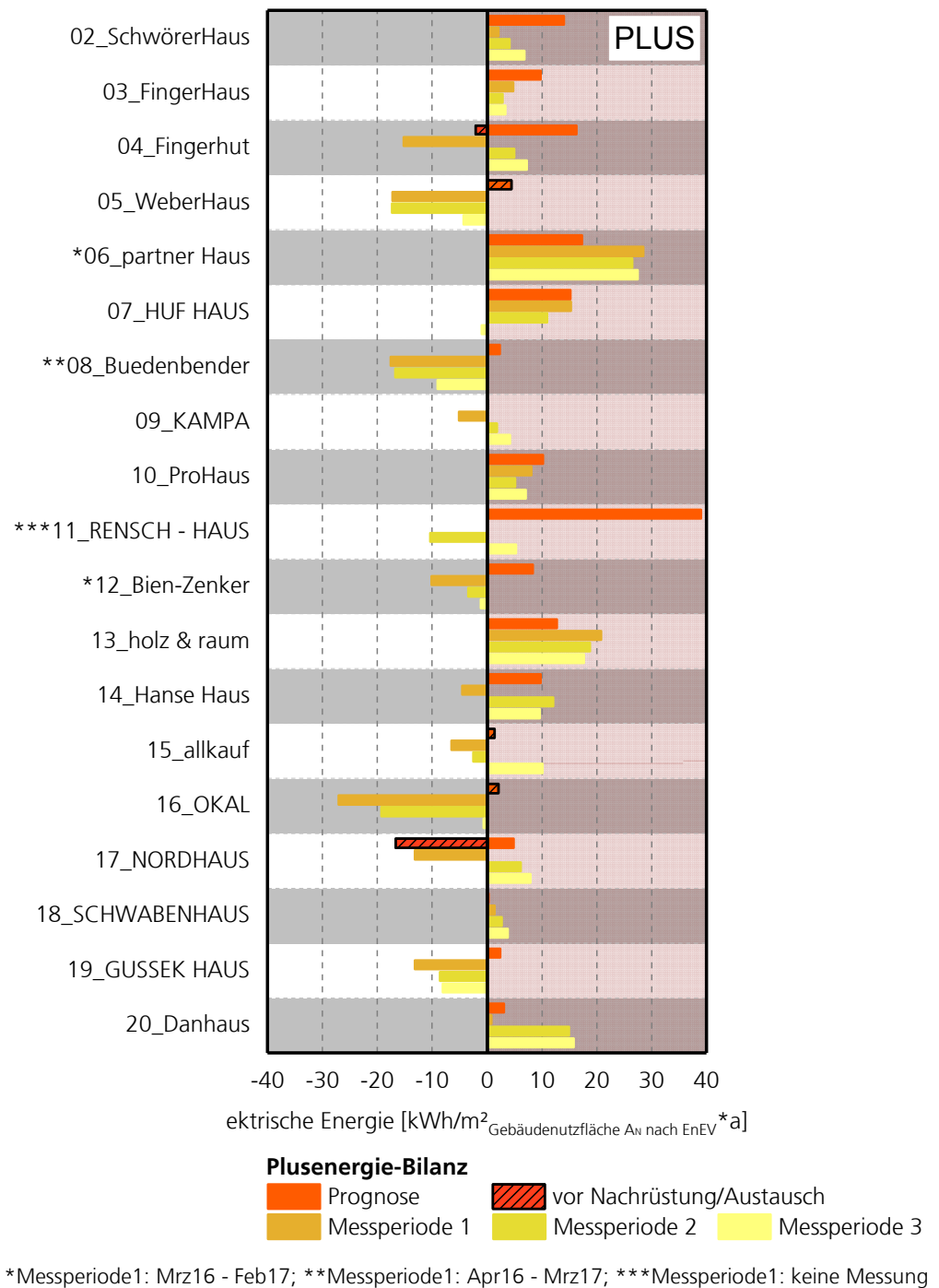


Bild 46:  
Plusenergiebilanz der Einzelhäuser, bezogen auf die Gebäudenutzfläche A<sub>N</sub> nach EnEV (FertighausWelt Wuppertal).

## 8.2.4 Eigenverbrauch und Autarkie

Der Eigenverbrauch gibt an, wie viel des am Gebäude erzeugten Stromes im Gebäude selbst verbraucht wird. Er wird aus der Differenz zwischen dem Zähler für die PV-Erzeugung und dem Hauszähler für die Einspeisung ins Netz (internes Ringnetz) gebildet. Ferner ist der Autarkiegrad von Interesse. Dieser gibt an, welchen Anteil der Eigenverbrauch am Gesamtverbrauch des Gebäudes besitzt, d.h. in wie weit sich das Gebäude selbst mit Strom versorgt. Ein hoher Eigenverbrauch kann z.B. dadurch generiert werden, dass Stromverbräuche durch intelligente Gebäudetechnik und Haushaltsgeräte in Zeiten mit hohem solarem Angebot verlagert werden. Durch den Einsatz eines Batteriespeichers kann überschüssiger PV-Strom, z.B. für die Nutzung während der Nachtstunden, zwischengespeichert werden.

In der FertighausWelt Köln besitzen die Gebäude HUF HAUS, WeberHaus und Bien-Zenker einen Batteriespeicher (Bild 47). Hierdurch erhöhen sich die Eigenverbrauchsanteile auf über 40 Prozent. Das Gebäude HUF HAUS weist dabei den höchsten Wert mit rund 60 Prozent auf (Messperiode 1: 58 Prozent, Messperiode 2: 62 Prozent), wobei es auch den höchsten spezifischen Hausverbrauch mit rund  $55 \text{ kWh/m}^2_{\text{Gebäudenutzfläche}} \cdot \text{a}$  besitzt.

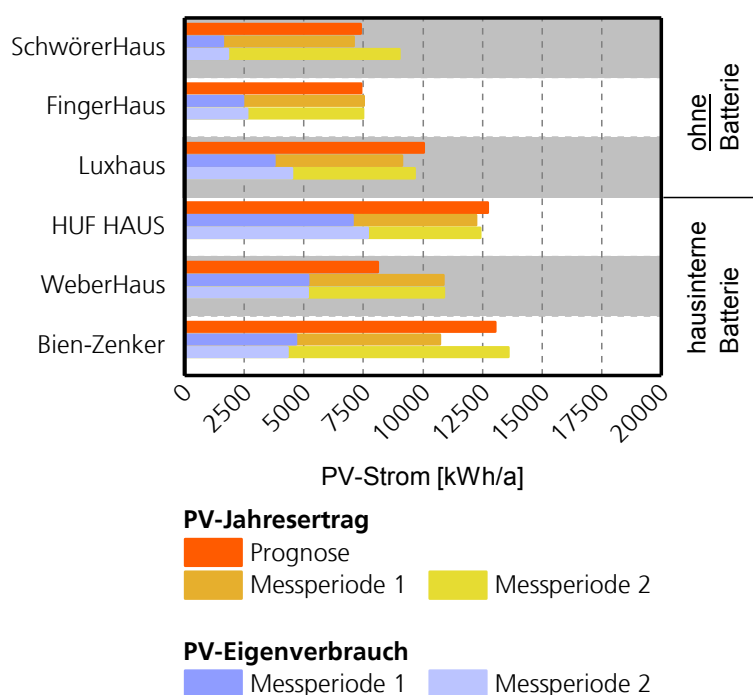


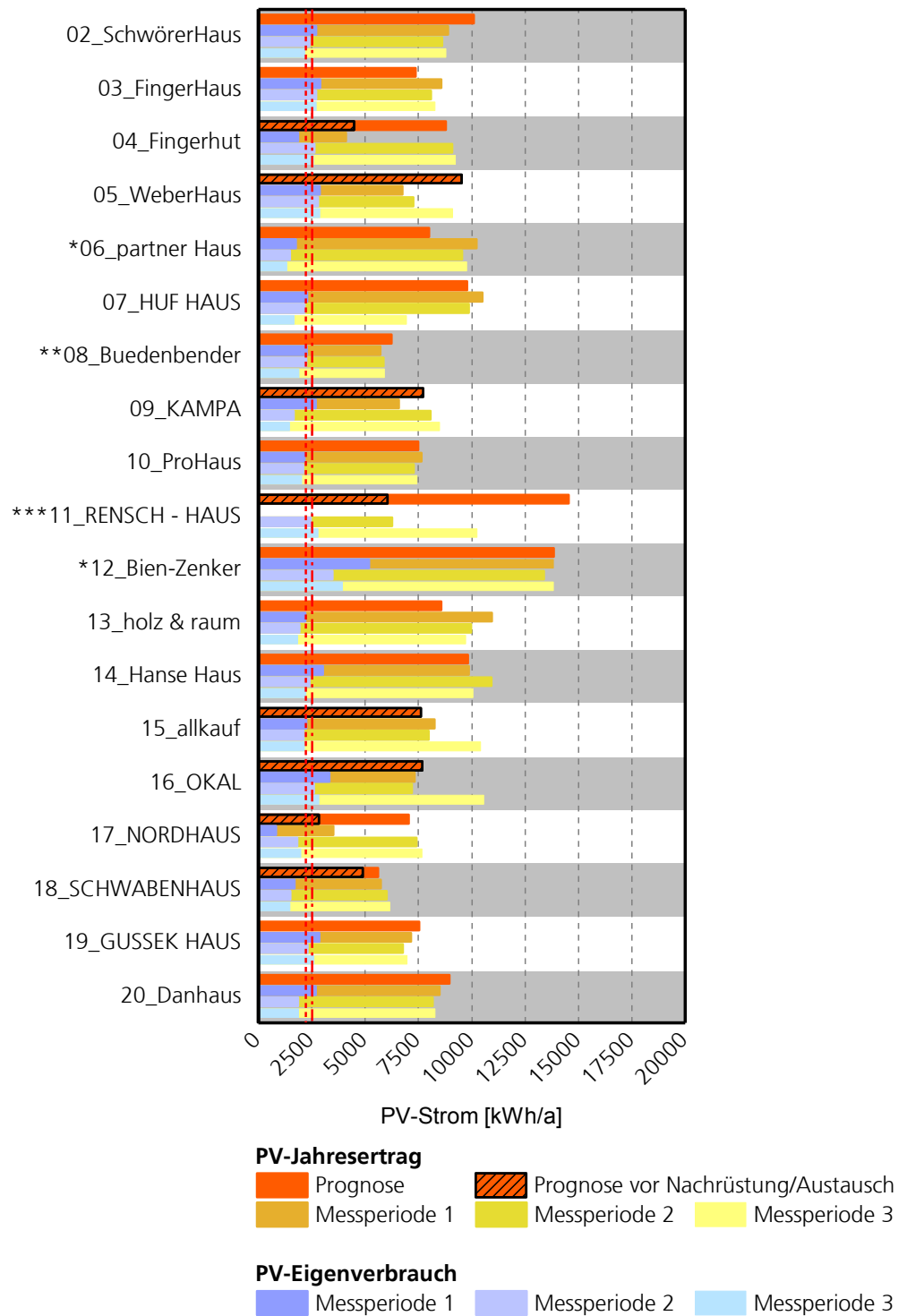
Bild 47:  
Eigenverbrauch des erzeugten PV-Stroms innerhalb der einzelnen Gebäude;  
FertighausWelt Köln.

Bild 48 zeigt den PV-Eigenverbrauch der einzelnen Gebäude in Wuppertal. Der prozentuale Eigenverbrauch liegt in Messperiode 1 zwischen 17 Prozent (06\_partner Haus, sehr geringer Hausverbrauch) und 45 Prozent (04\_Fingerhut, geringe PV-Fläche bzw. 16\_OKAL, hoher Hausverbrauch). Der Mittelwert liegt bei 33 Prozent. In Messperiode 2 liegt der prozentuale Eigenverbrauch zwischen 16 Prozent (06\_partner Haus) und 39 Prozent (05\_WeberHaus, hoher Hausverbrauch). Der Mittelwert liegt bei 28 Prozent. In Messperiode 3 liegt der prozentuale Eigenverbrauch zwischen 14 Prozent (06\_partner Haus) und 37 Prozent (19\_GUSSEK HAUS, hoher Hausverbrauch). Der Mittelwert liegt bei 26 Prozent. Generell nimmt der Eigenverbrauchsanteil über die Messperioden ab, da die Hausverbräuche im Zuge der Optimierungen vor allem während der Tagesstunden – in denen sie durch solare Erträge gedeckt werden könnten – sinken. Bei einigen Gebäuden steigt zudem die PV-Erzeugung aufgrund zusätzlicher PV-Flächen (vgl. Kapitel 8.2.1).



### Mittelwerte PV-Eigenverbrauch

Messperiode 1: 2.587 kWh/a, Messperiode 2: 2.242 kWh/a, Messperiode 3: 2.238 kWh/a



\*Messperiode1: Mrz16 - Feb17; \*\*Messperiode1: Apr16 - Mrz17; \*\*\*Messperiode1: keine Messung

Bild 48:

Eigenverbrauch des erzeugten PV-Stroms innerhalb der einzelnen Gebäude; FertighausWelt Wuppertal. (schraffierte Fläche: PV-Prognose Messjahr 1).

In Bild 49 sind die Autarkiegrade der sechs Gebäude auf dem Gelände der FertighausWelt Köln dargestellt. Die Gebäude HUF HAUS, WeberHaus und Bien-Zenker verfügen dabei jeweils über einen dezentralen Batteriespeicher. Am Gebäude WeberHaus lässt sich gegenüber den restlichen Gebäuden ein deutlich erhöhter Autarkiegrad feststellen. Das Gebäude HUF HAUS weist zwar den höchsten Eigenverbrauch auf, besitzt jedoch ebenso einen hohen Hausverbrauch.

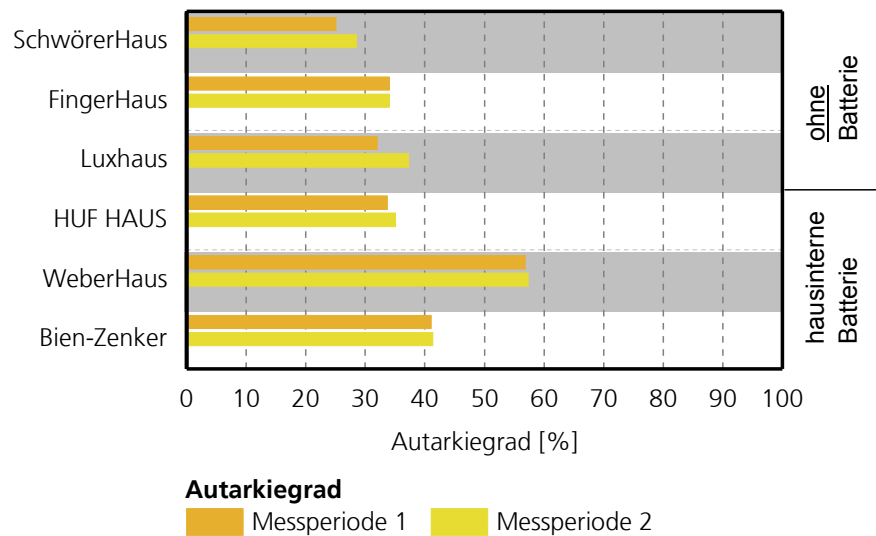
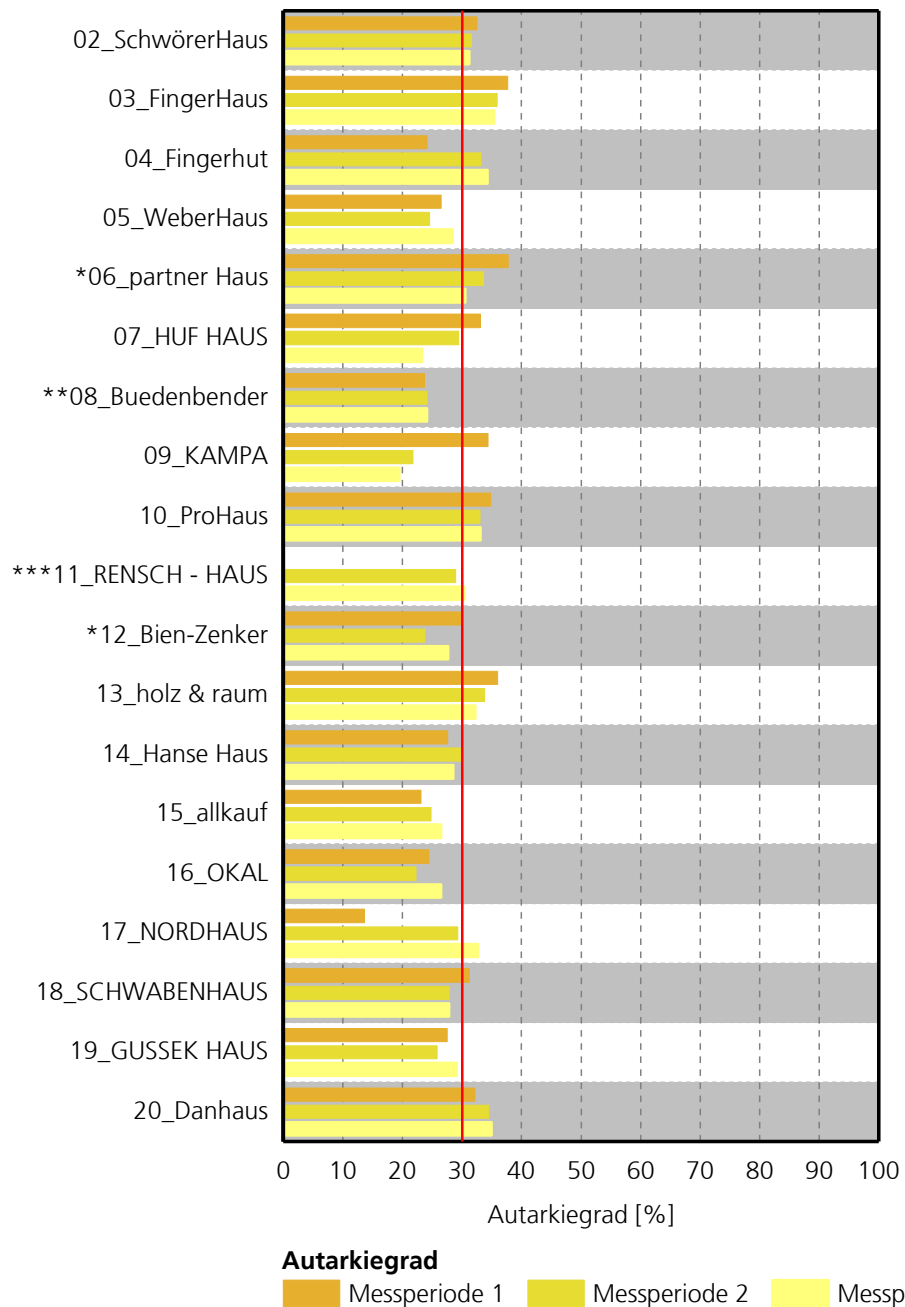


Bild 49:  
Autarkiegrad der einzelnen Gebäude (FertighausWelt Köln).

Bild 50 zeigt die Autarkiegrade der Gebäude in Wuppertal, welche sich zwischen 23 Prozent und 38 Prozent (im Mittel 29 Prozent) bewegen. Diese Werte sind auch vergleichbar mit den Gebäuden in Köln, die keinen hausinternen Batteriespeicher besitzen. In Messperiode 1 liegt der Autarkiegrad für das Gebäude 17\_NORDHAUS aufgrund des defekten Windrades bei unter 20 Prozent.

### Mittelwerte Autarkie

Messperiode 1: 30 %, Messperiode 2: 29 %, Messperiode 3: 29 %



\*Messperiode1: Mrz16 - Feb17; \*\*Messperiode1: Apr16 - Mrz17; \*\*\*Messperiode1: keine Messung

Bild 50:

Autarkiegrad der einzelnen Gebäude (FertighausWelt Wuppertal).

## 8.2.5 Anlagenperformance

Für die Wärmeerzeugung in den einzelnen Ausstellungsgebäuden in Wuppertal werden hauptsächlich (Ab-)Luft/Wasser Wärmepumpen eingesetzt. Ausnahmen bilden die Gebäude 11\_RENSCH-HAUS und 12\_Bien-Zenker mit jeweils einer Luft/Luft-Wärmepumpe, die Gebäude 03\_FingerHaus und 18\_SCHWABENHAUS mit jeweils einer Sole/Wasser-Wärmepumpe sowie das Gebäude 20\_Danhaus mit einer Direktkondensation-Wärmepumpe.

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) gibt das Verhältnis der abgegebenen Wärmemenge zur aufgenommenen elektrischen Energie wieder. Die im praktischen Betrieb ermittelte Arbeitszahl kann dabei nicht unmittelbar mit der Planungsgröße COP (coefficient of performance) verglichen werden, da diese im Labor ausschließlich für das Wärmepumpenaggregat bestimmt wird, aktuelles Nutzerverhalten und Klimabedingungen werden dabei nicht berücksichtigt. Bild 51 zeigt die drei Bilanzräume zur Bestimmung der Arbeitszahl im Praxisbetrieb. In diesem Bericht werden die Bilanzräume 2 und 3 ausgewertet. Bilanzraum 2 berücksichtigt die abgegebene Wärmemenge der Wärmepumpe einschließlich eines eventuell vorhandenen Heizstabes. Für Bilanzraum 3 wird die Nutzenergie am Ausgang der gebäudespezifischen Heizungs- und Warmwasserspeicher im Verhältnis zur Stromaufnahme der Wärmepumpe einschließlich aller Umwälz- und Ladepumpen betrachtet. Die auftretenden Speicherverluste sind in der JAZ berücksichtigt. Aufgrund der Anlagenkonfiguration und der damit einhergehenden nicht frei wählbaren Anordnung der Messensorik ist die Bestimmung der Jahresarbeitszahl nur in Anlehnung an die genannten Bilanzräume möglich.

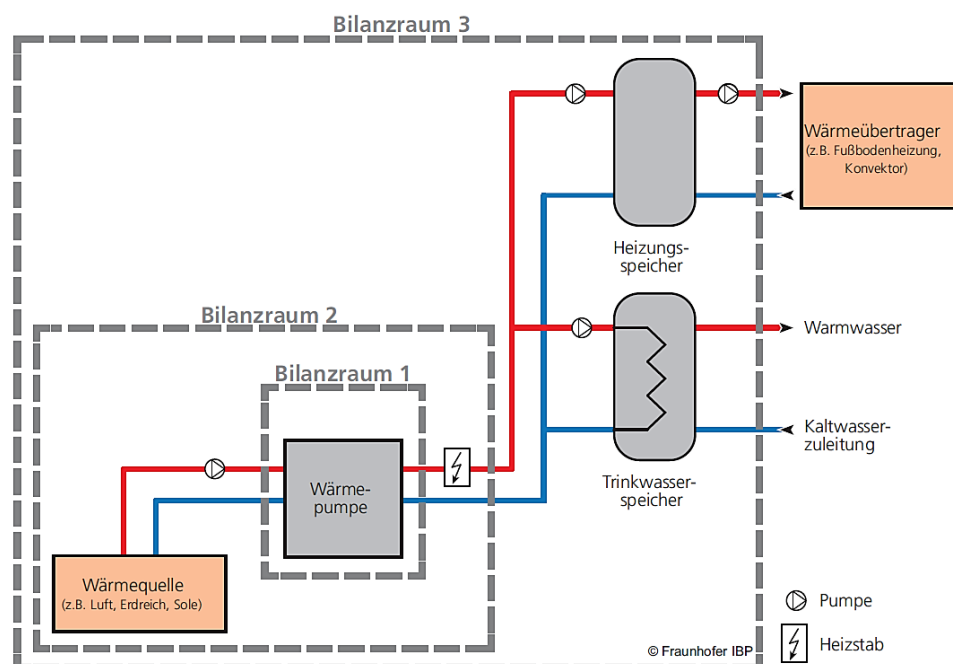


Bild 51:  
Bilanzräume zur Bestimmung der Jahresarbeitszahl.

In Tabelle 26 sind die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen einiger ausgewählter Ausstellungsgebäude dargestellt. Im Gebäude 05\_WeberHaus kam es in den Wintermonaten teilweise dazu, dass längere Zeit über den Heizstab geheizt wurde. Ohne diese „Direktheizung“ wäre die Arbeitszahl beim Gebäude 05\_WeberHaus in etwa bei 3,4. In den Gebäuden 15\_allkauf und 16\_OKAL können die Speicherverluste des Warmwassers aufgrund fehlender Wärmemengenzähler nicht mit bilanziert werden. Im Mittel wird eine Jahresarbeitszahl von 2,9 erreicht. Dies zeigt, dass gegenüber der Feldstudie [4] eine Verbesserung von etwa 10Prozent festgestellt werden konnte.

Tabelle 26:

Systemische Jahresarbeitszahl ausgewählter Ausstellungsgebäude während der drei Messperioden MP 1 bis MP 3.

| Gebäude          | Bilanzraum | Schema | Arbeitszahl                           |
|------------------|------------|--------|---------------------------------------|
| 02_Schwörer Haus | 2          |        | MP 1: 3,3<br>MP 2: 3,4<br>MP 3: 3,4   |
| 05_WeberHaus     | 2          |        | MP 1: 3,0<br>MP 2: 2,8<br>MP 3: 3,0   |
| 06_partner Haus  | 3          |        | MP 1: n.v.<br>MP 2: 2,8<br>MP 3: n.V. |
| 07_HUF HAUS      | 3          |        | MP 1: 2,7<br>MP 2: 2,8<br>MP 2: 2,7   |

|            |   |  |                                     |
|------------|---|--|-------------------------------------|
| 09_KAMPA   | 2 |  | MP 1:n.v.<br>MP 2: 3,0<br>MP 3: 3,1 |
| 15_allkauf | 3 |  | MP 1:n.v.<br>MP 2: 2,4<br>MP 3: 2,4 |
| 16_OKAL    | 3 |  | MP 1: 2,4<br>MP 2: 2,4<br>MP 2: 2,5 |

In Tabelle 27 wird für die Hilfsenergie der Lüftungsanlage (Endenergie) sowohl der rechnerische Bedarf nach DIN V 18599 [4] als auch der über die Stromzähler gemessene Verbrauch für einige Gebäude, für die die Ermittlung möglich ist, dargestellt. Dabei zeigt sich, dass der rechnerisch ermittelte Bedarf mit Ausnahme des Gebäudes 16\_OKAL deutlich höher als der tatsächlich gemessene Verbrauch ist. Beim Gebäude 07\_HUF HAUS handelt es sich um Abluftanlage.

Tabelle 27:  
Stromverbrauch der Lüftungsanlage für ausgewählte Gebäude.

| Gebäude         | Hilfsenergie<br>Whg-Lüftung<br>DIN V 18599 | Stromverbrauch Messperiode 2 |                                               |
|-----------------|--------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|
|                 | [kWh/a]                                    | [kWh/a]                      | [kWh/a*m <sup>2</sup> <sub>Nutzfläche</sub> ] |
| 02_SchwörerHaus | 569                                        | 234                          | 0,90                                          |
| 03_FingerHaus   | 404                                        | 257                          | 1,39                                          |
| 04_Fingerhut    |                                            | 175                          | 0,75                                          |
| 07_HUF HAUS     |                                            | 85                           | 0,36                                          |
| 15_allkauf      | 626                                        | 352                          | 1,59                                          |
| 16_OKAL         | 586                                        | 682                          | 2,96                                          |
| 20_Danhaus      |                                            | 240                          | 1,30                                          |

Wie bereits aus dem Monitoring in Köln-Ferchen (IBP-Bericht WB 175/2015, [5]) bekannt, ist bei Ausstellungsgebäuden ein deutlich erhöhter Verbrauch für die Beleuchtung messbar. Dieser ist auf die überdurchschnittliche Beleuchtung – sowohl Dimensionierung als auch Brenndauer - der Ausstellungsgebäude zurückzuführen. Bild 52 zeigt, dass es unter den Ausstellungsgebäuden deutliche Unterschiede im spezifischen Beleuchtungsverbrauch gibt. Hierbei werden nur die Gebäude aufgeführt, in denen sich die Beleuchtung eindeutig vom Haushaltsstrom trennen lässt (Einzelzähler für Beleuchtung). In Messperiode 1 liegt z.B., zwischen den Gebäuden 02\_SchwörerHaus und 16\_OKAL der Faktor vier in den Verbrauchswerten. Bei allen Gebäuden ist im Messperiode 2 bzw. 3 eine Reduzierung des Stromverbrauchs für die Beleuchtung erkennbar.

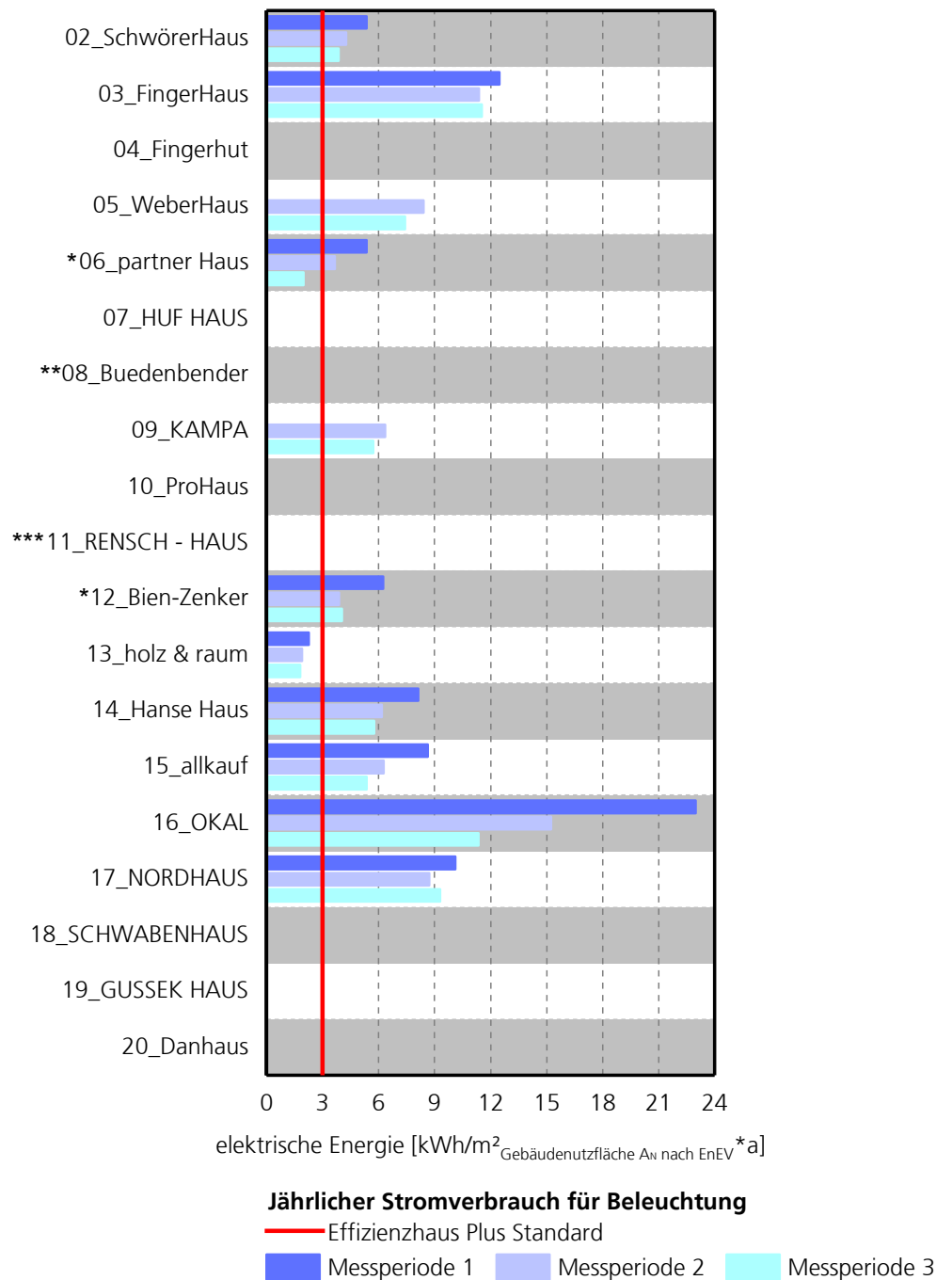


Bild 52:

Spezifischer Stromverbrauch für die Beleuchtung der Ausstellungsgebäude, bezogen auf die Gebäudenutzfläche  $A_{N \text{ nach EnEV}}$  (FertighausWelt Wuppertal).



## 8.2.6 Verbesserungspotentiale während des Monitorings

Im Zuge des Monitorings werden, auf Basis der Messdaten und in Abstimmung bzw. Beratung mit dem IBP, Optimierungen an den Stromverbrauchern vorgenommen. Durchgeführte Maßnahmen sind unter anderem:

- Optimierungen im Bereich der Heiz-/Kühltechnik (Hysterese Heizen/Kühlen, Vorrang des geschlossenen Sonnenschutzes vor einer aktiven Kühlung, Anpassung der Raumsolltemperaturen)
- Optimierungen an Verbrauchern (Bürogeräte werden nachts nicht mehr im Standby betrieben sondern ausgeschaltet, Beleuchtungskörper werden gegen sparsamere Modelle ausgetauscht, zur Lichtsteuerung werden Präsenzmelder bzw. Zeitschaltuhren eingebaut, usw.)
- Optimierungen im Bereich der Stromerzeugung (PV-Anlagen werden durch effizientere ausgetauscht bzw. ergänzt)

Weitere Potentiale werden im Bereich der Nutzung gesehen. Diese sind jedoch aufgrund der Nutzung als Ausstellungsgebäude kaum auszuschöpfen. So sind z.B. an heißen Sommertagen teilweise die Eingangstüren geöffnet obwohl zeitgleich aktiv gekühlt wird oder es werden die in den Bädern eingebauten Elektroheizkörper getestet. Ferner ist häufig die Beleuchtung in allen Räumen eingeschaltet, obwohl das Tageslichtangebot ausreichend wäre.

## 8.3 Siedlungsverbund Wuppertal

Das Monitoring im Bereich der Energieflüsse im Siedlungsverbund gliedert sich in zwei Teilbereiche, die Stromverschiebung innerhalb des Siedlungsverbunds und die Wirkung eines quartierszentralen Batteriespeichers mit einer effektiven Ladekapazität von 104 kWh (Tabelle 28). Im Siedlungsverbund befindet sich neben den Ausstellungsgebäuden, welche alle im Effizienzhaus-Plus-Standard ausgeführt sind, auch das Empfangsgebäude. Dieses verfügt über keine eigene Energieerzeugung (Dauerverbraucher) und bezieht im Auswertungszeitraum rund 19 Prozent des gesamten Stromverbrauches des Ausstellungsgeländes. Der geregelte Speicherbetrieb startete im September 2017. Mitte Januar 2018 wurde der Speicher aus technischen Gründen außer Betrieb gesetzt. Bis zum Ende des Berichtszeitraums konnten die technischen Probleme trotz Einbeziehung eines externen Ingenieurbüros (Elektroplanung) nicht gelöst werden, weshalb der Speicher nicht wieder in Betrieb genommen werden konnte.

Tabelle 28:

Auswertezeiträume des Siedlungsnetzes und des zentralen Batteriespeichers.

| Untersuchungsgegenstand            | Auswertezeitraum                      |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| Einfluss Siedlungsnetz             | 1. August 2016 bis 31. Juli 2017      |
|                                    | 1. Juli 2017 bis 30. Juni 2018        |
| Wirkung zentraler Batteriespeicher | 1. September 2017 bis 18. Januar 2018 |

### 8.3.1 Einfluss Siedlungsnetz

In Bild 53 werden der Strombezug von den Stadtwerken und die Reduzierung des Bezuges durch die Nutzung des überschüssigen PV-Stromes auf Siedlungsebene - und damit die Entlastung des Stromnetzes des EVUs – im Zeitraum August 2016 bis Juli 2017 dargestellt. Neben dem Empfangsgebäude wirkt auch der Batteriespeicher als Dauerverbraucher. Er wird zwar nicht aktiv geregelt, benötigt jedoch zur Systemerhaltung elektrische Energie. Hätte also jedes Gebäude (inkl. Empfang und Batterie) seinen Stromverbrauch direkt vom EVU bezogen, läge der Gesamtverbrauch bei 152.894 kWh. Da jedoch innerhalb des Quartiersnetzes die Möglichkeit besteht, Stromverbräuche durch Stromüberschüsse auszugleichen, liegt der Strombezug des Quartiers bei 131.699 kWh. Die Entlastung des öffentlichen Netzes, bezogen auf den Strombezug; beträgt somit rund 14 Prozent.

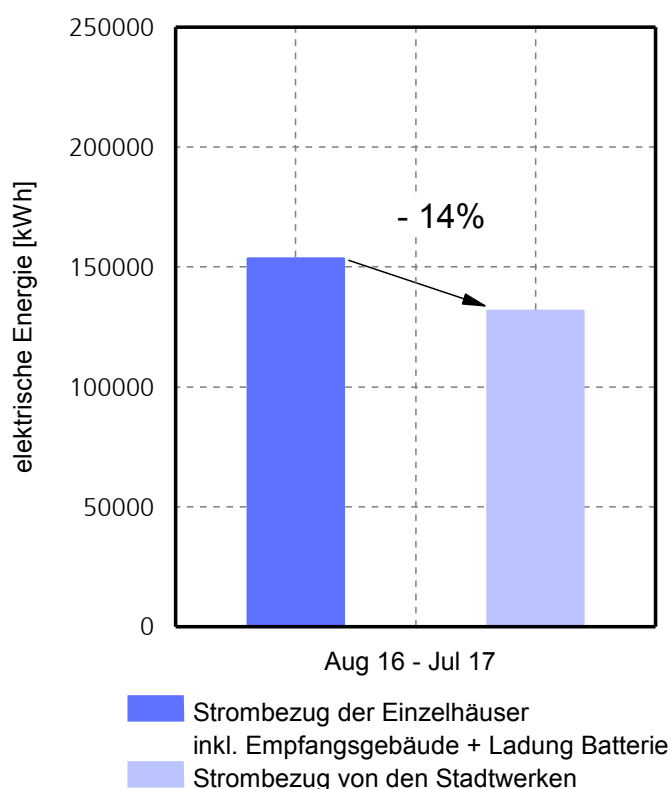


Bild 53:

Stromverschiebung zwischen den einzelnen Gebäuden des Ausstellungsgeländes (FertighausWelt Wuppertal); Zeitraum August 2016 bis Juli 2017.

Im Vergleich zum Auswertezeitraum August 2016 bis Juli 2017 beinhalten der Auswertezeitraum Juli 2017 bis Juni 2018 (Bild 54) auch den Zeitabschnitt, in dem sich der Batteriespeicher im Regelbetrieb befindet (September 2017 bis Januar 2018). Dadurch nimmt die Entlastung des öffentlichen Netzes um rund 4 Prozent zu.

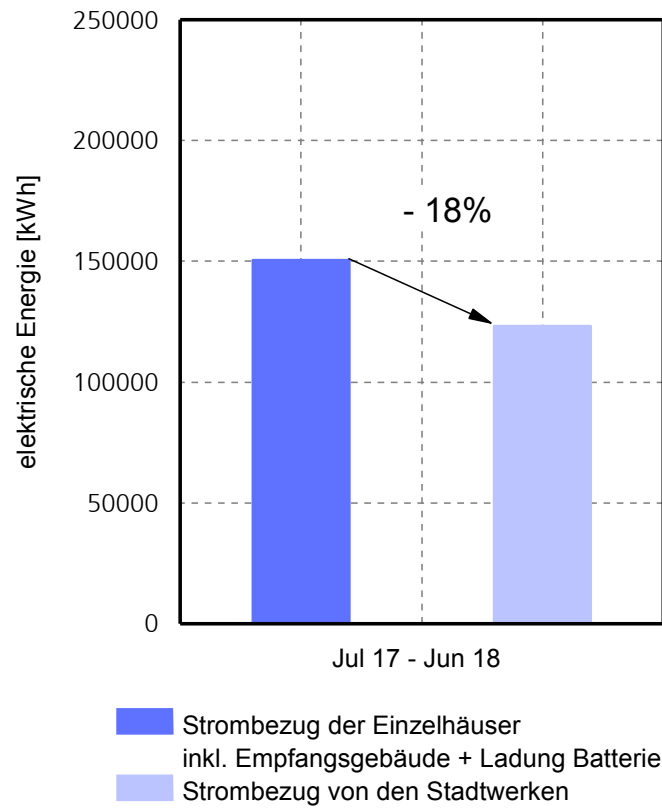


Bild 54:  
Stromverschiebung zwischen den einzelnen Gebäuden des Ausstellungsgeländes (FertighausWelt Wuppertal); Zeitraum Juli 2017 bis Juni 2018.

Durch den zusätzliche Verbrauch von PV-Strom auf dem Ausstellungsgelände, einerseits durch das Empfangsgebäude und den nicht aktiv geregelten Batteriespeicher und andererseits durch die Stromverschiebung zwischen den Ausstellungsgebäuden, steigt der Eigenverbrauch um rund 21.200 kWh bzw. 13 Prozent. Der Autarkiegrad steigt weniger stark an, da das Empfangsgebäude und der Eigenverbrauch des nicht aktiv geregelten Batteriespeichers (von August bis Dezember 2016 und Mai bis Juli 2017 insgesamt rund 4.344 kWh, von Januar bis April 2017 war der Speicher tiefentladen) als weitere Verbraucher mit einem Strombezug von rund 40.000 kWh hinzugefügt werden. Der Anstieg des Autarkiegrades beträgt damit lediglich 5 Prozent. Eine graphische Darstellung der Energiemengen erfolgt in Bild 55, in Tabelle 29 sind zusätzlich die zugehörigen Messwerte aufgeführt.

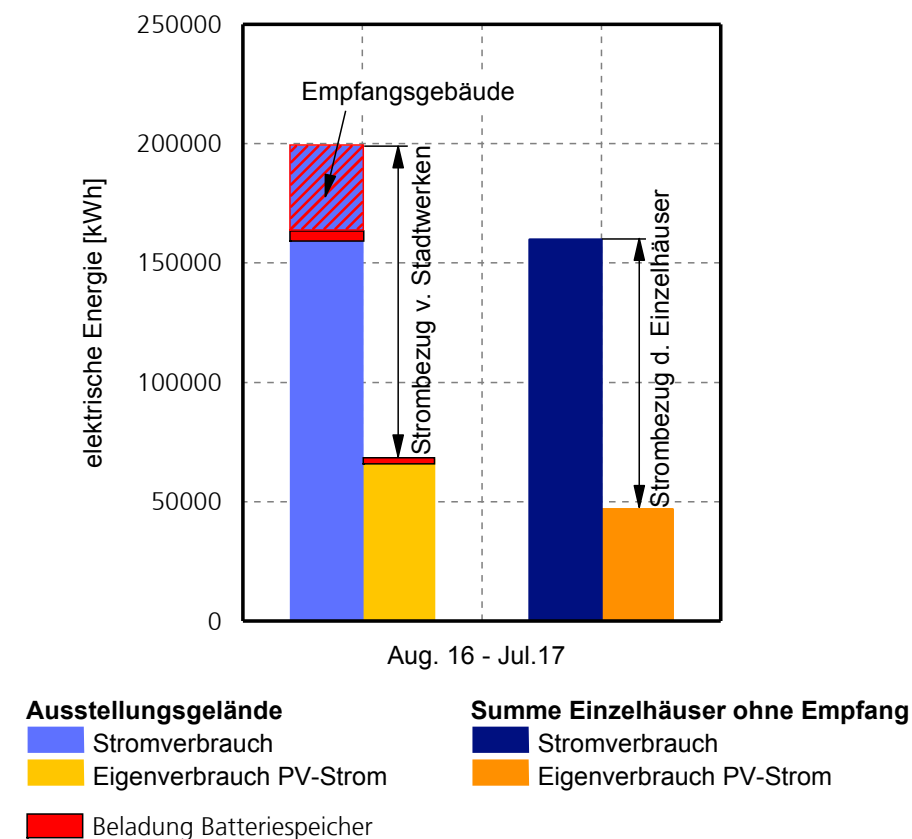


Bild 55:  
Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Eigenverbrauch für die Einzelhäuser und das Ausstellungsgelände (FertighausWelt Wuppertal); Zeitraum August 2016 bis Juli 2017.

Tabelle 29:

Tabellarische Zusammenfassung der elektrischen Energiemengen innerhalb des Ausstellungsgeländes in Wuppertal; Zeitraum August 2016 bis Juli 2017.

|                                                | <b>Einzelhäuser</b> | <b>Einzelhäuser + Empfang</b> | <b>Ausstellungsgelände</b> |
|------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Stromverbrauch [kWh]                           | 159.793             | 199.692                       |                            |
| <i>davon Batterieladung [kWh]<sup>1)</sup></i> |                     | 4.344                         |                            |
| Stromerzeugung [kWh]                           | 167.199             |                               |                            |
| Strombezug [kWh]                               | 112.995             | 152.894                       | 131.699                    |
| Stromeinspeisung [kWh]                         | 120.401             |                               | 99.206                     |
| Eigenverbrauch [kWh]                           | 46.798              |                               | 67.993                     |
| Eigenverbrauchsanteil [%]                      | 28,0                |                               | 40,7                       |
| Autarkiegrad [%]                               | 29,3                |                               | 34,3                       |

<sup>1)</sup> im nicht aktiv geregelten Modus.

Im Auswertezeitraum 1.Juli 2017 bis 30.Juni 2018 sinkt im Vergleich zur ersten Auswerteperiode der Eigenverbrauch der Einzelgebäude um knapp 3 Prozent, wobei der Autarkiegrad in etwa konstant bleibt. Der sinkende Eigenverbrauch begründet sich mit den Optimierungsmaßnahmen und der Nachrüstung von PV-Fläche. Auf Siedlungsebene bleibt der Eigenverbrauchsanteil durch den Batteriespeicher (Betriebszeit Sept. 2017 bis Jan. 2018) nahezu konstant und der Autarkiegrad steigt um 1 Prozent. In Bild 56 und Tabelle 30 werden die zugehörigen Messwerte für den zweiten Auswertezeitraum graphisch bzw. tabellarisch dargestellt.

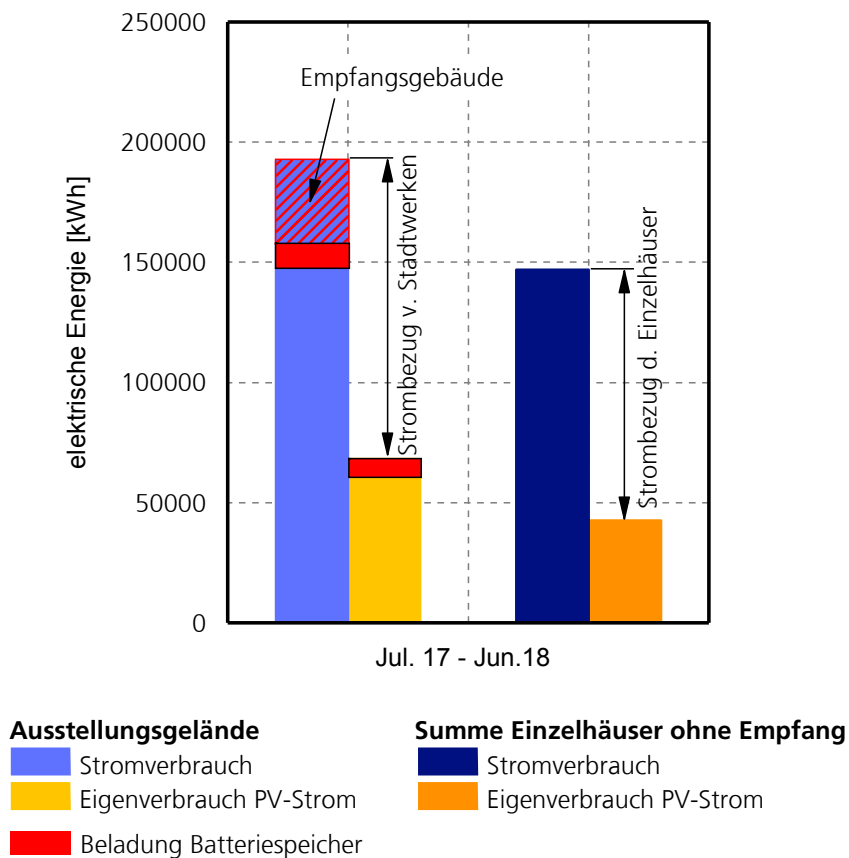


Bild 56:  
Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Eigenverbrauch für die Einzelhäuser und das Ausstellungsgelände (FertighausWelt Wuppertal); Zeitraum Juli 2017 bis Juni 2018.

Tabelle 30:  
Tabellarische Zusammenfassung der elektrischen Energiemengen innerhalb des Ausstellungsgeländes in Wuppertal; Zeitraum Juli 2017 bis Juni 2018.

|                            | Einzelhäuser | Einzelhäuser + Empfang | Ausstellungsgelände |
|----------------------------|--------------|------------------------|---------------------|
| Stromverbrauch [kWh]       | 146.868      | 192.204                |                     |
| davon Batterieladung [kWh] |              | 10.371                 |                     |
| Stromerzeugung [kWh]       | 167.754      |                        |                     |
| Strombezug [kWh]           | 104.345      | 149.681                | 124.050             |
| Batterieentladung          |              | 4.735                  |                     |
| Stromeinspeisung [kWh]     | 125.231      |                        | 99.600              |
| Eigenverbrauch [kWh]       | 42.523       |                        | 68.154              |
| Eigenverbrauchsanteil [%]  | 25,3         |                        | 40,6                |
| Autarkiegrad [%]           | 29,0         |                        | 35,5                |

### 8.3.2 Be-/Entladeverhalten zentraler Batteriespeicher (1. September 2017 bis 18. Januar 2018)

Im September 2017 wurden durch den Batteriespeicher 2.101 kWh des PV-Stromes zusätzlich auf dem Gelände der Fertighauswelt Wuppertal genutzt. Hierbei handelt es sich um die ausgespeicherte Energiemenge. In den Folgemonaten sinkt dieser Wert aufgrund der geringeren PV-Erzeugung kontinuierlich (Tabelle 31). Der Speicherwirkungsgrad sinkt analog von 61 Prozent im September, auf 5 Prozent im Dezember. Der sinkende Wirkungsgrad begründet sich mit dem Eigenverbrauch des Speichers.

Bei „geleertem“ Speicher wird dieser in wiederkehrenden Ladeintervallen ca. 65-75 Minuten mit einer Leistung von 1,8 kW aus dem Netz beladen (Bild 57). Diese Beladung wird im Folgenden als Erhaltungsladung bezeichnet. Sie dient nur dazu, den Speicher betriebsbereit zu halten. Maximal werden pro Tag dabei rund 15 kWh vom Netz bezogen.

Tabelle 31:  
Monatlich in den zentralen Speicher ein- bzw. ausgespeicherte Energiemengen.

|                                                            | <b>Sept.</b> | <b>Okt.</b> | <b>Nov.</b> | <b>Dez.</b> | <b>1.-18.Jan.</b> |
|------------------------------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| Beladung [kWh]                                             | 3.629        | 2.154       | 972         | 458         | 322               |
| <i>davon Erhaltungsladung<sup>1)</sup></i><br><i>[kWh]</i> | <i>102</i>   | <i>247</i>  | <i>360</i>  | <i>402</i>  | <i>215</i>        |
| Entladung [kWh]                                            | 2.226        | 1.130       | 325         | 22          | 48                |
| Eigenverbrauch Speicher<br>+Wechselrichterverluste [kWh]   | 1.403        | 1.024       | 647         | 436         | 274               |
| Wirkungsgrad [%]                                           | 61,3         | 52,4        | 33,4        | 4,7         | 14,9              |

<sup>1)</sup> Batterieladung bei gleichzeitigem Netzbezug von den Stadtwerken; bei entleertem Speicher, um diesen betriebsfähig zu halten.

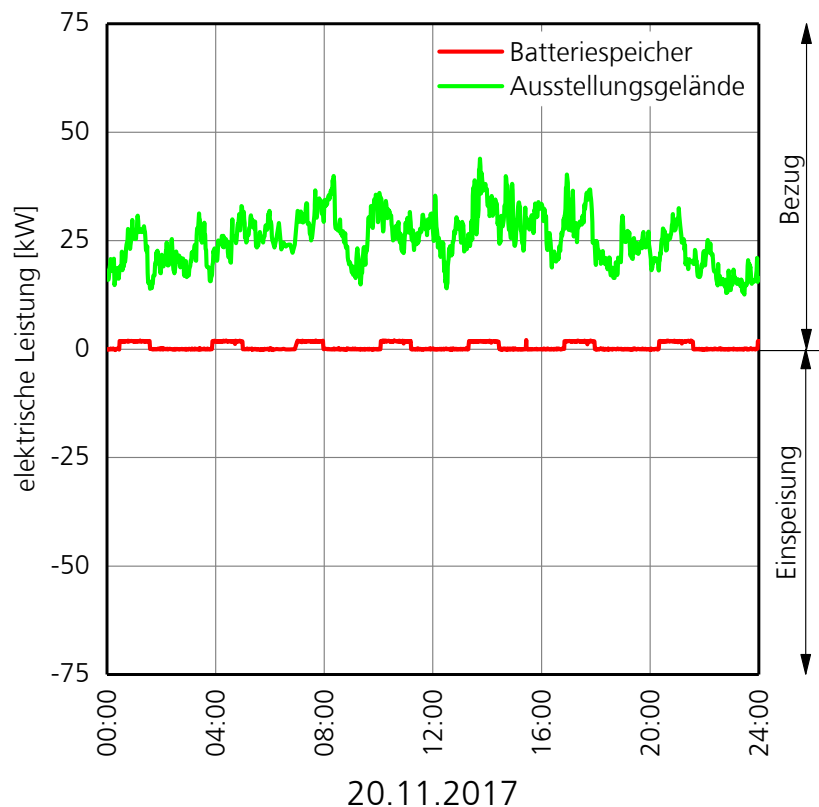


Bild 57:  
„Erhaltungsladung“ des entleerten Batteriespeichers an einem trüben Novembertag (FertighausWelt Wuppertal).

Der Speicher wird während der Tagesstunden, wenn es aufgrund der PV-Erträge zu einer Einspeisung ins Netz der Stadtwerke kommen würde, mit Solarstrom beladen. Die maximale Ladeleistung beträgt dabei 30 kW. Damit ist der Speicher bei 100 Prozent Ladeleistung nach rund 3,5 h vollständig geladen. Aktuell ist die Regelung so eingestellt, dass der Ladesollwert dem aktuellen Einspeise-/Bezugswert des Ausstellungsgeländes ins/vom Netz der Stadtwerke einzu/eins folgt (Leistung Netz Stadtwerke = Ladeleistung Batteriespeicher). Dadurch wird, solange der PV-Überschuss im Ausstellungsgelände kleiner 60 kW ist, der Batteriespeicher nicht mit der maximal möglichen Ladeleistung von 30 kW beladen. Bild 58 zeigt die Be-/Entladeleistung des Batteriespeichers (rote Linie) und die Einspeisung bzw. den Bezug von den Stadtwerken (grüne Linie). Zwischen 8:00 Uhr und 9:00 Uhr wird mit einer Ladeleistung kleiner der maximalen Ladeleistung (30 kW) beladen, während zeitgleich mit der identischen Leistung ins Netz der Stadtwerke eingespeist wird. Es wird also Ladeleistung „verschenkt“. Analog zur Einspeicherung, wird durch die aktuelle Laderegulierung auch nicht mit der maximal möglichen Leistung entladen (vgl. Bild 58 zwischen 16:00 Uhr und 24:00 Uhr; Entladung Batteriespeicher= Netzbezug Ausstellungsgelände). Dadurch ist der Batteriespeicher am Morgen ggf. noch nicht vollständig entladen, wodurch eventuell benötigte Speicherkapazitätsreserven für die Stunden mit hoher solarer Einstrahlung fehlen. Dies ist vor allem in den Sommermonaten entscheidend, in denen der nächtliche Stromverbrauch des Ausstellungsgeländes vergleichsweise gering ist (ca. 10 kW). Der Speicher würde mit der aktuellen Regelung dabei lediglich mit ca. 5 kW entladen.



Generell ist festzustellen, dass die aktuelle Speicherreglung deutlich zu Schwingungen neigt, welche im ungünstigsten Fall in ihrer Amplitude den maximalen Leistungsbereich des Speichers umfassen können. Die Periodendauer beträgt dabei rund 50 s.

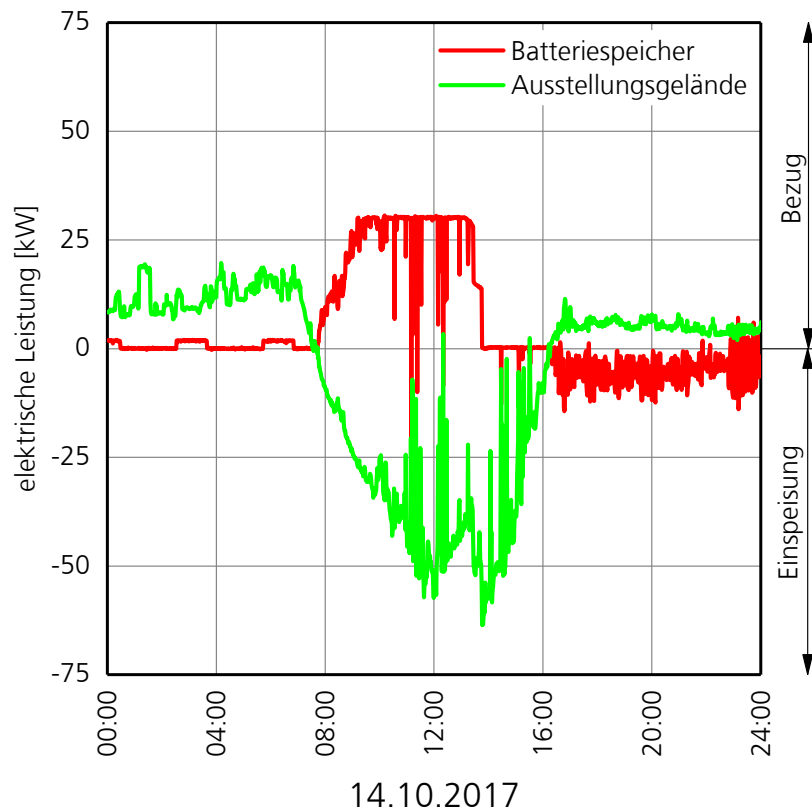


Bild 58:

Lastverlauf des Ausstellungsgeländes und des Batteriespeichers an einem sonnigen Beispieltag (FertighausWelt Wuppertal).

Für eine vereinfachte Abschätzung des Einflusses des Batteriespeichers auf den Eigenverbrauch und den Autarkiegrad des Ausstellungsgeländes, werden die bisherigen Messwerte vom 1. September 2017 bis zum 18. Januar 2018 herangezogen. Aus den gemessenen Daten des Ausstellungsgeländes wird dabei rechnerisch auf eine Variante ohne Verluste der Batterie (d.h. ohne Wechselrichter und Eigenverbrauch) und eine Variante ohne Speicher geschlossen. Diese werden den Einzelgebäuden (ohne Empfang) gegenübergestellt. Durch das Quartiersnetz „Ausstellungsgelände“, inklusive des Dauerverbrauchers Empfangsgebäude, steigt der Eigenverbrauch im Auswertezeitraum um 2.411 kWh (+8,3 Prozent) auf 12.757 kWh. Durch den Batteriespeicher werden nochmals zusätzlich 3.751 kWh (+13,0 Prozent) PV-Strom auf dem Ausstellungsgelände direkt genutzt, so dass der Eigenverbrauch auf 16.508 kWh steigt. Die Verluste (Eigenverbrauch und Wechselrichter) des Speichers werden dabei herausgerechnet, da sie zwar durch den PV-Strom gedeckt werden (Ausnahme: Erhaltungsladungen), aber im eigentlichen Sinne keine zusätzliche Deckung der Hausverbräuche durch PV-Strom darstellen. In Tabelle 31 sind die zugehörigen Energiemengen nochmals dargestellt. Anhand der Tabelle ist zu erkennen, dass Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad bei den Einzelhäusern ohne Empfang bei 35,8 Prozent und 16,5 Prozent liegt. Unter der Annahme, dass Batterie und Wechselrichter beim Ausstellungsgelände keinerlei Verluste haben, steigen Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad auf 57,1 Prozent und 21,3 Prozent. Die noch höheren Eigenverbrauchsanteile und Autarkiegrade von 65,6 Prozent und

23,3 Prozent, die sich bei der Messung ergaben, kamen nur durch die hohen Speicher- und Wechselrichterverluste zustande. Durch noch höhere Speicher- verluste bekäme man noch höhere Eigenverbrauchsanteile und Autarkiegrade. Das Ausstellungsgelände ohne Speicherverluste stellt jedoch auch einen theoretischer Wert dar, da Speicher und Wechselrichter immer Verluste aufweisen. Im vorliegende Fall liegt der Speicher- und Wechselrichterverlust bei 50 Prozent  $(100 - (7.535 - 3.751) / 7.535 = 50 \text{ Prozent})$ .

Tabelle 32:

Tabellarische Zusammenfassung der Stromverläufe auf dem Ausstellungsgelände Wuppertal.(Zeitraum 1. September 2017 und 18. Januar 2018).

|                                                               | <b>Einzelhäuser<br/>ohne Empfang</b> | <b>Ausstellungsgelände</b> |                               |                      |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
|                                                               |                                      | gemessen                   | Ohne Verluste<br>der Batterie | Ohne Speicher        |
| Stromerzeugung<br>[kWh]                                       |                                      | 28.925                     |                               |                      |
| Stromverbrauch<br>[kWh]                                       | 62.738                               | 81.288                     | 77.444 <sup>1)</sup>          | 77.444 <sup>1)</sup> |
| Strombezug<br>[kWh]                                           | 52.392                               | 63.585                     |                               |                      |
| Stromeinspeisung<br>[kWh]                                     | 18.579                               | 9.959                      |                               |                      |
| Batterieladung [kWh]                                          |                                      | 7.535                      | 3.751                         | 0                    |
| <i>davon Erhaltungsladung</i>                                 |                                      | 1.326 <sup>2)</sup>        | 0                             | 0                    |
| Batterieentladung [kWh]                                       |                                      | 3.751                      | 3.751                         | 0                    |
| Eigenverbrauch<br>[kWh]                                       | 10.346                               | 18.966                     | 16.508                        | 12.757               |
| Eigenverbrauch innerhalb<br>der Ausstellungsgeländes<br>[kWh] |                                      | 8.620                      | 6.162                         | 2.411                |
| <i>davon durch Verbund<br/>[kWh]</i>                          |                                      | 2.411                      |                               |                      |
| <i>davon durch Batterie<br/>[kWh]</i>                         |                                      | 6.209 <sup>3)</sup>        | 3.751                         | 0                    |
| Eigenverbrauchsanteil<br>[%]                                  | 35,8                                 | 65,6                       | 57,1                          | 44,1                 |
| Autarkiegrad<br>[%]                                           | 16,5                                 | 23,3                       | 21,3                          | 16,5                 |

<sup>1)</sup> Stromverbrauch Einzelhäuser + Empfang, d.h. ohne Batterieverluste

<sup>2)</sup> Batterieladung bei gleichzeitigem Netzbezug von den Stadtwerken; bei entleertem Speicher um diesen betriebsfähig zu halten

<sup>3)</sup> Batterieladung ohne Erhaltungsladung

### **Einbindung in die Marketingstrategie der Fertigbaubranche**

Energieeffizienz ist einer der wichtigsten Gründe, aus denen sich Bauherren für ein Fertighaus entscheiden. Im Segment der Ein- und Zweifamilienhäuser, also typischerweise der privat genutzten Eigenheime, wurden 2016 in Deutschland insgesamt 106.979 Baugenehmigungen erteilt, davon 19.051 in Holzfertigbauweise. Der Fertigbauanteil lag im Jahr 2016 bei 17,8 Prozent. Von Januar bis Oktober 2017 entfielen von insgesamt 85.636 Baugenehmigungen für Ein- und Zweifamilienhäuser 16.863 Baugenehmigungen auf Häuser in Holzfertigbauweise. Das entspricht einem aktuellen Marktanteil von 19,7 Prozent.

Diese positive Entwicklung wurde insbesondere durch eine dynamische Absatzsteigerung hoch energieeffizienter Fertighäuser getrieben, wie die Verteilung der Auftragseingänge der BDF Mitgliedsunternehmen auf die förderfähigen Energieeffizienzklassen der KfW belegt. Diese stellten sich für das Jahr 2017 wie folgt dar:

Anteil KfW Effizienzhaus 55: 55 Prozent  
Anteil KfW Effizienzhaus 40: 16 Prozent  
Anteil KfW Effizienzhaus 40 Plus: 15 Prozent  
Anteil Häuser mit integrierter PV-Anlage: 19 Prozent  
Anteil Häuser mit integrierter Batterie: 10 Prozent  
Anteil Häuser mit integrierter Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge: 2 Prozent

Der BDF stellt energieeffizientes Bauen im Allgemeinen sowie das Effizienzhaus Plus als den gegenwärtig anspruchsvollsten Gebäudestandard in den Mittelpunkt seiner Öffentlichkeitsarbeit und Marketingkommunikation. Über das Living Lab Wuppertal, als Beispiel für die Innovationskraft der Fertigbauindustrie, wird fortlaufend in allen Kommunikationskanälen des BDF informiert.

### **Ausstellungsbetrieb**

Die FertighausWelt Wuppertal mit dem Living Lab ist für die Außendarstellung der deutschen Fertigbauindustrie von herausragender Bedeutung. Seit Beginn des Forschungsprojektes 2016 bis Ende 2017 haben 90.221 Bauinteressierte die FertighausWelt Wuppertal besucht (Bild 59). Jeder Besucher erhält einen Ausstellungskatalog, in dem die Zielsetzung des Living Lab auf einer Doppelseite endkundengerecht beschrieben wird. Zudem wird durch eine Bildschirmpräsentation im Empfangsgebäude auf das Projekt hingewiesen (Bild 60).

Auf Wunsch finden Führungen und Vorträge für Besuchergruppen in der FertighausWelt Wuppertal statt. Diese Führungen werden durch das Centermanagement oder Mitarbeiter der Geschäftsstelle des BDF begleitet. Bei den bisher auf diese Weise erreichten Besucherzielgruppen handelte es sich um

- Planer und Entscheidungsträger aus der Kommunalverwaltung
- Fachleute aus Energieversorgungsunternehmen
- ausländische Delegationen von Architekten und Baufachleuten
- Umweltschutzorganisationen
- Lehrende und Studierende aus Hochschulen



Bild 59:  
FertighausWelt Wuppertal.

## Nachhaltiges Quartier im

Jedes einzelne Haus der FertighausWelt Wuppertal ist ein Referenzgebäude auf dem neuesten Stand der Technik. Private Bauinteressierte können diese Häuser so oder in zahlreichen Varianten mit den führenden deutschen Fertig-Haus-Herstellern bauen. Darüber hinaus ist Europas modernste Hausausstellung auch ein Modellprojekt der Fertigbaubranche für die zukünftige Entwicklung nachhaltiger und energieeffizienter Quartiere.

In Wuppertal gibt der Fertigbau die Antwort auf eine Schlüsselfrage der Energiewende: Das Konzept demonstriert, wie umweltfreundlich erzeugte Energie innerhalb einer Siedlung gemeinsam genutzt werden kann. Alle Häuser sind Plus-Energie-Häuser, die mehr Strom und Wärme aus erneuerbaren Energiequellen erzeugen, als sie verbrauchen. Erstmals werden darüber hinaus Musterhäuser in einem intelligenten Netz miteinander verbunden.

## intelligenten Stromnetz

Unter dem Strich weist die gesamte Ausstellung eine ausgeglichene Energiebilanz auf.

Kern des Technikkonzeptes ist ein zentraler Energiespeicher auf dem Ausstellungsgelände. Dorthin fließt der Strom, den die Photovoltaikanlagen auf den Hausdächern tagsüber erzeugen und der nicht unmittelbar in den Betrieb der Häuser fließt. Wie eine riesige Batterie stellt der Speicher den Strom immer dann zur Verfügung, wenn er gebraucht wird. Sensoren in allen Häusern messen ständig die Energieströme und regeln die Verteilung.

Die Messdaten der FertighausWelt sollen neue Aufschlüsse darüber geben, wie die umweltfreundlichen Wohnquartiere der Zukunft auch wirtschaftlich optimal betrieben werden können. Mit seinem Referenzquartier in Wuppertal richtet sich der BDF damit auch an Kommunen und Entwickler energieeffizienter und nachhaltiger Siedlungsprojekte.



Bild 60:  
Informationsstehe im Eingangsbereich der FertighausWelt Wuppertal.

### Pressearbeit

Die Pressearbeit des BDF erreichte 2016 eine kumulierte Druckauflage in Printmedien von 132 Mio. Exemplaren, von Januar – Oktober 2017 bereits mehr als 120 Mio. Exemplare. Ein Großteil dieser Veröffentlichungen hat energieeffizientes Bauen und Wohnen zum Thema. Die Presseberichterstattung geht häufig direkt auf regelmäßige Mitteilungen der Pressestelle des BDF sowie auf Interviews mit der Geschäftsführung des BDF zurück (Bild 61).



Bild 61:

Interview mit dem Geschäftsführer des Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V.

## Internetpräsenz

Der BDF betreibt eine verbandseigene Hausbauplattform „FertighausWelt.de“, die 2017 insgesamt 412.540 Internetnutzer erreicht hat.

Innerhalb dieser Plattform zeigt die Landing Page der FertighausWelt Wuppertal eine interaktive Visualisierung des Living Lab (Bild 62). Der Nutzer kann damit eine Bilanz der Erzeugung und des Verbrauchs von Energie durch das Gebäudenetzwerk im Jahresverlauf nachvollziehen. Zugleich wird die durch Eigenverbrauch regenerativer Energie eingesparte Menge an CO<sub>2</sub> dargestellt.

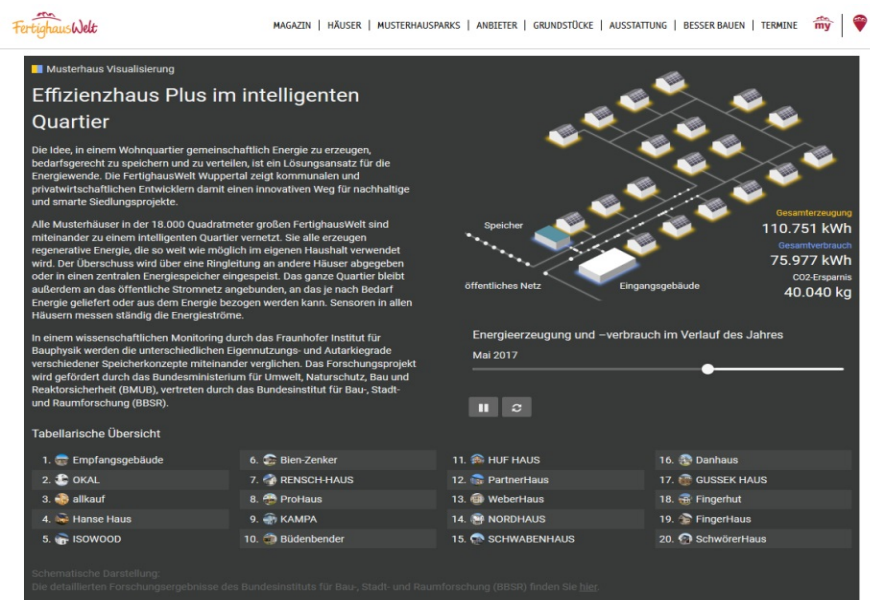


Bild 62:

Interaktive Visualisierung des Living Lab.



## Social Media

Der BDF betreibt im Rahmen seiner Öffentlichkeitsarbeit eigene Kanäle in folgenden Sozialen Netzwerken:

Facebook.com/fertighauswelt  
Youtube.com/fertighauswelt  
Pinterest.com/fertighauswelt  
Flickr.com/fertighauswelt  
Twitter.com/fertighaus

Hervorzuheben sind die Facebook-Seite des Verbandes mit 1.668 Abonnenten, der Twitter-Kanal mit 1.703 Followern. Jüngste Aktivität war eine Videoproduktion der EnergieAgentur NRW, die das Potenzial des Effizienzhauses Plus am Beispiel der FertighausWelt Wuppertal erklärt (Bild 63):

<https://www.youtube.com/watch?v=meldnnkmb4>

VIDEO VOM 18.12.2017

### **Effizienzhaus Plus – eine positive Bilanz, auch für den Geldbeutel**



*Wenn in einem Haus mehr Energie erzeugt wird als es verbraucht, dann wird aus einem Effizienzhaus ein Effizienzhaus Plus. Aber wie lässt sich ein so hoher energetischer Standard erreichen? Dirk Möbers, Experte der EnergieAgentur.NRW, erklärt bei einem Besuch der „FertighausWelt Wuppertal“, wie das Plus durch die perfekte Kombination von Gebäudehülle, moderner Haustechnik und der Nutzung regenerativer Energien erreicht wird. Ein weiteres Plus: die höheren Anschaffungskosten rechnen sich durch minimierte Energiekosten und verschiedene Förderprogramme.*

Bild 63:

Videoproduktion der EnergieAgentur NRW, zur Darstellung der Potenziale des Effizienzhauses Plus am Beispiel der FertighausWelt Wuppertal.

Eine vollständige Liste der Veröffentlichungen, Broschüren, Vorträgen, etc. befindet sich in Anlage A.2.

## 10 Zusammenfassung und Ausblick

Für die rechnerische Betrachtung verschiedener Energieversorgungskonzepte am Beispiel des Living Lab Wuppertal werden zuerst aus den Energiebedarfs-werten nach DIN V 18599 stündliche Bedarfswerte für die einzelnen Verbrau-cher gebildet. Dies geschieht mithilfe von verbraucherscharfen Stromlastprofi-len, welche auf dem Intensivmonitoring von 8 Effizienzhaus Plus-Einfamilien-häusern mit Wohnnutzung basieren. Anhand der stündlichen Bedarfswerte und den stündlichen Energieerzeugungssimulationen werden die Eigenverbrauchs-anteile und Einspeisungen (EVU-Netz bzw. Quartiersnetz mit/ohne Quartiers-batterie) berechnet.

Die durchgeführten Betrachtungen zeigen, dass sich nur wenige Konzepte wirt-schaftlich rechnen, obwohl ein energetischer Nutzen z.B. durch eine Erhöhung des Eigenverbrauchs von PV-Strom gegeben ist. Im Rahmen der Untersuchun-gen zeigt sich, dass weder dezentrale Lösungen mit Hausbatteriespeichern sich zum betrachteten Zeitraum (2015) ohne Förderung bei Plusenergiegebäuden wirtschaftlich darstellen lassen, noch stärker zentralisierte Lösungen mit Wär-menetz sich wirtschaftlich rechnen.

Damit Quartierslösungen mit einem Quartiersstromnetz (vgl. Kapitel 6.1.3. V2) beziehungsweise mit Quartiersstromnetz und Quartiersbatterie (V3 und V4, Kapitel 6.1.4 und 6.1.5.) aus Anwendersicht finanziell attraktiv werden und die Energiewende voranbringen können, sollten in Zukunft zwei Voraussetzungen erfüllt werden:

1. Der reine Zusammenschluss von Plusenergiegebäuden über ein Quar-tiersstromnetz, unabhängig ob mit oder ohne Quartiersbatterie, lässt sich wirtschaftlich nicht darstellen. Es sind daher weitere Verbraucher-gebäude mit abweichendem Lastprofil in das Quartiersnetz zu integrie-ren.
2. Durch den Zusammenschluss mehrerer PV-Anlagen auf Einfamilien-hausdächern über ein Quartiersstromnetz werden diese Anlagen vom EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) als eine große, zusammenhängende Anlage behandelt, wodurch sich die Einspeise- und Eigenverbrauchs-konditionen verschlechtern. Hier sollte das EEG angepasst werden.

Die Vorteile des Quartiersspeichers (geringere Wartungskosten, effizientere Auslegung, einfachere Nachrüstung) werden durch die zusätzlichen Maßnah-men für das Quartiersstromnetz aufgehoben. Erschwerend kann beobachtet werden, dass in den letzten Jahren die Investitionskosten pro kWh Nutzkapazi-tät für Hausbatterien schneller abfallen als für Großbatterien und sich damit zu-sätzlich eine Verschiebung der Wirtschaftlichkeit hin zu dezentralen Batterie-speichern ergibt.



Neben der rechnerischen Betrachtung unterschiedlicher Energieversorgungskonzepte werden auch ein messtechnisches Monitoring am Living Lab (FertighausWelt Wuppertal) durchgeführt. Auf dem Ausstellungsgelände befinden sich 19 Effizienzhaus Plus –Gebäude sowie ein Empfangsgebäude (ohne eigene Stromerzeugung) und ein quartierszentraler Stromspeicher. Bei einer ersten Bestandsaufnahme des Ausstellungsgeländes der FertighausWelt Wuppertal zeigt sich, dass die zur Errichtung der Gebäude ursprünglich geforderten messtechnischen Ausstattungen überwiegend nicht vollständig umgesetzt wurden. Die Nachrüstung der noch fehlenden Messtechnik gestaltete sich dabei komplexer als erwartet. Der Aufbau des Basismonitorings, welches alle notwendigen Stromzähler für die Gebäude- und Siedlungsbilanzen enthält, konnte erst im August 2016 für alle Gebäude abgeschlossen werden.

Zur Bewertung der Gebäudeenergiebilanzen werden drei Messperioden (Messzeitraum jeweils ein Jahr) ausgewertet. Beim Vergleich zwischen den prognostizierten/berechneten Plusenergiebilanzen und den real gemessenen Werten gibt es teils deutliche Mehrverbräuche. Diese liegen schwerpunktmäßig im Bereich des Haushaltsstromes (Beleuchtung, elektrische Geräte und Einbauten) aber vereinzelt auch bei den Wärmepumpen. In Messperiode 1 erreichen von den 19 Ausstellungsgebäuden nur 8 Gebäude eine Plusenergiebilanz. Durch die Sensibilisierung der Haushersteller bzw. der Nutzer (Vertreter) im Rahmen des Energiemonitorings konnten die Plusenergiebilanzen der Gebäude im weiteren Verlauf der Untersuchungen verbessert werden. In Messperiode 3 erreichen bereits 14 Ausstellungsgebäude eine Plusenergiebilanz, zwei weitere verfehlen sie nur knapp. Die verbleibenden drei Gebäude weisen einen positiven Trend auf.

Sowohl der Eigenverbrauch an PV-Strom (Wertebereich 14 Prozent bis 45 Prozent) als auch der Autarkiegrad (Wertebereich 19 Prozent bis 38 Prozent) der Einzelhäuser liegen im Mittel des Gesamtmeszeitraums bei knapp 30 Prozent. Der Eigenverbrauch nimmt über den Messzeitraum, aufgrund der Energieeinsparmaßnahmen und teilweise zusätzlich installierter PV-Flächen, geringfügig ab.

Im September 2017 konnte, nach anfänglichen Schwierigkeiten (Zur Behebung der Tiefentladung des Speichers war Spezialwerkzeug erforderlich, welches erst nach einer längeren Wartezeit verfügbar war), die zentrale Vanadium-Redox Flow Batterie (effektive Ladekapazität 104 kWh) in Betrieb genommen werden. Im Zeitraum zwischen September 2017 und Anfang Januar 2018 wurde der Batteriespeicher mit rund 7.500 kWh beladen und mit rund 3.750 kWh wieder entladen. Die verbleibenden 3.750 kWh entfallen auf die Deckung des Eigenverbrauchs des Batteriespeichers und der Wechselrichterverluste. Bei „geleertem“ Speicher wird dieser in wiederkehrenden Ladeintervallen ca. 65-75 Minuten mit einer Leistung von 1,8 kW aus dem Netz beladen (max. rund 15 kWh/d). Anfang Januar 2018 kam es zu einer weiteren technischen Störung im Bereich des Speichers, welche trotz Hinzuziehung eines Ingenieurbüros für Elektroplanung bis zur Fertigstellung dieses Berichtes nicht behoben werden konnte. Aufgrund der damit sehr eingeschränkten Datengrundlage (Messdaten nur von September 2017 bis Jan 2018) ist eine aussagekräftige Bewertung des zentralen Batteriespeichers nicht möglich.

Das Living Lab (FertighausWelt Wuppertal) wird im Anschluss an das abgeschlossenen Forschungsprojekt durch den BDH (Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V.) zur Analyse und Betriebsoptimierung der auf dem Ausstellungs Gelände verbauten Wärmepumpensystem weiter genutzt. Untersuchungsgegenstand wird hierbei schwerpunktmäßig die Effizienz der einzelnen Wärmepumpen-Anlagen sein.

Das Forschungsprojekt hat gezeigt, dass die Vernetzung von Gebäuden zu zusammengefassten Quartiersverbünden einen messbaren Beitrag zur Entlastung der Stromversorgungsnetze leisten kann. Im Quartier erzeugter Strom kann so zunächst „intern“ genutzt werden, wodurch sich sowohl der Bezug aus dem öffentlichen Netz als auch die Einspeisung in das öffentliche Netz reduzieren. Die Gebäude werden hierbei zunehmend nicht nur zu Energieverbrauchern und –erzeugern, sondern sind aktive Teilnehmer an einem intelligenten Netzmanagement. Hierzu gilt es zukünftig verstärkt netzdienliche Regelungskonzepte für Gebäude und deren Speichersysteme (thermisch und elektrisch) zu entwickeln und am Markt umzusetzen.

## Literaturverzeichnis

- [1] Hoier, A.; Erhorn, H.; Fraunhofer-Institut für Bauphysik: Energetische Gebäudesanierung in Deutschland. Entwicklung und energetische Bewertung alternativer Sanierungsfahrpläne. Bericht WB 170/2013
- [2] Betriebshandbuch CellCube FB 10/20/30, Gildemeister Energy Solutions, Cellstrom GmbH 2013.
- [3] Kairies, K.; et al., ; Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe der RWTH Aachen: Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher
- [4] Bergmann, Antje; Erhorn, Hans; Energieeffizienz elektrisch angetriebener Wärmepumpen, Praxisergebnisse aus dem Monitoring. IBP-Mitteilung 549
- [5] DIN V 18599-6:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung –, Teil 6: Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühltürmen für den Wohnungsbau.
- [6] IBP-Bericht WB 175/2015; Energieeffizienter Neubau von Wohngebäuden-Begleitforschung und Querauswertung von Modellvorhaben (Phase 2).
- [7] Adam, T; Fünfgeld, C; Meier, H; et al.; VDEW: Repräsentative VDEW-Lastprofile.
- [8] Fünfgeld, C.; Fiebig, C.; VDEW: Bestimmung von Lastprofilen für unterbrechbare Verbrauchseinrichtungen – Abschlussbericht (LPuVe)
- [9] Hartmann, T.; Mühlhaus, T.; Neumann, H.; et al.; VDEW: Lastprofile für unterbrechbare Verbrauchseinrichtungen – Praxisleitfaden (LPuVe)
- [10] Jadek, C.: Eigendeckung des Strombedarfs von Nichtwohngebäuden durch Photovoltaik – Eine Weiterentwicklung des DIN-Verfahrens durch standardisierte temperaturabhängige Lastprofile. In: Bauphysik (2016), Heft 38, Heft 3.
- [11] Stadtwerke Lauterbach: Wärmepumpen-Lastprofil der Stadtwerke Lauterbach. URL <http://www.stadtwerke-lauterbach.de/netze/strom/lieferanten/lastprofile/>. Stand 29.11.2016
- [12] Bundesnetzagentur: EEG-Fördersätze für PV-Anlagen. URL [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Photovoltaik/DatenMeldgn\\_EEG-VergSaetze/DatenMeldgn\\_EEG-VergSaetze\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Photovoltaik/DatenMeldgn_EEG-VergSaetze/DatenMeldgn_EEG-VergSaetze_node.html). Stand 22.05.2017
- [13] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: BDEW-Strompreisanalyse Mai 2016. URL [https://www.bdew.de/internet.nsf/res/886756c1635c3399c1257fc500326489/%24file/160524\\_bdew\\_strompreisanalyse\\_mai2016.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/res/886756c1635c3399c1257fc500326489/%24file/160524_bdew_strompreisanalyse_mai2016.pdf). Stand 22.05.2017

- [14] Weniger, J.; Tjaden, T.; Quaschnig, V., "Vergleich verschiedener Kennzahlen zur Bewertung der energetischen Performance von PV-Batteriesystemen," in 32. *Symposium Photovoltaische Solarenergie*, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 8.-10.3.2017.
- [15] Schrade Velux: QualiCheck-Webinar - Ventilative cooling potential and compliance — Status and perspectives in Spain and Germany. URL <http://qualicheck-platform.eu/2016/12/webinar-ventilative-cooling-potential-and-compliance-status-and-perspectives-in-spain-and-germany/>. Stand
- [16] Leitfaden Nahwärme, Fraunhofer UMSICHT.
- [17] Isoplus : Planungshandbuch Kapitel 2. URL <http://www.isoplus.de/de/download/planungshandbuch/>. Stand 7.06.2017
- [18] Schuberth, J.; Tschetschorke, K.; Umweltbundesamt: Strom- und Wärmeversorgung einer Siedlung bei unterschiedlichen Energieeffizienz-Standards
- [19] Valentin Software GmbH. (2017) PV\*SOL premium 2017; PVSOL Hilfe, Berechnungsgrundlagen Batteriesystem.
- [20] 1989-September: VDI 2067 Blatt 6 Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen; Wärmepumpen.
- [21] 2012-Förderrichtlinie Effizienzhaus Plus Wohngebäude.

### A.1 Methoden für die rechnerische Bewertung verschiedener Versorgungskonzepte

#### 11 Methoden

Im Folgenden wird dargestellt, welche Methoden, Randbedingungen, Daten und Parameter angesetzt wurden, um die unterschiedlichen Versorgungskonzepte, dargestellt in Kapitel 6, berechnen und bewerten zu können.

##### 11.1 Bedarfsmodellierung der Musterhäuser im Living Lab

Für die Bewertung von unterschiedlichen Versorgungskonzepten muss der Energiebedarf der zu versorgenden Siedlung bekannt sein. Die 19 in Wuppertal erstellten Einfamilienhäuser sind Musterhäuser der dort ausstellenden Fertighaus-Unternehmen. Dementsprechend ist deren Nutzungsprofil abweichend von zu Wohnzwecken genutzten Einfamilienhäusern.

Da die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes aber übertragbar sein sollen auf Wohnsiedlungen, können keine Messwerte der Musterhäuser zur Bedarfsmodellierung herangezogen werden. Zwar hat sich durch das Monitoring mehrerer Musterhäuser in Köln im Rahmen der Effizienzhaus Plus-Initiative gezeigt, dass der Energieverbrauch über das Jahr betrachtet dem eines normalen Einfamilienhauses mit Wohnungsnutzung entspricht, aber die Zeiten der Nutzung sowie der Anteil am Gesamtverbrauch unterschiedlicher Verbraucher sich deutlich unterscheiden.

Um den Energiebedarf der 19 unterschiedlichen Musterhäuser für die Wohnungsnutzung beruhend auf anerkannten Berechnungsgrundlagen ermitteln zu können, wurde auf die von den Fertighaus-Unternehmen zur Verfügung gestellten DIN V 18599-Berechnungen zurückgegriffen. Die detaillierten Berechnungen beinhalten die spezifischen baulichen und anlagentechnischen Randbedingungen der Gebäude und ein für die Wohnungsnutzung typisches Nutzungsprofil. Die Berechnung gibt den Energiebedarf für Heizung, Trinkwarmwasser (TWW), Lüftung, Hilfsenergie und Kühlung an. In Tabelle 32 sind die anhand DIN V 18599 berechneten Endenergiebedarfe der 19 Musterhäuser aufgeführt. Da alle Gebäude über eine strombasierte Wärmebereitstellung verfügen, ist der einzige Energieträger der Gebäude Strom. Der angesetzte Nutzerstrom, welcher für alle Gebäude gemäß der Effizienzhaus Plus-Initiative einheitlich mit 2500 kWh/a angesetzt wurde, setzt sich gemäß Tabelle 33 zusammen.

Möglich wäre für die Ermittlung des Energiebedarfs der Gebäude auch eine Modellierung der Siedlung mithilfe des im Rahmen von EnEff:Stadt entwickelten „Energiekonzeptberater für Stadtquartiere (District Energy Concept Adviser)“ gewesen, welcher auf Basis von Typgebäuden (Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude, Schulen, Läden, etc.) den Energiebedarf auf Basis der DIN V 18599 berechnet. Aufgrund der vorhandenen, für die 19 Musterhäuser spezifischen, DIN V 18599-Berechnungen wurde dies allerdings nicht durchgeführt.

Tabelle 33:

Ergebnisse der DIN V 18599-Berechnungen für die 19 Wuppertaler Musterhäuser. Bei dem dargestellten Energiebedarf handelt es sich um Endenergie bzw. Strom, da dieser für alle Gebäude der einzige Energieträger ist.

|              | Heizung<br>[kWh/a] | TWW<br>[kWh/a] | Lüftung<br>[kWh/a] | Hilfsenergie<br>[kWh/a] | Kühlung<br>[kWh/a] | Nutzerstrom<br>[kWh/a] |
|--------------|--------------------|----------------|--------------------|-------------------------|--------------------|------------------------|
| Schwörerhaus | 2021               | 1286           | 569                | 99                      |                    | 2500                   |
| FingerHaus   | 1128               | 1270           | 404                | 277                     |                    | 2500                   |
| FingerHut    | 1007               | 1003           | 370                | 85                      |                    | 2500                   |
| WeberHaus    | 2450               | 2100           | 1053               | 348                     |                    | 2500                   |
| PartnerHaus  | 868                | 822            | 291                | 147                     |                    | 2500                   |
| HUFHAUS      | 2634               | 1472           | 40                 | 192                     | 192                | 2500                   |
| Büdenbender  | 1658               | 803            | 567                | 200                     |                    | 2500                   |
| Kampa        | 1013               | 1468           | 2460               | 279                     |                    | 2500                   |
| ProHaus      | 1961               | 446            | 495                | 269                     |                    | 2500                   |
| Rensch Haus  | 1699               | 1314           | 389                | 100                     |                    | 2500                   |
| Bien Zenker  | 3606               | 1281           | 783                | 16                      |                    | 2500                   |
| Holz & Raum  | 1665               | 1104           | 400                | 71                      |                    | 2500                   |
| HanseHaus    | 1656               | 2517           | 603                | 814                     | 887                | 2500                   |
| allkauf      | 2808               | 1150           | 626                | 240                     |                    | 2500                   |
| Okal         | 2562               | 1128           | 586                | 423                     |                    | 2500                   |
| Nordhaus     | 1692               | 812            | 563                | 400                     |                    | 2500                   |
| Schwabenhaus | 1209               | 1460           | 271                | 384                     |                    | 2500                   |
| Gussek       | 2529               | 1116           | 617                | 192                     |                    | 2500                   |
| Danhaus      | 1827               | 1905           | 2064               | 305                     | 1336               | 2500                   |

Tabelle 34:

Aufteilung des Nutzerstroms nach Verbrauchern gemäß den Vorgaben der Effizienzhaus Plus-Initiative.

| Effizienzhaus Plus Standard | Pauschal<br>[kWh/m <sup>2</sup> <sub>WFla</sub> ] |    | Maximum je Wohneinheit<br>[kWh/a] |
|-----------------------------|---------------------------------------------------|----|-----------------------------------|
| Beleuchtung                 | 3                                                 |    | 375                               |
| Haushaltsgeräte             | 10                                                | 17 | 1.250                             |
| Kochen                      | 3                                                 |    | 375                               |
| Sonstiges                   | 4                                                 |    | 500                               |

Durch die Energiebedarfsberechnungen sind nun die Energiebedarfe der Musterhäuser bekannt. Um die unterschiedlichen Versorgungskonzepte detailliert miteinander vergleichen zu können sind Energiebedarfswerte in mindestens stündlicher Auflösung nötig. Um diese bereitstellen zu können, wurden stündliche Lastprofile auf Basis gemessener Stromverbräuche von 8 durch Familien bewohnte Effizienzhaus Plus-Einfamilienhäusern erstellt (siehe Kapitel 11.2 und 11.3) und diese mit den berechneten Energiebedarfswerten multipliziert.

## 11.2 Stündliche Lastprofile von Effizienzhaus Plus-Einfamilienhäusern (nicht außen-temperaturabhängige Verbraucher)

Um die jährlichen Energiebedarfswerte aus den DIN V 18599-Berechnungen in stündliche Werte zu überführen, wurden stündliche Stromlastprofile auf Basis von gemessenen Stromverbräuchen aus 8 real bewohnten Effizienzhaus Plus Einfamilienhäusern erstellt und diese dann mit den vom Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) bereitgestellten Standardlastprofilen für Haushalte (H0) verglichen, um herauszufinden ob das Lastprofil von Effizienzhäusern dem eines deutschen Standard-Haushaltes entspricht.

Die Stromlastprofile wurden aus den Messwerten für die Verbraucher Wärmepumpe (incl. Heizstab), Lüftung, Hilfsenergie, Beleuchtung und Haushaltsstrom separat erstellt. Die Datenbasis für die unterschiedlichen Verbraucher ist in Tabelle 34 dargestellt. Zu den Effizienzhaus Plus-Einfamilienhäusern, welche verwendet wurden können aufgrund der notwendigen Anonymisierung der Messdaten keine weiteren Angaben gemacht werden.

Tabelle 35:

Datenbasis für die verfügbaren Messdaten der 8 Effizienzhaus Plus Einfamilienhäuser aus denen die verbraucherscharfen Lastprofile abgeleitet werden.

|               | Datenbasis je Verbraucher    |             |         |              |                |
|---------------|------------------------------|-------------|---------|--------------|----------------|
|               | Wärmepumpe<br>incl. Heizstab | Beleuchtung | Lüftung | Hilfsenergie | Haushaltsstrom |
| Haus 1 Fam. 1 | 1                            | 1           | 1       | 1            | 1              |
| Haus 1 Fam. 2 | 1                            | 1           | 1       | 1            | 1              |
| Haus 2        | 1                            | 1           |         |              | 1              |
| Haus 3        | 1                            | 1           | 1       | 1            | 1              |
| Haus 4        |                              |             | 1       | 1            | 1              |
| Haus 5        | 1                            | 1           | 1       | 1            | 1              |
| Haus 6        | 1                            | 1           | 1       | 1            | 1              |
| Haus 7        | 1                            |             |         |              | 1              |
| Haus 8        | 1                            | 1           | 1       | 1            | 1              |
| Summe         | 8                            | 7           | 7       | 7            | 9              |

Dabei ist zu unterscheiden zwischen dem Vorgehen der Lastprofilerstellung, zwischen den Verbrauchern Wärmepumpe als außen-temperaturabhängiges Lastprofil (siehe Kapitel 11.3) und den anderen nicht außen-temperaturabhängigen Verbrauchern (Beleuchtung, Lüftung, Hilfsenergie und Haushaltsstrom), welche in diesem Kapitel detailliert behandelt werden.

Die Erstellung der stündlichen, nicht außen-temperaturabhängigen Lastprofile aus den gemessenen Effizienzhäusern erfolgte in Anlehnung an die vom BDEW bereitgestellten Lastprofile.

Für die Verbraucher wurden jeder einzelnen Stunde des Jahres ein Prozentsatz des Gesamtjahresverbrauches des jeweiligen Verbrauchers zugeordnet (vgl. (1)).

$$P_{h,V} = \frac{Q_{h,V}}{Q_{a,V}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Dabei ist:

$P_{h,V}$  stündliches Lastprofil [%]

$Q_{h,V}$  Stundenwert des Energieverbrauchs des Verbrauchers [kWh]

$Q_{a,V}$  Jahressumme des Energieverbrauchs des Verbrauchers [kWh]

Die Formel (1) wird für jede Stunde des Jahres, für jeden Verbraucher einzeln und für jedes Haus separat angewandt. So erhält man beispielsweise für die Beleuchtung 8 verschiedene Lastprofile mit jeweils 8.760 stündlichen Werten. Analog zu den Standardlastprofilen des BDEW werden diese Werte dann in drei Verbrauchsperioden zusammengefasst (siehe Tabelle 35) und dann wiederum nach den Typtagen Werktag, Samstag und Sonntag unterteilt, wobei Feiertage zu Sonntagen gerechnet werden. So entstehen aus einem Jahreslastprofil 9 separate Lastprofile (Drei Verbrauchsperioden mit je drei Typtagen). Die gebäude-spezifischen Lastprofile werden erstellt, indem ein Mittelwert von  $P_{h,V}$  über jede Stunde der innerhalb der betrachteten Verbrauchsperiode für den entsprechenden Typtag gebildet wird (vgl. Gleichung (2)). Zum Beispiel fallen im Jahr 2013 in Baden-Württemberg 24 Sonn- und Feiertage in die Verbrauchsperiode Winter. Um nun das Lastprofil für den Typtag Sonntag in der Verbrauchsperiode Winter für ein Gebäude zu erstellen, müssen für die einzelnen Stunden des Tages (0-23 Uhr) der 24 Sonn- und Feiertage Mittelwerte gebildet werden. Es müssen also, am Beispiel von 13 Uhr, 24 Werte von  $P_{h,V}$ , welche um 13 Uhr ermittelt wurden, zu einem Mittelwert verrechnet werden.

$$P_{h,V,EffPlus} = \overline{P_{h,V}(P, Typ, h)} \quad (2)$$

Dabei ist:

$P_{h,V,EffPlus}$  Stündliches Lastprofil eines spezifischen Verbrauchers für Effizienzhäuser [%]

$\overline{P_{h,V}(P, Typ, h)}$  Mittelwert des stündlichen, gebäude- und verbraucherspezifischen Lastprofils in Abhängigkeit der Verbrauchsperiode P, des Typtages und der Stunde des Tages [%]



Tabelle 36:  
Definition der Verbrauchsperioden für die Standardlastprofile des BDEW.

| Verbrauchsperiode | Beginn        | Ende          |
|-------------------|---------------|---------------|
| Winter            | 1. November   | 20. März      |
| Übergangszeit     | 21. März      | 14. Mai       |
|                   | 15. September | 31. Oktober   |
| Sommer            | 15. Mai       | 14. September |

Die so für jeden Verbraucher und jedes Gebäude separat ermittelten Lastprofile werden anschließend wieder über Mittelwertbildung zu einem Gesamtlastprofil für den Verbraucher zusammengefasst. In Bild 64 ist beispielhaft für die Beleuchtung der Verlauf der Lastprofile für den Typtag Werktag in der Verbrauchsperiode Winter für die einzelnen Gebäude (graue Linien) dargestellt, sowie der daraus resultierende Mittelwert (grüne Linie).

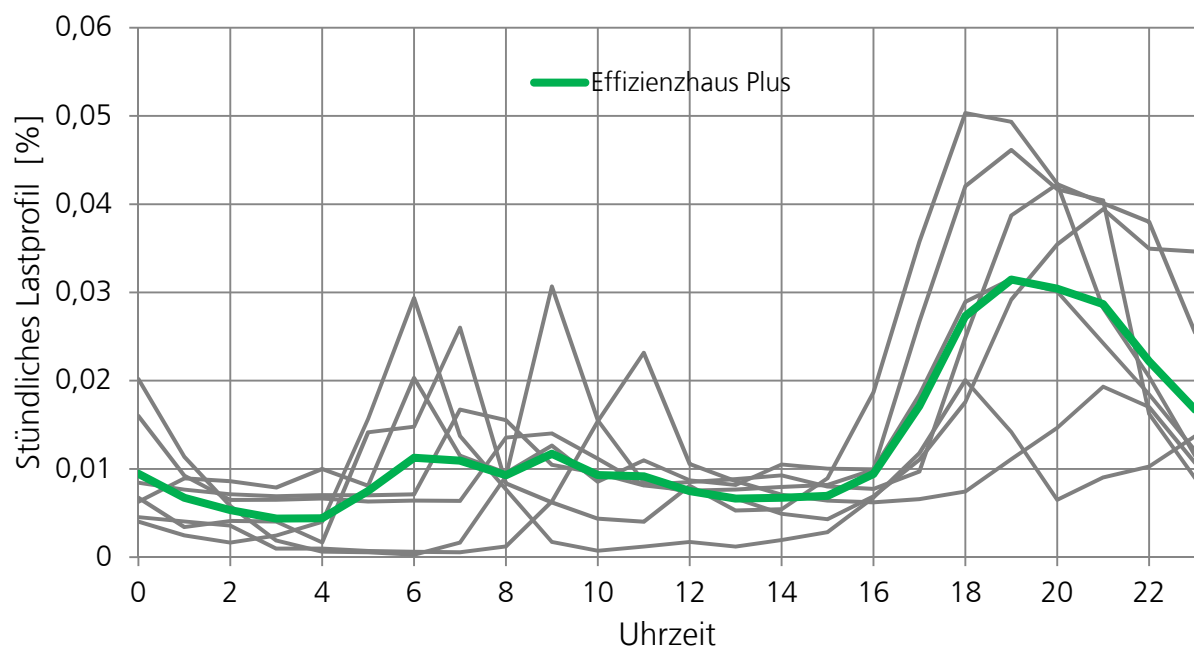


Bild 64

Darstellung der Einzelprofile für die 8 gemessenen real bewohnten Einfamilienhäuser (graue Linien) für den Verbraucher Beleuchtung für den Typtag Werktag in der Verbrauchsperiode Winter. Der resultierende Mittelwert aller Gebäude ist in grün dargestellt.

Zur Veranschaulichung der gemeinsamen, nicht temperaturabhängigen Lastprofile für die Effizienzhaus Plus-Gebäude sind diese für alle ermittelten Verbraucher in der Verbrauchsperiode Winter für den Typtag Werktag in Bild 65 dargestellt. Es zeigt sich dabei, dass die Lastprofile der Verbraucher Lüftung und Hilfsenergie im Tagesverlauf sehr konstant sind, während die Verbraucher Beleuchtung und Haushaltsstrom einem deutlich ausgeprägten Tagesgang folgen.

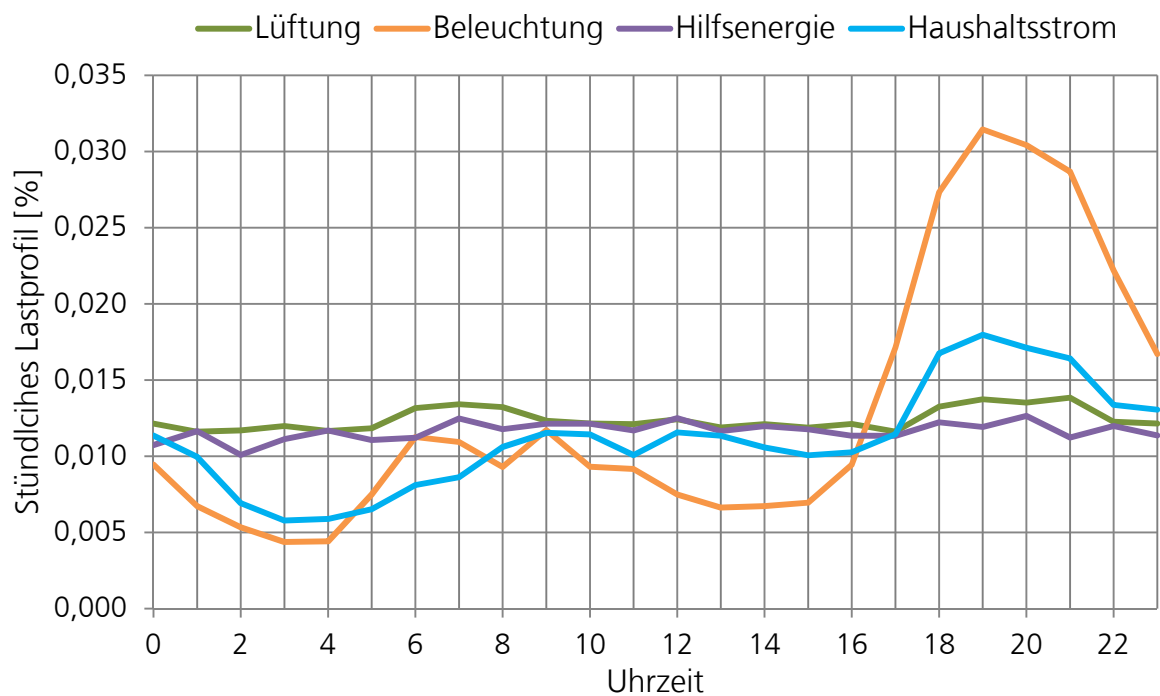


Bild 65:

Darstellung der Effizienzhaus Plus-Lastprofile für die unterschiedlichen, nicht temperaturabhängigen Verbraucher für den Typtag Werktag in der Verbrauchsperiode Winter.

Bevor die Effizienzhaus Plus-Lastprofile für die Modellierung des stündlichen Energiebedarfs der Musterhäuser im Living Lab Wuppertal herangezogen wurden, wurden diese dem Standard-Lastprofile des BDEW für Haushalte (H0) gegenübergestellt. Das BDEW-Lastprofil enthält alle Stromverbraucher eines Haushaltes außer Heizstromanwendungen. Folglich musste aus den Effizienzhaus Plus-Lastprofilen für Beleuchtung, Lüftung, Hilfsenergie und Haushaltsstrom ein Gesamtlastprofil entwickelt werden. Innerhalb dieses Effizienzhaus Plus-Gesamtlastprofils erhält jeder Verbraucher den auf 1000 kWh (analog zum Vorgehen des BDEW [6]) normierten Anteil, der sich aus dem Mittel der gemessenen Effizienzhäuser ergibt (siehe Tabelle 36).

Eine Gegenüberstellung des BDEW Lastprofils H0 und des Effizienzhaus Plus-Lastprofils ist in Bild 66 dargestellt, wobei sich zeigt, dass für den dargestellten Typtag Werktag in der Verbrauchsperiode Winter vor allem eine Differenz zwischen den beiden Lastprofilen während der Nachtstunden besteht. In diesen Stunden ist die normierte Last des Effizienzhaus Plus-Lastprofils um rund 0,25 kW höher. Dies könnte auf den im Vergleich zu durchschnittlichen Haushalten, welche das H0-Lastprofil abbilden soll, am höheren Verbrauch für Hilfsenergie, z.B. durch umgesetzte Gebäudeautomationstechnologien, und den Einbau von Lüftungsanlagen zurückzuführen sein, welche in nur wenigen Haushalten vorhanden sind und somit auf den durchschnittlichen Haushalt im H0-Lastprofil noch nicht durchschlagen. Ansonsten folgt das dargestellte Effizienzhaus Plus-Lastprofil weitgehend dem H0-Lastprofil.

Tabelle 37:

Anteil der einzelnen Verbraucher am normierten Effizienzhaus Plus-Gesamtlastprofil.

|                     | Gemessener Energieverbrauch [kWh] |         |              |                |
|---------------------|-----------------------------------|---------|--------------|----------------|
|                     | Beleuchtung                       | Lüftung | Hilfsenergie | Haushaltsstrom |
| Haus 1              | 292                               | 815     | 1.457        | 1.768          |
| Haus 2              | 130                               |         |              | 4.633          |
| Haus 3              | 374                               | 327     | 432          | 3.291          |
| Haus 4              |                                   | 171     | 88           | 3.745          |
| Haus 5              | 247                               | 567     | 1.535        | 3.071          |
| Haus 6              | 270                               | 381     | 316          | 2.682          |
| Haus 7              |                                   |         | 574          | 2.355          |
| Haus 8              | 849                               | 218     | 1.384        | 3.322          |
| Mittelwert          | 360                               | 414     | 826          | 3.108          |
| Normiert (1000 kWh) | 77                                | 88      | 176          | 660            |

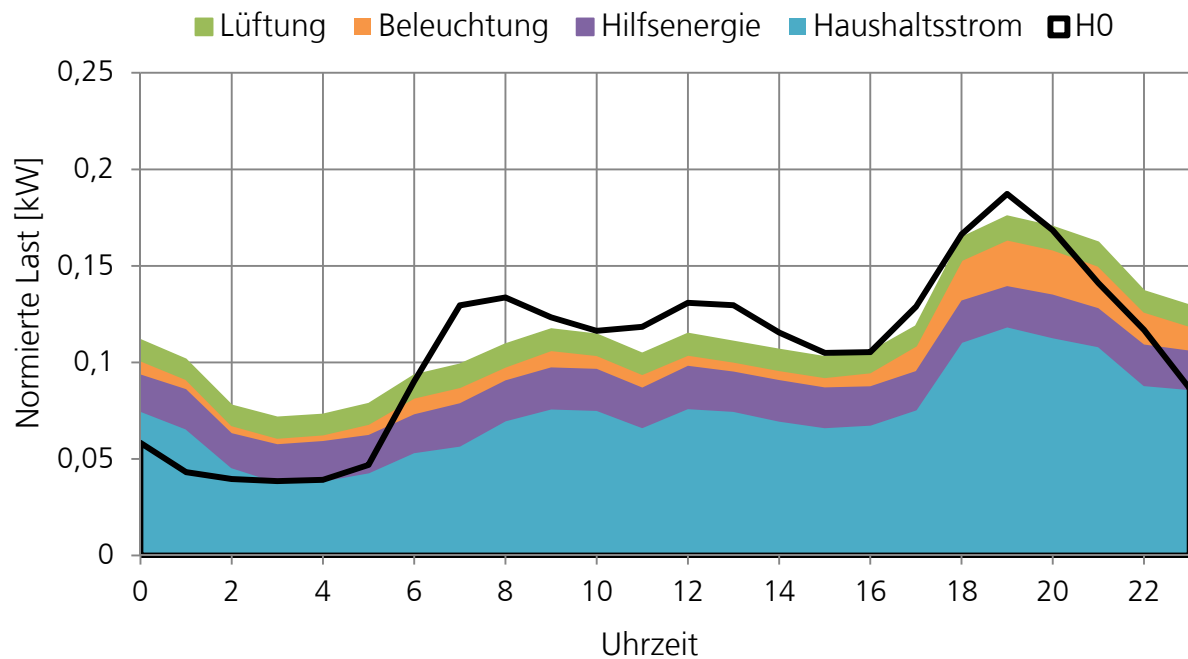


Bild 66:

Gegenüberstellung des H0-Lastprofils des BDEW und des Effizienzhaus Plus-Gesamtlastprofils für den Typtag Werktag und die Verbrauchsperiode Winter.

Die anhand von Bild 66 getroffenen Aussagen zur Gegenüberstellung des Effizienzhaus Plus- und des H0-Lastprofils, lassen sich ebenso auf die anderen Typtage und Verbrauchsperioden übertragen (vgl. Bild 67). Es zeigt sich, dass die beiden Lastprofile von ihrer Ausprägung ähnlich verlaufen, aber aufgrund der im Vergleich vor allem in den Nachtstunden für die Effizienzhäuser höheren und der tagsüber mehrheitlich geringeren normierten Leistung, also einer Verschiebung des Bedarfs von den Tag- in die Nachtstunden, ein ungünstigeres Lastprofil für die PV-Eigenstromnutzung aufweisen als das Standard-Lastprofil für Haushalte des BDEW. Aus diesem Grund werden für die nicht außertemperaturabhängigen Verbraucher die verbraucherscharfen Effizienzhaus Plus-Lastprofile bei der Modellierung des Energiebedarfs der Musterhäuser verwendet.

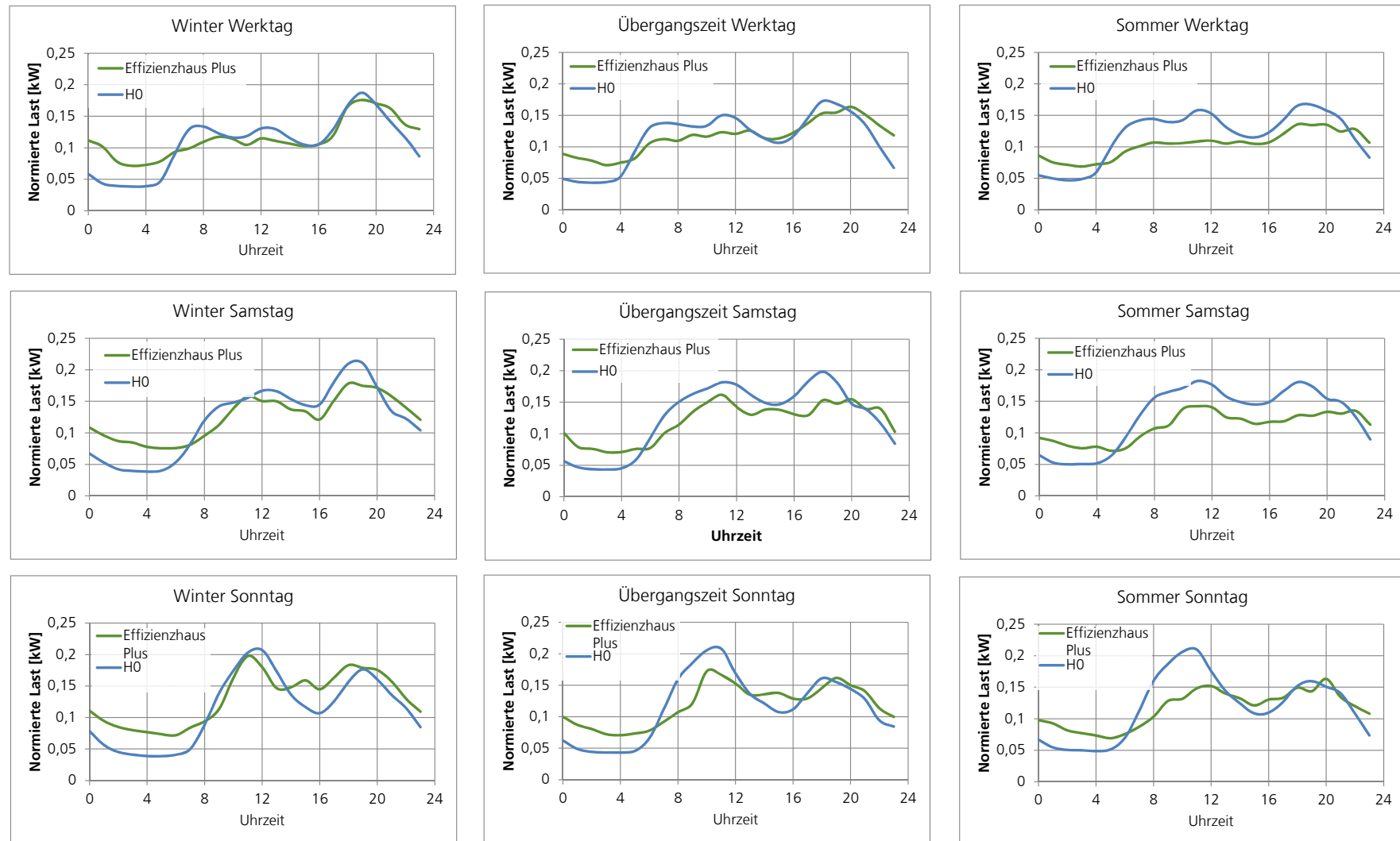


Bild 67:  
Gegenüberstellung des H0-Lastprofils des BDEW und des Effizienzhaus Plus-Gesamlastprofils für alle Typtage und Verbrauchsperioden.

### 11.3 Stündliche Lastprofile von Effizienzhaus Plus-Einfamilienhäusern (außentemperaturabhängige Verbraucher)

Im Gegensatz zu den in Kapitel 11.2 beschriebenen Lastprofilen befasst sich dieses Kapitel mit den relevanten außentemperaturabhängigen Lastprofilen (Wärmepumpe und Heizstab) der Effizienzhaus Plus-Einfamilienhäuser.

Die Energieversorgungsunternehmen stellen für solche elektrischen Energieverbraucher, welche sich über die in Kapitel 11.2 beschriebenen Standardlastprofile nicht ausreichend genau abbilden lassen, eigene Lastprofile zur Verfügung, sogenannte temperaturabhängige Lastprofile (TLP). Die TLPs werden von den Energieversorgern aus Lastprofilscharen ermittelt und in normierter Form in 1°C-Schritten und im ¼-h-Zeitintervall veröffentlicht. Das zugrundeliegende Berechnungsverfahren ist in [7], [8] und [9] beschrieben. Die Erstellung der temperaturabhängigen Lastprofile für die Effizienzhaus Plus-Einfamilienhäuser erfolgte in Anlehnung an das erwähnte Berechnungsverfahren, welches ursprünglich für Nachtspeicherheizungen entwickelt und dann auf Wärmepumpen übertragen wurde. Es wird im Folgenden näher beschrieben.

Für die Erstellung des temperaturabhängigen Lastprofils wurden zuerst die gemessenen Energieverbräuche von Wärmepumpe und Heizstab zusammengefasst, da die Heizstäbe nur für vier Gebäude separat erfasst wurden und bei den restlichen Gebäuden zusammen mit der Wärmepumpe gemessen wurden. Anschließend wurde die Temperaturmaßzahl TMZ berechnet, wobei hier abweichend von Verfahren der Energieversorger vorgegangen wurde. Die Energieversorger berechnen die Temperaturmaßzahl anhand der Gleichungen (3), (4) und (5).

$$TMZ(d) = \max(T_{\text{Bezug}} - T_{m,\bar{a}}(d); K) \quad (3)$$

$$T_{m,\bar{a}}(d) = 0,5 \cdot T_m(d) + 0,3 \cdot T_m(d-1) + 0,15 \cdot T_m(d-2) + 0,05 \cdot T_m(d-3) \quad (4)$$

$$T_m(d) = 0,25 \cdot T_{7:00}(d) + 0,25 \cdot T_{14:00}(d) + 0,5 \cdot T_{20:30}(d) \quad (5)$$

Dabei ist:

|                    |                                                                                                                                                                                  |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TMZ(d)             | Temperaturmaßzahl [K]                                                                                                                                                            |
| $T_{\text{Bezug}}$ | Bezugstemperatur, wird vom Verteilnetzbetreiber festgelegt und zur Verfügung gestellt [°C]                                                                                       |
| $T_{m,\bar{a}}(d)$ | Äquivalente Tagesmitteltemperatur [°C], (d) kennzeichnet den aktuellen Tag, (d-1) des Tag davor und (d-2) wiederum den Tag davor. Mathematische Abrundung auf ganze Grad Celsius |
| K                  | Begrenzungskonstante, wird vom Verteilnetzbetreiber festgelegt und zur Verfügung gestellt [K]                                                                                    |
| $T_m(d)$           | Tagesmittel der Außentemperatur [°C]                                                                                                                                             |

Die Analyse der Energieverbräuche der Wärmepumpen in den Effizienzhäusern hat ergeben, dass im Mittel der betrachteten Gebäude keine nennenswerte Nachtabschaltung oder Nachtabsenkung stattfindet. Deshalb wurde für die Berechnung von  $T_m(d)$  für die Effizienzhäuser, abweichend von Gleichung (5), ein Mittelwert aus jeder Stunde des Tages gebildet. Die Berücksichtigung des aktuellen Tages sowie der drei vorangegangenen Tage erscheint für die Berechnung von  $T_{m,\bar{a}}(d)$  für Nachtspeicherheizungen sinnvoll, ist aber für Wärmepumpen in hochgedämmten Gebäuden ohne nennenswerte Relevanz, weshalb für die Effizienzhäuser  $T_{m,\bar{a}}(d) = T_m(d)$  gesetzt wurde, also nur der aktuelle Tag Berücksichtigung findet. Die Bezugstemperatur  $T_{\text{Bezug}}$  wurde für die Effizienzhäuser auf 17 °C festgelegt und die Begrenzungskonstante  $K$  zu 1 gesetzt, was bedeutet, dass selbst bei  $T_{m,\bar{a}}(d) > 16$  °C die Temperaturmaßzahl  $TMZ$  mindestens 1 ist und somit auch bei  $T_{m,\bar{a}}(d) > 16$  °C Strom für die Wärmepumpen (bzw. den Heizstab) über das Lastprofil bereitgestellt wird. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da in den betrachteten Effizienzhäusern die Warmwasserbereitung über die Wärmepumpen erfolgt und somit auch ein Verbrauch der Wärmepumpen vorliegt bei äquivalenten Tagesmitteltemperaturen über 16 °C.

Um nun für jedes der Effizienzhäuser einzeln das Außentemperaturabhängige Lastprofil zu ermitteln, wurde in einem ersten Schritt analog zu Gleichung (1) das stündliche Verbrauchsprofil der Wärmepumpen  $P_{h,WP}$  ermittelt.

Um dieses abhängig von der Außentemperatur zu machen und auf die weitere Verarbeitung zu einem gemeinsamen Wärmepumpenlastprofil für Wärmepumpen in Effizienzhäusern vorzubereiten, wurde dieses für jeden Zeitschritt gemäß Gleichung (6) mit der Temperaturmaßzahl  $TMZ(d)$  und dem Mittelwert aus den Jahressummen des Energieverbrauchs aller gemessenen Wärmepumpen der Effizienzhäuser verrechnet.

$$P_{h,WP,TMZ} = P_{h,WP} \cdot \frac{TMZ(d)}{\overline{Q_{a,WP}}} \quad (6)$$

Dabei ist:

|                       |                                                                                                              |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $P_{h,WP,TMZ}$        | stündliches, normiertes außentemperaturabhängiges Lastprofil der Wärmepumpe eines Gebäudes [%·K/kWh]         |
| $P_{h,WP}$            | stündliches Lastprofil der Wärmepumpe [%]                                                                    |
| $\overline{Q_{a,WP}}$ | Mittelwert aus den Jahressummen des Energieverbrauchs aller gemessenen Wärmepumpen der Effizienzhäuser [kWh] |

Somit ergibt sich für jedes Gebäude und jede Stunde des Jahres ein außentemperaturabhängiges Lastprofil der Wärmepumpe. Für die unterschiedlichen Temperaturmaßzahlen (welche im Fall der 8 Effizienzhäuser und den unterschiedlichen Wetterdaten von 1 - 29 reichen) werden in Abhängigkeit der jeweiligen Uhrzeit Mittelwerte gebildet, um ein einheitliches Lastprofil für die entsprechende Temperaturmaßzahl und Uhrzeit zu erhalten. An einem Beispiel erläutert, werden alle Werte von  $P_{h,WP,TMZ}$ , welche während einer spezifischen Temperaturmaßzahl (z.B. 12 K) und Uhrzeit (z.B. 18 Uhr) ermittelt wurden, als Mittelwert zusammengefasst.

$$P_{h,WP,TMZ,m} = \overline{P_{h,WP,TMZ}(TMZ,h)} \quad (7)$$

Dabei ist:

$P_{h,WP,TMZ,m}$  Mittelwert des stündlichen, normiertes außentemperaturabhängiges Lastprofil der Wärmepumpe eines Gebäudes für eine spezifische Temperaturmaßzahl und Uhrzeit [%·K/kWh]

$P_{h,WP,TMZ}$  stündliches, normiertes außentemperaturabhängiges Lastprofil der Wärmepumpe eines Gebäudes [%·K/kWh]

Die in Gleichung (6) und (7) beschriebene Vorgehensweise wurde für alle 8 gemessenen Wärmepumpen durchgeführt. Anschließend wurden die jeweils auf Gebäudeebene ermittelten Mittelwerte des stündlichen außentemperaturabhängigen Lastprofils der Wärmepumpen analog zu Gleichung (7) über die unterschiedlichen Gebäude gemittelt, woraus dann das gemeinsame Lastprofil der Effizienzhäuser für die Wärmepumpen entstand. Das gemeinsame Wärmepumpen-Lastprofil der Effizienzhäuser ist in Bild 68 dargestellt, in welchem das Lastprofil zur besseren Veranschaulichung für verschiedene Außentemperaturen dargestellt ist. Dort zeigt sich, dass bei Tagesmittelwerten der Außentemperatur von über 3 °C das Lastprofil der Wärmepumpe relativ konstant bleibt im Tagesverlauf. Hingegen bei Außentemperaturen kleiner 0 °C lässt sich, abgesehen von einem allgemein höheren Lastprofil aufgrund der geringeren Außentemperatur, in den Morgen- und Abendstunden eine deutliche zusätzliche Erhöhung des Lastprofils erkennen. Diese Erhöhung lässt sich auf den Stromverbrauch der Heizstäbe zurückführen, welche vor allem bei kalter Witterung für die Trinkwarmwassererzeugung am Morgen und Abend herangezogen werden müssen.

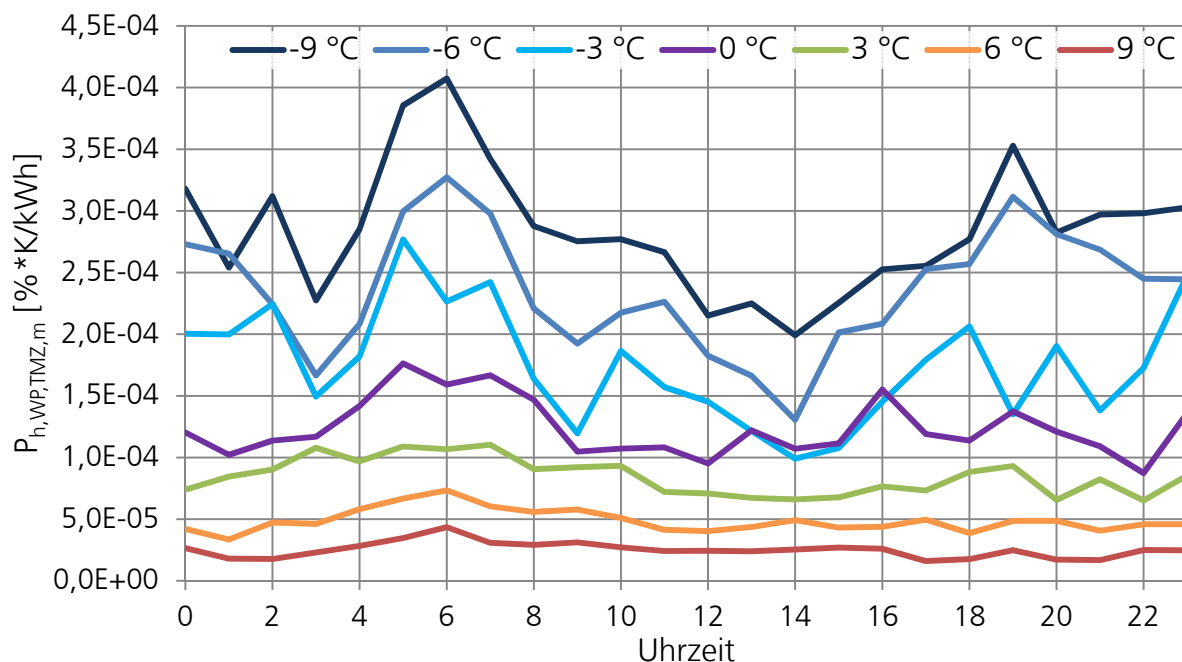


Bild 68:  
Verlauf des Effizienzhaus Plus-Wärmepumpen-Lastprofils bei unterschiedlichen Tagesmitteltemperaturen der Außenluft.



Um zu überprüfen, in wie weit das ermittelte Wärmepumpen-Lastprofil der Effizienzhäuser von dem von den Verteilnetzbetreibern bereitgestellten Lastprofil für Wärmepumpen abweicht, wurden die Tagesgänge der beiden Lastprofile bei unterschiedlichen Tagesmitteltemperaturen der Außenluft verglichen (vgl. Bild 69). Dabei zeigt sich, dass die bei niedrigen Außentemperaturen verursachten Lastprofilspitzen, welche durch die Trinkwarmwassererzeugung mit den, teilweise integrierten Heizstäbe verursacht werden, nicht vom Wärmepumpen-Lastprofil der hier exemplarisch dargestellten Stadtwerke Lauterbach [10] abgebildet werden. Eine Überprüfung mehrerer Wärmepumpen-Lastprofile anderer EVUs kam zu demselben Ergebnis. Mit Ausnahme der durch die Heizstäbe verursachten Abweichungen, sind die beiden Lastprofile vergleichbar.

Aufgrund der höheren Genauigkeit der Verbrauchsabbildung der Wärmepumpen inklusive Heizstab durch das Effizienzhaus Plus-Wärmepumpen-Lastprofil gerade in solarertragsarmen Zeiten am frühen Morgen und Abend im Winter und der ansonsten gegebenen Vergleichbarkeit mit dem TLP der Energieversorger, wird für die Modellierung des Strombedarfs für die Wärmepumpen auf dieses Lastprofil zurückgegriffen.

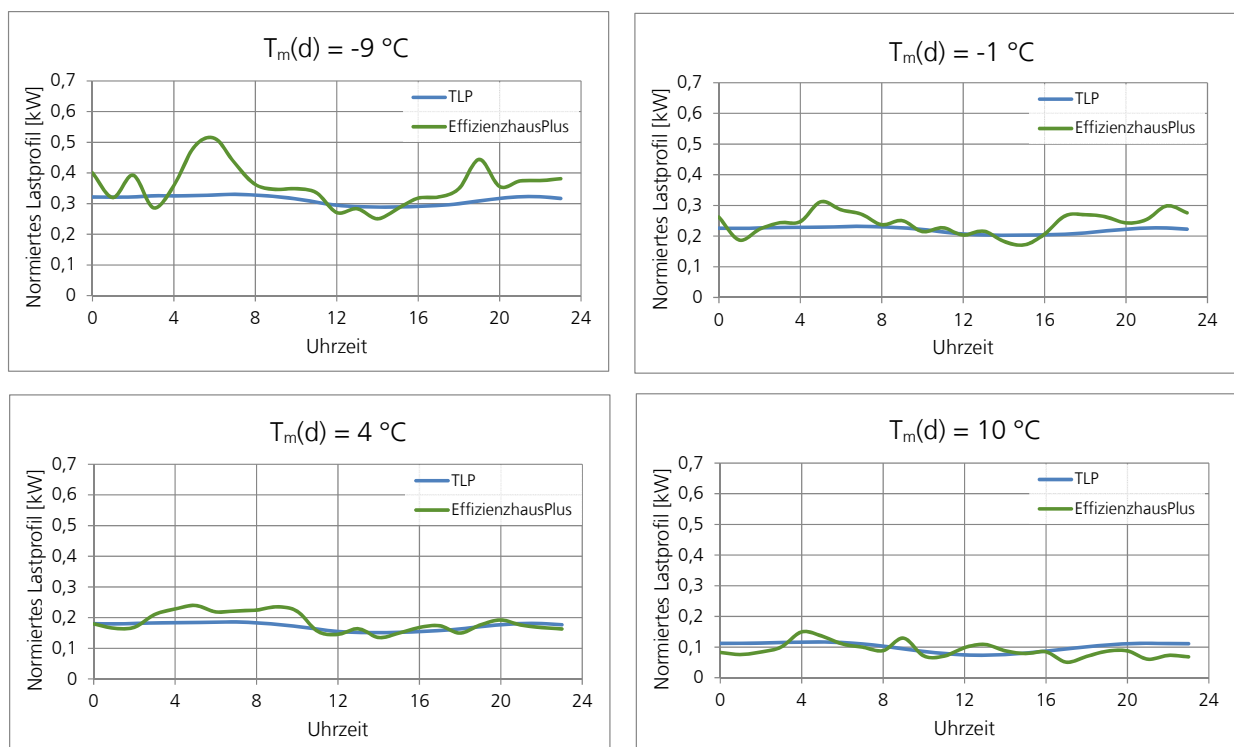


Bild 69:  
Verlauf des Effizienzhaus Plus-Wärmepumpen-Lastprofils bei unterschiedlichen Tagesmitteltemperaturen der Außenluft.

## 11.4 Bedarfsmodellierung in stündlicher Auflösung

Anhand der in den Kapiteln 11.2 bis 11.3 vorgestellten Methoden lässt sich durch die Multiplikation der Jahresenergiebedarfe der einzelnen Verbraucher (Wärmepumpe (incl. Heizstab), Lüftung, Hilfsenergie, Beleuchtung und Haushaltsstrom) und der jeweiligen Verbraucher-scharfen Lastprofile der Effizienzhäuser der Strombedarf aller Musterhäuser im Living Lab Wuppertal in stündlicher Auflösung modellieren.

Die Bedarfsmodellierung in stündlicher Auflösung für die in Kapitel 11.2 beschriebenen nicht außentemperaturabhängigen Verbraucher (Lüftung, Hilfsenergie, Beleuchtung und Haushaltsstrom) erfolgt nach Gleichung (8) durch die Multiplikation der in Tabell 32 dargestellten Energiebedarfe mit dem jeweiligen Verbraucherlastprofil  $P_{h,V,EffPlus}$ .

$$Q_{h,B,V,EffPlus} = \frac{P_{h,V,EffPlus} \cdot Q_{a,B,V}}{100} \quad (8)$$

Dabei ist:

|                     |                                                                                       |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $Q_{h,B,V,EffPlus}$ | stündlicher Strombedarf für den spezifischen Verbraucher des Effizienzhaus Plus [kWh] |
| $P_{h,V,EffPlus}$   | stündliches Lastprofil für den spezifischen Verbraucher des Effizienzhaus Plus [%]    |
| $Q_{a,B,V}$         | Anhand der DIN V 18599 berechnete Jahres-Strombedarf für den Verbraucher [kWh]        |

Die Bedarfsmodellierung in stündlicher Auflösung für die in Kapitel 11.3 beschriebenen außentemperaturabhängigen Verbraucher (Wärmepumpe incl. Heizstab) erfolgt nach Gleichung (9).

$$Q_{h,B,WP} = \frac{P_{h,WP,TMZ,EffPlus} \cdot \overline{Q_{a,V,WP}} \cdot \frac{\sum_a TMZ(d)}{\sum_a TMZ(d)_B} \cdot Q_{a,B,WP}}{100} \quad (9)$$

Dabei ist:

|                         |                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Q_{h,B,WP}$            | stündlicher Strombedarf für die Wärmepumpe [kWh]                                                                                                                                                                                        |
| $P_{h,WP,TMZ,EffPlus}$  | stündliches, temperaturabhängiges Lastprofil für Effizienzhaus Plus-Wärmepumpen [%·K/kWh]                                                                                                                                               |
| $\overline{Q_{a,V,WP}}$ | Mittelwert aus den gemessenen Stromverbräuchen der Wärmepumpen der 8 betrachteten Effizienzhäuser [kWh]                                                                                                                                 |
| $TMZ(d)_B$              | Temperaturmaßzahl des betreffenden Tages, in welchem die Stunde liegt, für welche der stündliche Strombedarf berechnet werden soll [K], basierend auf den Wetterdaten von TRY 04, da auf dessen Basis auch $Q_{a,B,WP}$ berechnet wurde |

|                            |                                                                                                                                                                              |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\overline{\sum_a TMZ(d)}$ | Mittelwert aus den Jahressummen der Temperaturmaßzahlen der 8 betrachteten Effizienzhäuser [K]                                                                               |
| $\sum_a TMZ(d)_B$          | Jahressumme der Temperaturmaßzahl für das Gebäude mit entsprechendem Klimadatensatz (in diesem Fall TRY 04) für welches der stündliche Strombedarf berechnet werden soll [K] |
| $Q_{a,B,WP}$               | Anhand der DIN V 18599 berechnete Jahres-Strombedarf für die Beheizung und Trinkwarmwassererzeugung (sofern über Wärmepumpe oder Heizstab bereitgestellt) [kWh]              |

Der anhand Gleichung (9) für eines der Musterhäuser im Living Lab Wuppertal berechnete stündliche Strombedarf für die Wärmepumpe ist in Bild 70 zusammen mit dem Verlauf der Außentemperatur für ein Jahr dargestellt. Da bei der Berechnung des Strombedarfs für die Beheizung und Trinkwarmwassererzeugung mit Wärmepumpen anhand der DIN V 18599 der Wetterdatensatz des TRY 04 (Potsdam) verwendet wird, wurde dieser auch zur Bestimmung von  $Q_{h,B,WP}$  herangezogen und ist deshalb auch in Bild 70 dargestellt. Zusammen mit den nach Gleichung (8) berechneten Strombedarfen der anderen Verbraucher ergibt sich der Jahresverlauf des Gesamtenergieverbrauchs für das Musterhaus wie in Bild 71 als Summenkurven dargestellt. In Bild 72 sind Tagesverläufe des Gesamtenergieverbrauchs an vier verschiedenen Tagen dargestellt.

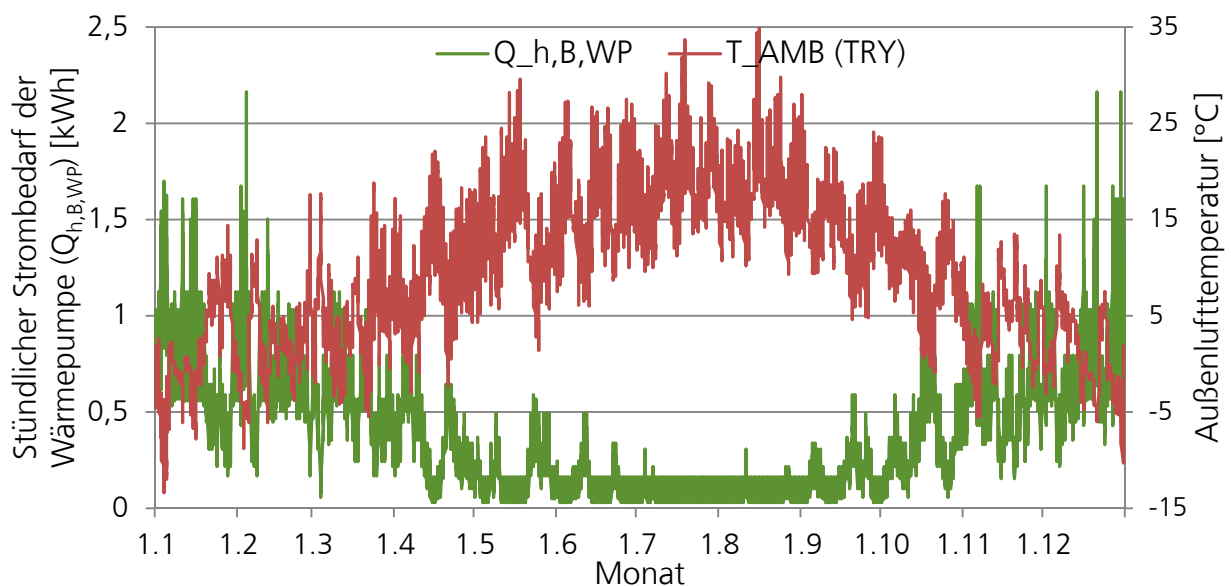


Bild 70:

Verlauf des stündlichen Strombedarfs der Wärmepumpe berechnet aus dem Effizienzhäuser Plus-Wärmepumpen-Lastprofil für ein Musterhaus im Living Lab Wuppertal und Darstellung der dazugehörigen Außentemperatur ( $T_{AMB}$ ) des TRY 04.

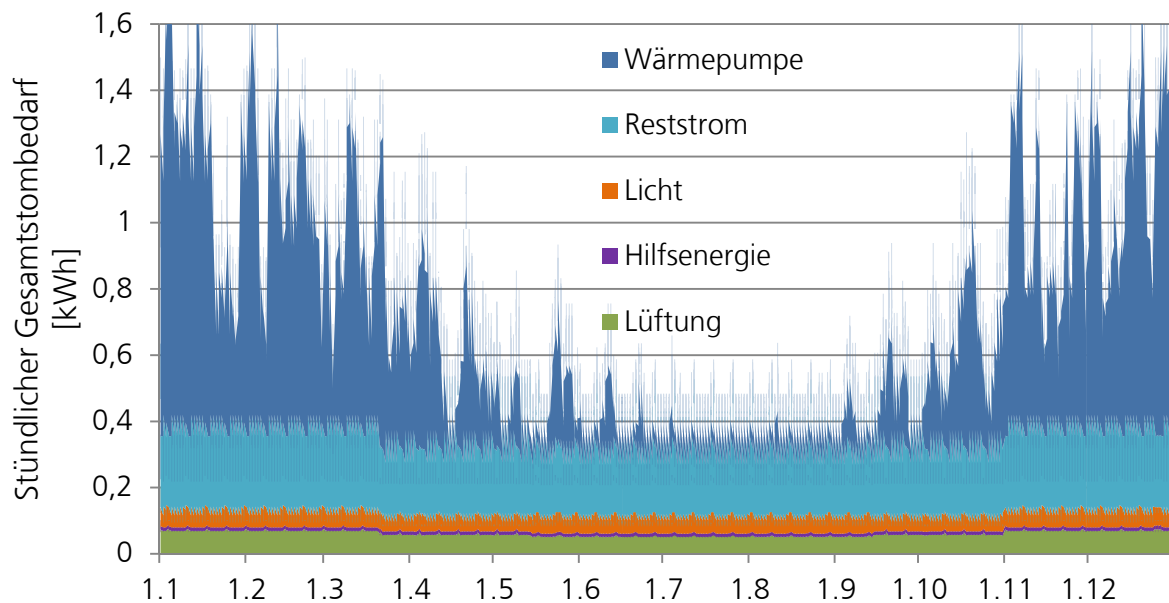


Bild 71:  
Stündlicher Verlauf der einzelnen Verbraucher für ein Musterhaus im Living Lab Wuppertal als Summenkurven in der Jahresübersicht.

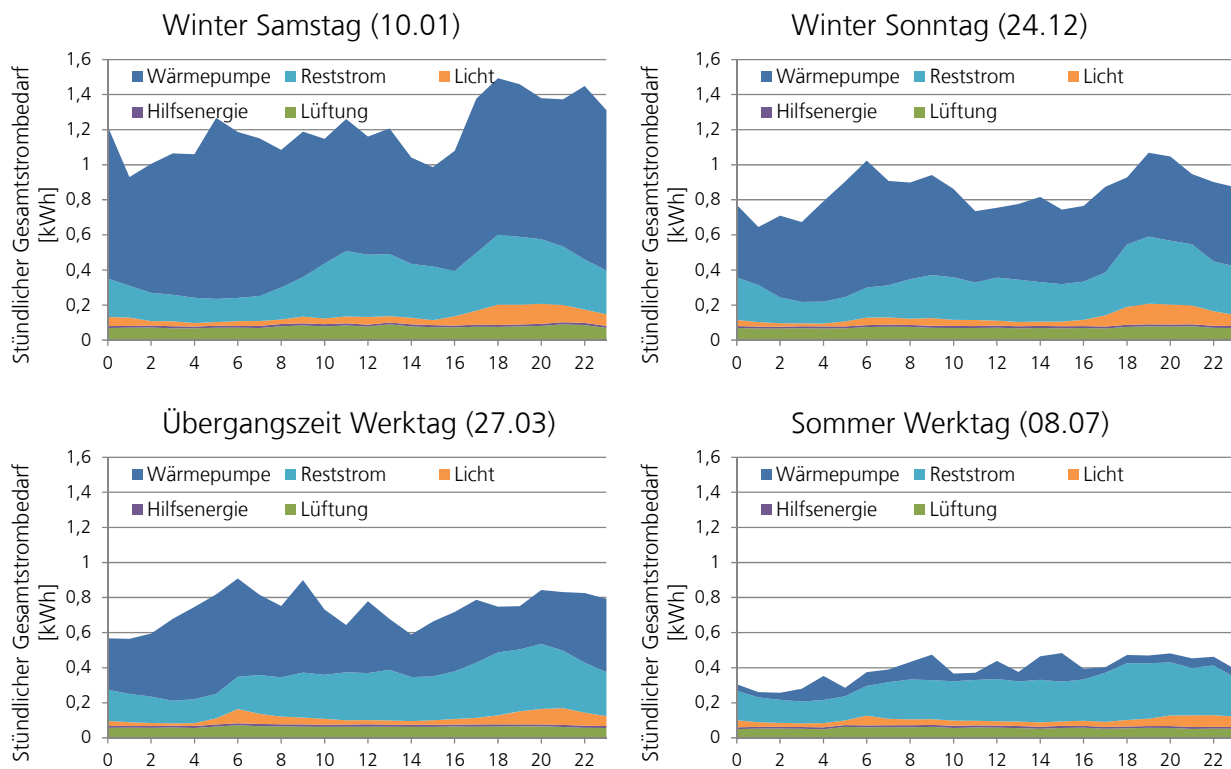


Bild 72:  
Stündlicher Verlauf der einzelnen Verbraucher für ein Musterhaus im Living Lab Wuppertal als Summenkurven an verschiedenen Tagen. Die deutlichen Unterschiede zwischen den Tagen sind hauptsächlich auf den Strombedarf der Wärmepumpe aufgrund der unterschiedlichen Außentemperaturen zurückzuführen.

## 11.5 PV-Ertragsmodellierung

Die Modellierung des stündlichen PV-Ertrags der Musterhäuser im Living Lab Wuppertal erfolgte mit den vor Ort verbauten Anlagen, wobei sowohl die Orientierung und Neigung der PV-Module berücksichtigt wurde, als auch deren Typ, Hersteller und Produktbezeichnung. Zusätzlich wurde noch der tatsächlich verbaute Wechselrichter abgebildet. Für die PV-Ertragsmodellierung wurde auf das Softwarepaket „PVSOL premium 2017“ des Herstellers „Valentin Software“ zurückgegriffen. Als Wetterdatensatz wurde für die Ertragsmodellierung, sowie für die Bedarfsmodellierung, der Wetterdatensatz des Testreferenzjahres TRY 04 verwendet.

Die Ergebnisse der Ertragsmodellierung sind zusammen mit der installierten Leistung der jeweiligen PV-Anlagen auf den Musterhäusern in Tabelle 38 aufgeführt.

Tabelle 38:

Ergebnisse der PV-Ertragsmodellierung für die 19 Wuppertaler Musterhäuser sowie Angaben zur installierten Leistung.

|                 | PV-Ertrag<br>[kWh/a] | Installierte<br>Leistung<br>[kWp] |                 | PV-Ertrag<br>[kWh/a] | Installierte<br>Leistung<br>[kWp] |
|-----------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------------|
| 02_Schwörerhaus | 10.444               | 14,9                              | 12_Bien Zenker  | 13.997               | 15,3                              |
| 03_FingerHaus   | 8.058                | 8,2                               | 13_Holz&Raum    | 10.684               | 10,7                              |
| 04_FingerHut    | 4.147                | 5,3                               | 14_HanseHaus    | 10.576               | 10,7                              |
| 05_WeberHaus    | 9.674                | 11,4                              | 15_allkauf      | 7.681                | 9,8                               |
| 06_PartnerHaus  | 9.683                | 9,8                               | 16_Okal         | 7.580                | 8,8                               |
| 07_HUFHAUS      | 10.554               | 10,7                              | 17_Nordhaus     | 7.640                | 8,3                               |
| 08_Büdenbender  | 6.696                | 8,3                               | 18_Schwabenhaus | 6.135                | 5,2                               |
| 09_Kampa        | 6.140                | 7,3                               | 19_Gussek       | 7.527                | 7,5                               |
| 10_ProHaus      | 7.427                | 7,5                               | 20_Danhaus      | 8.398                | 9,4                               |
| 11_Rensch Haus  | 6.646                | 6,8                               | <i>Gesamt</i>   | <i>159.687</i>       | <i>175,9</i>                      |

### 11.5.1 Modellierung der Kapitalflüsse durch PV-Strom-Einspeisung

Die Berechnung der monetären Erträge der PV-Anlagen durch die Einspeisung von Solarstrom in das öffentliche Stromnetz erfolgt auf Basis des EEG 2017 mit den Einspeisevergütungen (Marktprämienmodell sowie feste Vergütungssätze) für Anlagen mit Inbetriebnahme ab dem 1.1.2017 [11]. Die festen Vergütungssätze der Einspeisung bzw. die Erlösobergrenzen des Marktprämienmodells sind in Tabelle 39 bzw. Tabelle 40 dargestellt. Bei der Betrachtung der Kapitalflüsse durch PV-Einspeisung für die Referenzvariante V0 sowie V1 wird aufgrund der mittleren PV-Anlagengröße im Living Lab Wuppertal von 9,3 kWp eine Einspeisevergütung von 12,3 Cent angesetzt. Für die Einspeisung des PV-Stromes für Varianten mit Quartiersnetz und somit einem gemeinsamen Einspeisepunkt am Netz des Energieversorgungsunternehmens wird aufgrund der kumulierten Anlagengröße aller 19 Plusenergie-Häuser (176 kWp) das Marktprämienmodell angesetzt.

Tabelle 39:

Feste Einspeisevergütung für PV-Anlagen mit Inbetriebnahme ab 1.1.2017 nach [11].

| <b>Vergütungssätze Cent/kWh - Feste Einspeisevergütung</b> |                                                                    |            |             |                                 |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------|-------------|---------------------------------|
| Inbetriebnahme                                             | Wohngebäude, Lärmschutzwände und Gebäude<br>nach § 48 Absatz 3 EEG |            |             | Sonstige Anlagen bis<br>100 kWp |
|                                                            | bis 10 kWp                                                         | bis 40 kWp | bis 100 kWp |                                 |
| ab 1.1.2017                                                | 12,30                                                              | 11,96      | 10,69       | 8,51                            |

Tabelle 40:

Erlösobergrenzen des Marktprämienmodells für PV-Anlagen mit Inbetriebnahme ab 1.1.2017 nach [11]. Die angegebene Erlösobergrenze beinhaltet die Managementprämie von 0,4 Cent/kWh.

| <b>Erlösobergrenze Cent/kWh - Marktprämienmodell</b> |                                                                    |            |             |                                 |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------|-------------|---------------------------------|
| Inbetriebnahme                                       | Wohngebäude, Lärmschutzwände und Gebäude<br>nach § 48 Absatz 3 EEG |            |             | Sonstige Anlagen bis<br>750 kWp |
|                                                      | bis 10 kWp                                                         | bis 40 kWp | bis 750 kWp |                                 |
| ab 1.1.2017                                          | 12,70                                                              | 12,36      | 11,09       | 8,91                            |

Für das Marktprämienmodell wird davon ausgegangen, dass ein Direktvermarktungsunternehmen beauftragt wird, welches eine Vergütung von 0,4 Cent/kWh erhält und dieses beim Verkauf des Stromes an der Leipziger Strombörse den durchschnittlichen letztmonatlichen Börsenpreis für Solarstrom (MW Solar) erhält. Somit entspricht die Vergütung des Solarstroms aus dem Marktprämienmodell der Vergütung aus der festen Einspeisevergütung. Für die notwendige Hardware für die fernsteuerbare Leistungsbegrenzung der im Marktprämienmodell befindlichen PV-Anlage werden Kosten von 2.000 € angesetzt.

Die anteilige Abgabe für eigenverbrauchten Strom beträgt ab dem 1.1.2017 40 Prozent der EEG-Umlage (derzeit 6,35 Cent/kWh). Somit ist pro Kilowattstunde eigenverbrauchtem Strom ein Betrag von 2,54 Cent zu entrichten. Bei Anlagen unter 10 kWp installierter Leistung entfällt die anteilige Abgabe der EEG-Umlage für 10 MWh Eigenverbrauch. Somit ist im Normalfall für diese Anlagen keine Umlage zu bezahlen.

Bezug von Netzstrom wird mit 28,73 Cent/kWh berechnet [12].

## 11.6 Batteriemodellierung

Bei der Modellierung der dezentralen Batteriesysteme wurden AC-gekoppelte Batteriesysteme abgebildet, da diese in Deutschland häufiger verbaut und leichter in Bestandsgebäude mit vorhandener PV-Anlage integriert werden können. Zur Veranschaulichung sind unterschiedliche Arten der Batteriesystemkopplung mit den notwendigen leistungselektronischen Komponenten in Bild 73 [13] dargestellt.

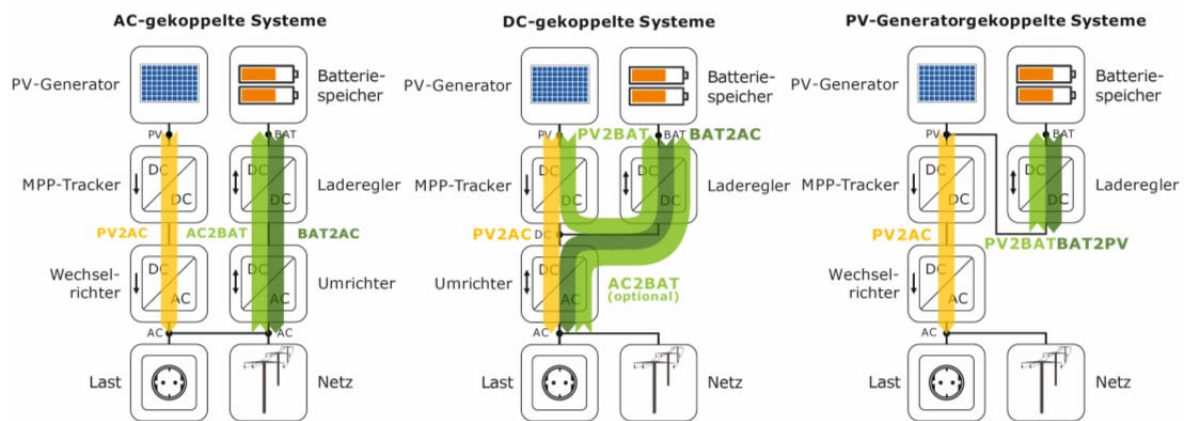


Bild 73:  
Unterschiedliche Arten der Batteriesystemkopplung mit den wesentlichen Systemkomponenten [13].

Die Energieverluste durch den MPP-Tracker und den PV-Wechselrichter wurden bereits bei der PV-Ertragsmodellierung (siehe Kapitel 11.5) berücksichtigt, weshalb an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen wird.

Bei den nachfolgend betrachteten Batteriesystemen werden Zellen auf Basis von Lithium-Ionen bewertet.

Die Batterie-Wechselrichterverluste für die dezentralen Batteriesysteme (Versorgungskonzept V1) bei der Be- und Entladung der Batterie wurden über den Wechselrichterwirkungsgrad in Abhängigkeit der Auslastung (Leistung/Nennleistung) berechnet. Um nicht die Wirkungsgrad-Daten eines einzelnen Batterieherstellers für die Berechnung heranzuziehen, wurden aus den Wirkungsgradangaben von 58 Batteriesystemen unterschiedlicher Hersteller ein Mittelwert gebildet und dieser über eine polynomische Regression in Abhängigkeit der Auslastung abgebildet (vgl. Bild 74).

Die Nennleistung der Batterie-Wechselrichter ist abhängig von der nutzbaren Kapazität des Batteriesystems, weshalb eine lineare Regression (siehe Bild 75) für die Abhängigkeit der Nennleistung von der nutzbaren Batteriekapazität, basierend auf den erwähnten 58 betrachteten Batteriesystemen, ermittelt wurde.

Des Weiteren wurden die Standby- und Leerlauf-Verbräuche von 50 Batteriesystemen ausgewertet und diese in Abhängigkeit der nutzbaren Batteriekapazität als Regression dargestellt (siehe Bild 76). Dadurch wird der Stromverbrauch für das Batteriemanagementsystem abgedeckt. Für die Batteriemodellierung wird angesetzt, dass nach 2 Stunden ohne Be- oder Entladung der Batterie vom Leerlauf in den Standby geschaltet wird.

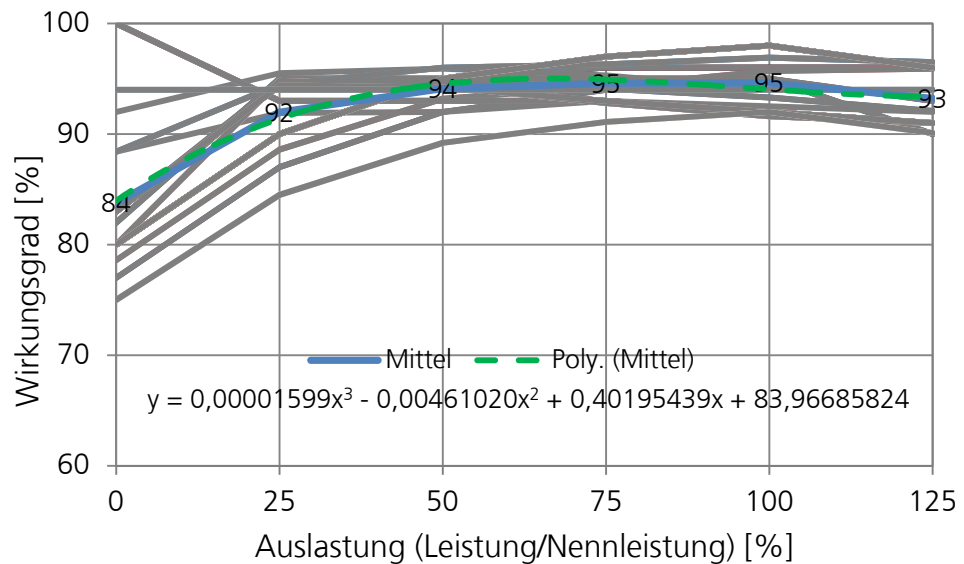


Bild 74:  
Darstellung der Batterie-Wechselrichterwirkungsgrade verschiedener Batteriesysteme in Abhängigkeit der Auslastung mit Angabe des Mittelwertes und der darauf basierenden polynomischen Regression.

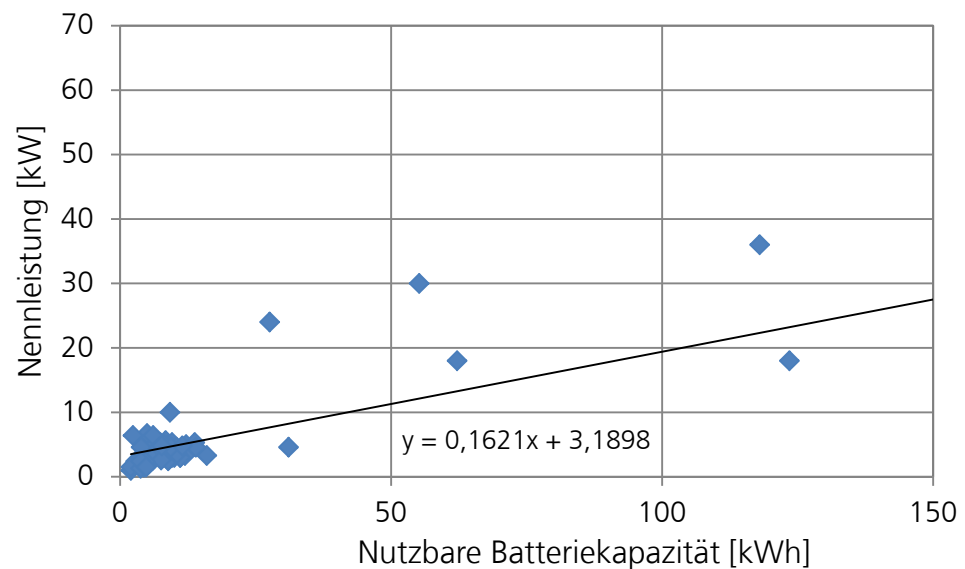


Bild 75:  
Darstellung der Nennleistung des Batterie-Wechselrichters verschiedener Batteriesysteme in Abhängigkeit der nutzbaren Batteriekapazität mit Angabe der linearen Regression.



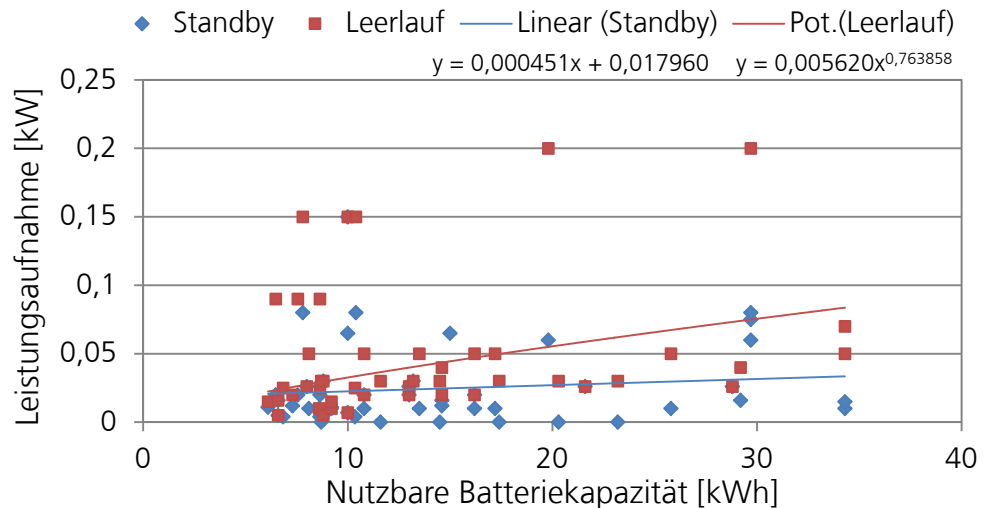


Bild 76:

Darstellung der Leistungsaufnahme verschiedener Batteriesysteme im Standby bzw. Leerlauf in Abhängigkeit der nutzbaren Batteriekapazität mit Angabe der linearen Regression.

Für die Modellierung der zentral im Quartier aufgestellten Redox-Flow-Batterie von Gildemeister wurde auf Messwerte aus dem Projekt zurückgegriffen, wonach der Standby-Verbrauch 630 W (130 kWh Kapazität) bzw. 500 W (40 kWh) beträgt und die Batterie-Wechselrichterverluste unabhängig von der Auslastung auf 0,9 festgelegt ist. Die Nennleistung für die Be- und Entladung wurde gemäß Datenblatt für die Variante mit 40 kWh Kapazität auf 20 kW und für 130 kWh Kapazität mit 30 kW festgelegt.

### 11.7 Bedarfsmodellierung weiterer nZEB-Einfamilienhäuser als Verbraucher für das Quartier

Da abseits von sehr speziellen Siedlungen wie z.B. dem Living Lab in Wuppertal eine reine Plusenergiegebäude-Siedlung sehr selten vorkommt, sollte auch untersucht werden, wie sich Plusenergiegebäude und Quartierskonzepte im Verbund mit anderen Neubauten im KfW 55-Standard (Stand 06/2017) verhalten, welche den nZEB-Gebäuden (nearly zero energy buildings) sehr nahe kommen. Deshalb wurde anhand des von [14] vorgestellten Typgebäudes Typwohngebäudes Einfamilienhaus (basierend auf dem Typwohngebäude des ZUB [ZUB-Quelle]) ein KfW 55-Einfamilienhaus als reiner Verbraucher, also ohne eigene PV-Anlagen, berechnet. Eine grafische Darstellung des Gebäudes ist in Bild 77 dargestellt, die energierelevanten Eigenschaften sind in Tabelle 41 dargestellt.

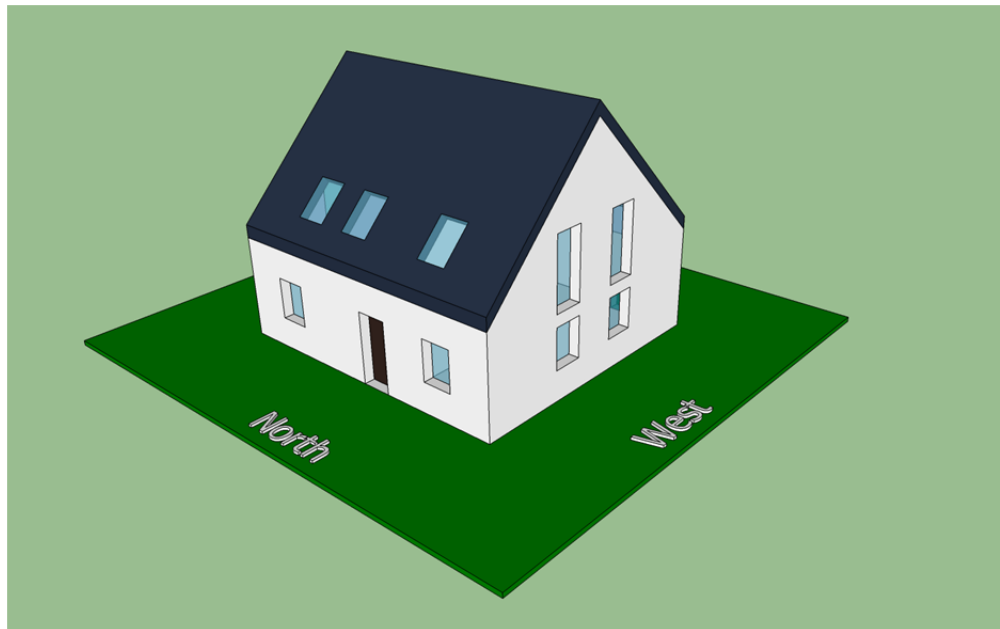


Bild 77:  
Darstellung des Typgebäudes Einfamilienhaus [14].

Tabelle 41:  
Energierrelevante Eigenschaften des Typgebäudes Einfamilienhaus.

|                                                                   |       |
|-------------------------------------------------------------------|-------|
| Bruttogrundfläche [m <sup>2</sup> ]                               | 271   |
| Nettogrundfläche [m <sup>2</sup> ]                                | 205   |
| Wohnfläche [m <sup>2</sup> ]                                      | 152.0 |
| Gebäudehüllfläche [m <sup>2</sup> ]                               | 505.9 |
| Bruttovolumen [m <sup>3</sup> ]                                   | 790   |
| Nettovolumen [m <sup>3</sup> ]                                    | 601   |
| A/V-Verhältnis [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]                  | 0.64  |
| Energiebezugsfläche [m <sup>2</sup> ]                             | 253   |
| Transmissionswärmetransferkoeffizient $H'_T$ [W/m <sup>2</sup> K] | 0,241 |

Bei der Berechnung wird das Typgebäude mit zwei unterschiedlichen Wärmeerzeugern (Wärmepumpe und Nahwärmeanschluss) bewertet, welche für die Versorgungsvarianten V4 und V6 relevant sind.

Die Endenergiebedarfe für das Typgebäude mit den unterschiedlichen Wärmeerzeugern ist in Tabelle 42 dargestellt.

Tabelle 42:

Ergebnisse der Endenergiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 für das Typgebäude Einfamilienhaus nach Schrade Velux [14] mit verschiedenen Wärmeerzeugern.

| Wärmeerzeuger | Heizung [kWh/a] | TWW [kWh/a] | Lüftung [kWh/a] | Hilfsenergie [kWh/a] | Kühlung [kWh/a] | Nutzerstrom [kWh/a] |
|---------------|-----------------|-------------|-----------------|----------------------|-----------------|---------------------|
| Wärmepumpe    | 2.012           | 987         | 655             | 143                  | -               | 2500                |
| Nahwärme      | 7.027           | 4.391       | 655             | 27                   | -               | 2500                |

Die stündliche Abbildung der in Tabelle 42 dargestellten Energiebedarfe erfolgt über die in Kapitel 11.2 und 11.3 ermittelten verbraucherscharfen Lastprofile der Effizienzhäuser.

## 11.8 Nahwärmenetz-Modellierung

Die Modellierung des Nahwärmenetzes erfolgt auf Basis eines vereinfachten Berechnungsvorgangs, welcher nachfolgend beschrieben wird.

Für die Versorgungsvarianten mit Nahwärmenetz werden die 19 Wuppertaler Musterhäuser mit einem Zweileiter-System über ein Strahlennetz miteinander verbunden, da diese nach [15] bei kleinen und mittleren Fernwärmenetzen die geringsten Trassenlängen verursachen. Die Topographie des Nahwärmenetzes ist in Bild 78 dargestellt.

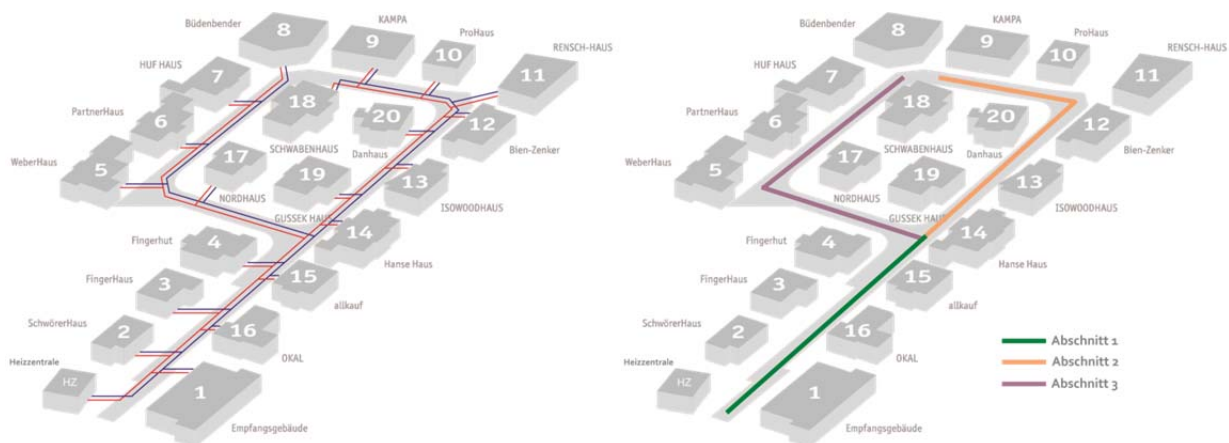


Bild 78:

Topographie und Netzabschnitte des angesetzten Nahwärmenetzes im Living Lab Wuppertal.

Für die Berechnung der Druckverluste im Nahwärmenetz und die Ermittlung der aufzubringende Pumpenleistung ist eine Dimensionierung der Rohrnennweiten der drei Abschnitte sowie der Hausanschlussleitungen des Nahwärmenetzes notwendig. Hierfür wird auf die Gleichung (10) sowie Bild 79 [16] zurückgegriffen.

$$Q_{X,max} = m_{X,max} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (10)$$

Dabei ist:

|             |                                                                                                                                                                  |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Q_{X,max}$ | maximaler Wärmestrom, welcher an der Stelle X durch das Rohr des Nahwärmenetzes strömen muss, um den Wärmeverbrauch der dahinterliegenden Gebäude zu decken [kW] |
| $m_{X,max}$ | maximaler Massenstrom des Wärmeträgermediums an der Stelle X [kg/s]                                                                                              |
| $c_p$       | spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgermediums Wasser [kJ/kgK]                                                                                                |
| $\Delta T$  | Temperaturdifferenz des Wärmeträgermediums zwischen Vor- und Rücklauf des Nahwärmenetzes [K]                                                                     |

Davon ausgehend, dass die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf (Vorlauf 55 °C und Rücklauf 30 °C) des Nahwärmenetzes konstant bleibt, muss der Massenstrom variiert werden, um den maximalen Wärmestrom bereitstellen zu können. Dieser tritt auf, wenn gleichzeitig die maximale Heizlast aufgrund von sehr niedrigen Außentemperaturen und die Maximalmenge an Trinkwarmwasser angefordert wird.

Für die Berechnung der maximalen Heizlast wird für die 19 Wuppertaler Musterhäuser sowie das Empfangsgebäude eine spezifische Heizlast von 30 W/m<sup>2</sup> beheizte Nettogrundfläche angesetzt. Die Berechnung des maximal nötigen Wärmestroms für die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt, indem davon ausgegangen wird, dass es sich in den Häusern um eine Trinkwarmwassererwärmung mit Speichersystem (Speichervolumen von 300 l) handelt. Für die Trinkwassererwärmung wird ein Wärmetauscher mit einer Leistung von 6 kW eingesetzt. Da die Trinkwassererwärmung unter Berücksichtigung des Temperaturabfalls am Wärmetauscher von 5 K nur auf 50 °C erwärmt werden kann, erfolgt die Trinkwarmwassererwärmung auf 65 °C in der Heizperiode mit einem elektrischen Heizstab. Da das Nahwärmenetz nur von 15.9 bis 15.4. betrieben wird, erfolgt die Trinkwarmwasserbereitung in den Sommermonaten ausschließlich über den Heizstab.

Da die Lasten in den unterschiedlichen Gebäuden nicht gleichzeitig auftreten, wird ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,8 angesetzt, welcher gemäß [17] bereits für mehrere kleine Nahwärmenetze ermittelt wurde.

Die Ergebnisse der Berechnung nach Gleichung (10) sowie der Ablesung aus Bild 79 [16] sind in Tabelle 42 dargestellt.

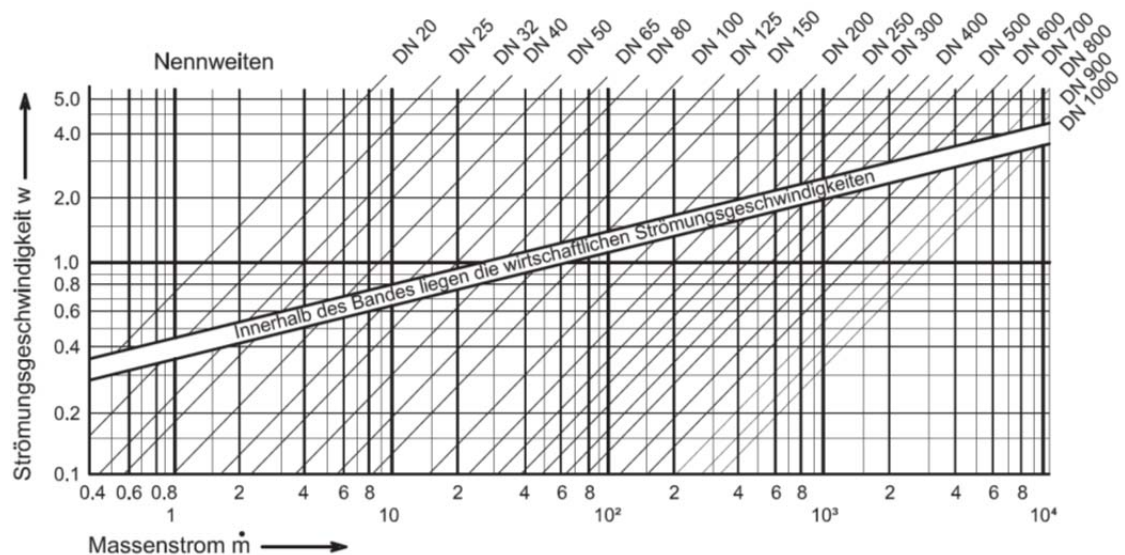


Bild 79:  
Darstellung des wirtschaftlichen Strömungsgeschwindigkeit [m/s] in Nahwärmenetzen in Abhängigkeit der Massenstroms [t/h] [16].

Tabelle 43:  
Ergebnisse der Rohrnennweitenbestimmung der einzelnen Nahwärmenetzabschnitte.

| Nahwärmenetz  | $Q_{X,max}$ [kW] | $m_{X,max}$ [t/h] | Rohrnennweite |
|---------------|------------------|-------------------|---------------|
| Abschnitt 1   | 247,5            | 8,5               | DN 65         |
| Abschnitt 2   | 110,2            | 3,8               | DN 50         |
| Abschnitt 3   | 57,4             | 2,0               | DN 32         |
| Hausanschluss | 19,0             | 0,6               | DN 20         |

Anhand der in Tabelle 43 ermittelten Rohrnennweite der Nahwärmenetzabschnitte kann aus Bild 79 die Strömungsgeschwindigkeit in den Rohrabschnitten abgelesen werden. Anhand derer kann durch Gleichung (11) der Druckverlust in den jeweiligen Abschnitten berechnet (vgl. [16]) werden.

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{d_i} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} + H \cdot \rho \quad (11)$$

Dabei ist:

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\Delta p$ | Druckverlust [Pa] des Rohrabschnitts des Nahwärmenetzes mit der Länge L                                                                                                                                                                                                                        |
| $\lambda$  | Rohrreibungszahl, abgelesen aus dem Moody-Diagramm, wobei für die Berechnung der Reynolds-Zahl (Re) eine kinematische Viskosität von $0,602 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (Wasser bei 45 °C) angesetzt wurde. Als Wandrauigkeit des Rohres wurde gemäß [15] 0,1 m (Stahlrohr) angesetzt. |
| L          | Länge [m] des Rohrabschnitts                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| $d_i$      | Innendurchmesser [m] des Rohres                                                                                                                                                                                                                                                                |
| w          | Strömungsgeschwindigkeit [m/s] des Wärmeträgermediums                                                                                                                                                                                                                                          |
| $\rho$     | Dichte [kg/m <sup>3</sup> ] des Wärmeträgermediums Wasser (990 kg/m <sup>3</sup> bei 45 °C)                                                                                                                                                                                                    |
| H          | Höhendifferenz innerhalb des Nahwärmenetzes [m] (H=0 m am Standort des Living Lab Wuppertal)                                                                                                                                                                                                   |

Die für die Gleichung (11) benötigten Eingangsdaten sowie die Ergebnisse der Druckverlustberechnung sind in Tabelle 44 dargestellt. Somit ergibt sich für alle Netzabschnitte incl. der Hausanbindeleitungen ein spezifischer Druckverlust von im Mittel 95 Pa pro Meter. Nach [15] sind spezifische Druckverluste um 100 Pa/m ein realistischer Wert für Nahwärmenetze.

Tabelle 44:  
Eingangsdaten und Ergebnisse der Druckverlustberechnung der einzelnen Nahwärmenetzabschnitte.

| Nahwärmenetz  | Re ( $\cdot 10^4$ ) | $\lambda$ [m] | L [m] | $d_i$ [m] | w [m/s] | $\Delta p$ [Pa] |
|---------------|---------------------|---------------|-------|-----------|---------|-----------------|
| Abschnitt 1   | 6,72                | 0,025         | 143   | 0,0697    | 0,58    | 8.541           |
| Abschnitt 2   | 3,85                | 0,027         | 184   | 0,0539    | 0,43    | 8.436           |
| Abschnitt 3   | 2,99                | 0,029         | 169   | 0,0360    | 0,50    | 16.847          |
| Hausanschluss | 1,62                | 0,035         | 200   | 0,0217    | 0,45    | 32.335          |

Werden für Untervarianten von Versorgungsvarianten mit Nahwärmenetz zusätzliche Abnehmergebäude an das Netz angeschlossen, so wird davon ausgegangen, dass der Druckverlust pro zusätzlichem Gebäude gleich bleibt, wie der bisherige Druckverlust pro Gebäude (3.482 Pa). Selbiges gilt auch für die Länge des Nahwärmenetzes (36,6 m).

Die benötigte Pumpenenergie wird anhand Gleichung (12) aus dem maximal zu befördernden Volumenstrom des Wärmeträgermediums, dem Pumpenwirkungsgrad und dem variablen Druckverlust innerhalb des Fernwärmenetzes berechnet. Die Variabilität des Druckverlustes ergibt sich aus der bedarfsbedingten Durchströmung der Hausanbindeleitungen (10 Meter pro Gebäude) und Hausstationen ( $\Delta p = 5.000 \text{ Pa}$ ).

$$Q_{Pu,el} = \Delta p_t \frac{m_{max}}{\eta_{Pu} \cdot \rho} \cdot t_B \quad (12)$$

Dabei ist:

|              |                                                                                             |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Q_{Pu,el}$  | Energiebedarf der Pumpe [Wh]                                                                |
| $\Delta p_t$ | variable Druckverlust [Pa] im Nahwärmenetz incl. Hausanbindeleitungen und Hausstationen     |
| $m_{max}$    | Maximal im Nahwärmenetz zu befördernder Massenstrom [kg/s] (2,36 kg/s, vgl. Tabelle 42)     |
| $\rho$       | Dichte [kg/m <sup>3</sup> ] des Wärmeträgermediums Wasser (990 kg/m <sup>3</sup> bei 45 °C) |
| $\eta_{Pu}$  | Wirkungsgrad [-] der Pumpe (wird auf 0,9 festgesetzt)                                       |
| $t_B$        | Betriebszeit [h] der Pumpe                                                                  |

Für die Berechnung der Wärmeverluste des Nahwärmenetzes  $Q_{L,x}$  wird davon ausgegangen, dass Einzelrohre verlegt werden, welche über eine einfach verstärkte Wärmedämmung verfügen, welche über einen Wärmedurchgangskoeffizient  $U_{DRE}$  in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers verfügen, welcher in Tabelle 44 zusammen mit den Wärmeverlusten dargestellt ist. Dabei wird davon ausgegangen, dass die umgebende Erdreichtemperatur 10 °C und die Erdreichwärmeleitfähigkeit 1,0 W/mK beträgt. Zur Vereinfachung der Wärmeverlustberechnung wird davon ausgegangen, dass die Vor- und Rücklauftemperatur in den Hausanschlussleitungen immer 55 °C/30 °C beträgt und nicht wie in der Realität bei Stagnation absinkt.

Tabelle 45:  
Eingangsdaten und Ergebnisse der Wärmeverlustberechnung der einzelnen Nahwärmenetzabschnitte.

| Nahwärmenetz  | Rohrnennweite | $U_{DRE}$ [W/mK] | L [m] | $Q_L$ [W] |
|---------------|---------------|------------------|-------|-----------|
| Abschnitt 1   | DN 65         | 0,198            | 143   | 920       |
| Abschnitt 2   | DN 50         | 0,176            | 184   | 1.052     |
| Abschnitt 3   | DN 32         | 0,142            | 169   | 780       |
| Hausanschluss | DN 20         | 0,111            | 200   | 722       |
| Gesamt        |               |                  |       | 3.474     |

Werden für Untervarianten von Versorgungsvarianten mit Nahwärmenetz zusätzliche Abnehmergebäude an das Netz angeschlossen, so wird davon ausgegangen, dass der Wärmeverlust pro zusätzlichem Gebäude gleich bleibt, wie der bisherige Wärmeverlust pro Gebäude (183 W).

Die stündlichen Werte des Wärmebedarfs für Heizung und Trinkwarmwasser werden anhand der DIN V 18599 und dem Wärmepumpen-Lastprofil der Plusenergiehäuser abgebildet. Da für die 19 Wuppertaler Plusenergiehäuser nur die DIN V 18599-Nachweisedokumente und nicht die Programmdateien der Nachweissoftware vorliegen, wird anhand des in [14] beschriebenen –Typwohngebäudes (vgl. Kapitel 11.6) ein Verhältniswert  $e_{FW,WP}$  zwischen dem Endenergiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser erzeugt. Der Verhältniswert gibt Auskunft darüber, mit welchem Faktor der Endenergiebedarf der Wärmepumpe für Heizung bzw. TWW multipliziert werden muss um den Endenergiebedarf für die Wärmebereitstellung über Fernwärme zu erhalten (vgl. Gleichung (13)). Mit diesem Verhältniswert kann der in den DIN V 18599-Nachweisdokumenten der Wuppertaler Musterhäuser angegebene Endenergiebedarf für Heizung bzw. Trinkwarmwasser skaliert werden, um damit für jedes Gebäude separat den Endenergiebedarf bei einer Wärmeerzeugung über Fernwärme abzuschätzen. Der Verhältniswert  $e_{FW,WP}$  wird für Heizung ( $e_{FW,WP,HZ}$ ) und Trinkwarmwasser ( $e_{FW,WP,TWW}$ ) getrennt berechnet, um den unterschiedlichen Aufwandszahlen der Wärmepumpe aufgrund der unterschiedlichen Temperaturniveaus gerecht zu werden. Die Ergebnisse der Berechnung sind in Tabelle 46 angegeben.

$$e_{FW,WP,HZ} = \frac{Q_{a,B,FW,HZ}}{Q_{a,B,WP,HZ}} \text{ bzw. } e_{FW,WP,TWW} = \frac{Q_{a,B,FW,TWW}}{Q_{a,B,WP,TWW}} \quad (13)$$



Dabei ist:

|                     |                                                                                                                                                                       |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $e_{FW,WP,HZ}$      | Verhältniswert des Endenergiebedarfs nach DIN V 18599 für die Beheizung des Typgebäudes Einfamilienhaus nach [14] zwischen Fernwärme und Wärmepumpe [-]               |
| $e_{FW,WP,TWW}$     | Verhältniswert des Endenergiebedarfs nach DIN V 18599 für die Trinkwassererwärmung des Typgebäudes Einfamilienhaus nach [14] zwischen Fernwärme und Wärmepumpe [-]    |
| $Q_{a,B,FW,HZ/TWW}$ | Endenergiebedarf nach DIN V 18599 für das Typgebäude Einfamilienhaus mit einer Wärmeerzeugung über Fernwärme für die Beheizung bzw. Trinkwarmwassererzeugung [kWh/a]  |
| $Q_{a,B,WP,HZ/TWW}$ | Endenergiebedarf nach DIN V 18599 für das Typgebäude Einfamilienhaus mit einer Wärmeerzeugung über Wärmepumpe für die Beheizung bzw. Trinkwarmwassererzeugung [kWh/a] |

Tabelle 46:

Eingangsdaten und Ergebnisse der Berechnung des Verhältniswertes zwischen Endenergiebedarf Fernwärme und Wärmepumpe für die Beheizung bzw. Trinkwarmwassererzeugung.

|                 | $Q_{a,B,FW}$ [kWh/a] | $Q_{a,B,WP}$ [kWh/a] | $e_{FW,WP}$ [-] |
|-----------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| Heizung         | 7.027                | 2.012                | 3,50            |
| Trinkwarmwasser | 4.391                | 987                  | 4,45            |

Aus den in Tabelle 32 aufgeführten Werten für den Endenergiebedarf der 19 Wuppertaler Plusenergiehäuser ergibt sich der Wärmebedarf für die Beheizung und Trinkwarmwassererzeugung durch Fernwärme nun durch die Multiplikation mit den Verhältniswerten  $e_{FW,WP,HZ}$  bzw.  $e_{FW,WP,TWW}$ . Die Ergebnisse für den so berechneten Endenergiebedarf für die Beheizung bzw. Trinkwarmwassererzeugung durch Fernwärme für die 19 Plusenergiehäuser sind in Tabelle 46 dargestellt.

Für die stündliche Umlegung der in Tabelle 46 angegebenen jährlichen Werte des Endenergiebedarfs wird die Summe aus  $Q_{a,B,FW,HZ}$  und  $Q_{a,B,FW,TWW}$  mit dem Wärmepumpenlastprofil der Plusenergiehäuser multipliziert, da davon ausgegangen werden kann, dass der zeitliche Verlauf des Wärmebedarfs unabhängig von der Art der Wärmeerzeugung ist. Die Kenntnis des stündlichen Wärmebedarfs der einzelnen Gebäude bzw. des Quartiers ist wichtig, um den Eigenverbrauch des erzeugten PV-Stroms korrekt berechnen zu können.

Tabelle 47:  
Ergebnisse der Endenergiebedarfs-Berechnung für die Wärmeerzeugung durch Fernwärme.

|                 | $Q_{a,B,FW,HZ}$<br>[kWh/a] | $Q_{a,B,FW,TWW}$<br>[kWh/a] |                 | $Q_{a,B,FW,HZ}$<br>[kWh/a] | $Q_{a,B,FW,TWW}$<br>[kWh/a] |
|-----------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|
| 02_Schwörerhaus | 7.072                      | 5.721                       | 12_Bien Zenker  | 12.619                     | 5.698                       |
| 03_FingerHaus   | 3.946                      | 5.651                       | 13_Holz&Raum    | 5.826                      | 4.912                       |
| 04_FingerHut    | 3.525                      | 4.463                       | 14_HanseHaus    | 5.796                      | 11.201                      |
| 05_WeberHaus    | 8.575                      | 9.345                       | 15_allkauf      | 9.826                      | 5.120                       |
| 06_PartnerHaus  | 3.039                      | 3.659                       | 16_Okal         | 8.966                      | 5.021                       |
| 07_HUFHAUS      | 9.219                      | 6.550                       | 17_Nordhaus     | 5.922                      | 3.613                       |
| 08_Büdenbender  | 5.803                      | 3.573                       | 18_Schwabenhaus | 4.232                      | 6.497                       |
| 09_Kampa        | 3.546                      | 6.533                       | 19_Gussek       | 8.851                      | 4.968                       |
| 10_ProHaus      | 6.864                      | 1.984                       | 20_Danhaus      | 6.395                      | 8.477                       |
| 11_Rensch Haus  | 5.947                      | 5.847                       | Gesamt          | 125.968                    | 108.834                     |

## 11.9 Eigenverbrauchsmodellierung

Für die Eigenverbrauchsmodellierung des PV-Stroms wurde die nachfolgend aufgeführte Hierarchie zur Steuerung der Energieflüsse verwendet (nach [18]). Die Hierarchie zur Steuerung der Energieflüsse wird für jede Stunde des Jahres einmal durchlaufen. Der Verbrauch setzt sich dabei aus den in Kapitel 11.4 beschriebenen Verbrauchern sowie dem Leerlauf- bzw. Standby-Verbrauch des Batteriesystems (Kapitel 11.6) zusammen. Die PV-Erträge wurden gemäß Kapitel 11.5 bestimmt.

1. Verbrauchsdeckung direkt durch PV-Energie
2. Verbrauchsdeckung aus Batterie
  - a. Bis zur Leistungsgrenze des Batteriesystems (Nennleistung)
  - b. Bis zum minimalen SOC (State of Charge – Ladezustand) der Batterie
3. Verbrauchsdeckung durch das Stromnetz (ggfs. zusammen mit PV-Anlage und Batteriesystem)
4. Batterieladung mit überschüssiger PV-Energie
  - a. Bis zur Leistungsgrenze des Batteriesystems (Nennleistung)
  - b. Bis zum maximalen SOC der Batterie
5. Netzeinspeisung überschüssiger PV-Energie
6. Batterieladung mit Netzstrom nur zur Pflege der Batterie
7. Keine Netzeinspeisung von Batterie-Energie

## 11.10 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die unterschiedlichen Versorgungskonzepte sollen im Rahmen dieses Arbeitspaketes auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit untersucht werden. Für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit wird die statische Amortisation gewählt, wobei Investitions-, Verbrauchs- und Betriebskosten sowie Erlöse berücksichtigt werden. Die Investitionskosten werden über die Lebensdauer der Komponenten abgeschrieben, damit bewertet werden kann ob sich die Investitionskosten durch die jährlichen Einsparungen während der Lebensdauer der einzelnen Komponenten amortisieren. Auf die jährliche Abschreibung der Investitionskosten werden die jährlich anfallenden Verbrauchs- und Betriebskosten addiert. Diese Summe, nachfolgend Jahreskosten genannt, wird für die unterschiedlichen Varianten gegenübergestellt. Varianten mit geringeren Jahreskosten als die Referenzvariante V0 werden als wirtschaftlich bezeichnet.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden bei den Investitionskosten Differenzkosten gebildet. Gleichbleibende Komponenten wie z.B. die Plusenergiehäuser und die PV-Anlagen werden nicht berücksichtigt. Es werden nur Mehr- bzw. Minderkosten berücksichtigt, welche im Vergleich zur Referenzvariante V0 anfallen.

Eine der zentralen und detailliert betrachteten Komponenten der Versorgungskonzepte ist das Quartiersstromnetz im Living Lab Wuppertal. Das eigentliche Quartiersstromnetz (NAYY 4 x 150 mm<sup>2</sup>) ist 425 Meter lang und die davon abzweigenden Hausanschlussleitungen (NAYY 4 x 35 mm<sup>2</sup>) sind nochmals 207 Meter lang. Die im Rahmen der Eigenschließung des Areals entstandenen Kosten sind zusammen mit den ansonsten anfallenden Kosten bei der Erschließung durch das EVU in Tabelle 47 dargestellt.

Die Betriebskosten für das Quartiersstromnetz belaufen sich auf 300 €/a (brutto) für die Reinigung und Wartung der Schalt- und Verteilerschränke. Die Lebensdauer der einzelnen Komponenten der Eigenschließung sowie der Erschließung durch das EVU sind in Tabelle 48 dargestellt.

Tabelle 48:

Brutto-Investitionskosten für die Eigenschließung des Areals mit einem Quartiersstromnetz im Vergleich zur Erschließung durch das EVU.

| Komponente                          | Kosten<br>Eigenschließung | Kosten<br>Erschließung durch<br>EVU |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Hausanschlüsse aus dem Netz des EVU |                           | 41.032 €                            |
| Tiefbau für die Hausanschlüsse      |                           | 13.247 €                            |
| Netzanschluss für das Areal         | 26.209 €                  |                                     |
| Erschließung Netz 1 und Netz 2      | 24.716 €                  |                                     |
| Hausanschlüsse                      | 15.373 €                  |                                     |
| Schaltanlagen EVU                   | 15.470 €                  |                                     |
| Kabelverteilerschrank 1             | 2.975 €                   |                                     |
| Kabelverteilerschrank 2             | 2.975 €                   |                                     |
| <b>Gesamtkosten (brutto)</b>        | <b>87.719 €</b>           | <b>54.279 €</b>                     |

Tabelle 49:

Lebensdauer der Anlagenkomponenten für die Eigenschließung des Areals mit einem Quartiersstromnetz und zur Erschließung durch das EVU.

| Komponente                          | Lebensdauer<br>Eigenschließung [a] | Lebensdauer<br>Erschließung durch<br>EVU [a] |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|
| Hausanschlüsse aus dem Netz des EVU |                                    | 50                                           |
| Tiefbau für die Hausanschlüsse      |                                    | 50                                           |
| Netzanschluss für das Areal         | 50                                 |                                              |
| Erschließung Netz 1 und Netz 2      | 50                                 |                                              |
| Hausanschlüsse                      | 50                                 |                                              |
| Schaltanlagen EVU                   | 25                                 |                                              |
| Kabelverteilerschrank 1             | 25                                 |                                              |
| Kabelverteilerschrank 2             | 25                                 |                                              |

Somit beläuft sich die Summe aus den jährlichen Abschreibungen der Investitionskosten über die Lebensdauer des Quartiersstromnetzes auf 2.183,- €/a, während für die Erschließung durch das EVU eine jährliche Abschreibung von 1.086,- € ergibt. Da die Erschließung durch das EVU sowieso anfallen würden, werden für die Wirtschaftlichkeit des Quartierstromnetzes die Mehrinvestitionskosten durch die Eigenschließung betrachtet. Diese belaufen sich somit über die Lebensdauer der Komponenten auf 1.097,- €.

Die Investitionskosten für die anderen verwendeten Anlagen und Komponenten sind in Tabelle 49, die betriebsgebundenen Kosten in Tabelle 50, die Verbrauchskosten in Tabelle 52, und die Lebensdauern in Tabelle 51 dargestellt. Alle dargestellten Kosten sind Brutto-Kosten.

Für die Quartiersbatterie mit Vanadium-Redox-Flow-Technologie wurden ebenfalls die im Projekt tatsächlich angefallenen Investitionskosten angesetzt.

Tabelle 50:  
Investitionskosten für verschiedene Komponenten.

|                                                                                          | Investitionskosten                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Dezentrale Wärmepumpen (Luft-Wasser-WP)                                                  | 1000 €/kW <sub>th</sub>                                                       |
| Dezentrale Hausbatterien (Lithium-Ionen-Technologie, AC-seitig angeschlossen)            | 1.900 €/kWh <sub>Nutz</sub> [3][12]                                           |
| Zentrale Wärmepumpe (Sole-Wasser-WP)                                                     | 645 €/kW <sub>th</sub><br>nach [Wolff_2011]                                   |
| Nahwärmenetz (Einzelrohr, Stahl, 1x verstärkte Wärmedämmung) incl. Pumpen und Peripherie | 300 €/lfm                                                                     |
| Erdsonden (Doppel-U-Sonde) incl. Pumpen und Peripherie                                   | 90 €/lfm                                                                      |
| Betriebsgebäude für zentrale Wärmezeugung                                                | 900 €/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>                                           |
| Nahwärmeübergabestationen (getrennte Kreisläufe mit TWW-Erzeugung)                       | 260 €/kW <sub>th</sub> [Wolff_2011]                                           |
| Quartiersbatterie (Vanadium-Redox-Flow-Technologie)                                      | 2.848 €/kWh <sub>Nutz</sub> (36 kWh)<br>1.809 €/kWh <sub>Nutz</sub> (106 kWh) |
| Quartiersbatterie (Lithium-Ionen-Technologie)                                            | 1.200 €/kWh <sub>Nutz</sub> (2017)                                            |
| Gasbrennwerttherme                                                                       | 160 €/kW <sub>th</sub> [Wolff_2011]                                           |
| Dezentrale Durchlauferhitzer zur Trinkwarmwassererwärmung                                | 60 €/kW <sub>th</sub>                                                         |

Tabelle 51:

Betriebsgebundene Kosten für verschiedene Komponenten. Prozentangaben beziehen sich auf die Erstinvestitionskosten

|                                                                                          | <b>Betriebs- und Wartungskosten</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Dezentrale Wärmepumpen (Luft-Wasser-WP)                                                  | 2,5 %/a [19]                        |
| Dezentrale Hausbatterien (Lithium-Ionen-Technologie, AC-seitig angeschlossen)            | 20 €/a pro Stück                    |
| Zentrale Wärmepumpe (Sole-Wasser-WP)                                                     | 2,5 %/a                             |
| Nahwärmenetz (Einzelrohr, Stahl, 1x verstärkte Wärmedämmung) incl. Pumpen und Peripherie | 1 %/a [19]                          |
| Erdsonden (Doppel-U-Sonde) incl. Pumpen und Peripherie                                   | 3 %/a [19]                          |
| Betriebsgebäude für zentrale Wärmeerzeugung                                              | 2 %/a [19]                          |
| Nahwärmeübergabestationen (getrennte Kreisläufe mit TWW-Erzeugung)                       | 3 %/a [19]                          |
| Quartiersbatterie (Vanadium-Redox-Flow-Technologie)                                      | 980 €/a                             |
| Quartiersbatterie (Lithium-Ionen-Technologie)                                            | 400 €/a                             |
| Gasbrennwerttherme                                                                       | 3 %/a [19]                          |
| Dezentrale Durchlauferhitzer zur Trinkwarmwassererwärmung                                | 2 %/a [19]                          |

Für die verbrauchsgebundenen Kosten werden die in Tabelle 52 dargestellten Werte angesetzt. Für Strom wird der vom BDEW [12] ermittelte mittlere Strompreis angesetzt. Dieser beinhaltet auch die Grundgebühren. Allerdings berücksichtigt dieser nicht den günstigeren Strompreis für Wärmepumpen.

Tabelle 52:

Verbrauchsdaten für verschiedene Energieträger.

|       | <b>Investitionskosten</b> |
|-------|---------------------------|
| Strom | 0,2873 €/kWh [12]         |
| Gas   | 0,062 €/kWh               |

Tabelle 53:  
Lebensdauer für verschiedene Komponenten.

|                                                                                          | Lebensdauer [a]       |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Dezentrale Wärmepumpen (Luft-Wasser-WP)                                                  | 18 [19]               |
| Dezentrale Hausbatterien (Lithium-Ionen-Technologie, AC-seitig angeschlossen)            | 15 (2015) / 20 (2018) |
| Zentrale Wärmepumpe (Sole-Wasser-WP)                                                     | 20 [19]               |
| Nahwärmenetz (Einzelrohr, Stahl, 1x verstärkte Wärmedämmung) incl. Pumpen und Peripherie | 40 [19]               |
| Erdsonden (Doppel-U-Sonde) incl. Pumpen und Peripherie                                   | 50 [19]               |
| Betriebsgebäude für zentrale Wärmeerzeugung                                              | 50 [19]               |
| Nahwärmeübergabestationen (getrennte Kreisläufe mit TWW-Erzeugung)                       | 20 [19]               |
| Quartiersbatterie (Vanadium-Redox-Flow-Technologie)                                      | 20                    |
| Quartiersbatterie (Lithium-Ionen-Technologie)                                            | 20                    |
| Gasbrennwerttherme                                                                       | 18 [19]               |
| Dezentrale Durchlauferhitzer für TWW                                                     | 15 [19]               |

## A.2 Öffentlichkeitsaktionsliste

### Veröffentlichungen

### Vorträge

|          |                                                                         |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Nov 2016 | 10. Netzwerktreffen Effizienzhaus Plus<br>(nicht öffentlich)            | Wuppertal |
| Jan 2017 | BAU 2017                                                                | München   |
|          | 11. Netzwerktreffen Effizienzhaus Plus<br>(öffentlich)                  |           |
| Mai 2017 | Berliner Energietage                                                    | Berlin    |
|          | Begleitforschung Effizienzhaus Plus - Ergebnisse und Tendenzen          |           |
| Nov 2017 | Workshop UCEEB                                                          | Prag      |
|          | Efficiency House Plus<br>A new generation of high performance buildings |           |

### Broschüren

Wege zum Effizienzhaus Plus

[https://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/effizienzhaus\\_plus\\_broschuere\\_bf.pdf](https://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/effizienzhaus_plus_broschuere_bf.pdf)

[https://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/effizienzhaus\\_plus\\_broschuere\\_en\\_bf.pdf](https://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/effizienzhaus_plus_broschuere_en_bf.pdf)

<https://www.ibp.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/energieeffizienz-und-raumklima/eer-projekte/living-lab.html>

[http://www.energieagentur.nrw/gebaeude/effizienzhaus\\_plus\\_eine\\_positive\\_bilanz\\_auch\\_fuer\\_den\\_geldbeutel](http://www.energieagentur.nrw/gebaeude/effizienzhaus_plus_eine_positive_bilanz_auch_fuer_den_geldbeutel)

[http://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb\\_Modellquartier\\_mit\\_ausgeglichener\\_Energiebilanz\\_1793984.html](http://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb_Modellquartier_mit_ausgeglichener_Energiebilanz_1793984.html)

[http://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb\\_Smartes\\_Zukunft\\_1834672.html](http://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb_Smartes_Zukunft_1834672.html)



<http://www.fertighaus.net/fertighauswelt-wuppertal-neue-erkenntnisse-fuer-die-energiewende/>

<http://zukunft-fertighaus.de/forschungsprojekt-intelligente-quartiersloesung-in-der-fertighauswelt-wuppertal/>

<https://www.wohnen-einrichten.de/index.php/wohnen/wohnen/375-fertighauswelt-wuppertal>

<https://www.solarserver.de/solar-magazin/nachrichten/archiv-2016/2016/kw50/solarstrom-speicher-fuer-die-gemeinschaft-fertighauswelt-wuppertal-zeigt-vernetzte-effizienzhaeuser-plus-im-quartier.html>

<http://www.effizienzhaus-plus.info/2013/08/06/neuer-musterhauspark-in-wuppertal-als-effizienzhaus-plus-siedlung-mit-modellcharakter/>

<http://www.greentech-germany.com/solarstrom-speicher-fuer-die-gemeinschaft-fertighauswelt-wuppertal-zeigt-vernetzte-effizienzhaeuser-plus-im-quartier-a3420255>

<https://www.wuppertal.de/wirtschaft-stadtentwicklung/meldungen-alt/102370100000457637.php>

<https://www.bauratgeber-deutschland.de/hausbau-news/fertighaus-zum-anfassen-wuppertal-bekommt-fertighauswelt/>

<http://www.wuppertal-aktiv.de/nc/detail/browse/2/article/121-bb-exor-und-die-fertighauswelt-wuppertal/86/>

<http://www.windkraft-journal.de/2017/12/27/wie-ein-gebäude-mehr-energie-produzieren-kann-als-es-verbraucht/114695>

## A.3 Steckbriefe

|        |               |
|--------|---------------|
| A.3.1  | SchwörerHaus  |
| A.3.2  | FingerHaus    |
| A.3.3  | FingerhutHaus |
| A.3.4  | WeberHaus     |
| A.3.5  | PartnerHaus   |
| A.3.6  | HufHaus       |
| A.3.7  | Büdenbender   |
| A.3.8  | Kampa         |
| A.3.9  | ProHaus       |
| A.3.10 | RenschHaus    |
| A.3.11 | Bien-Zenker   |
| A.3.12 | holz&raum     |
| A.3.13 | HanseHaus     |
| A.3.14 | Allkauf       |
| A.3.15 | Okal          |
| A.3.16 | NordHaus      |
| A.3.17 | SchwabenHaus  |
| A.3.18 | Gussek        |
| A.3.19 | DanHaus       |



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## Plan E-20-189.1 SchwörerHaus



| »Effizienzhaus Plus Plan E-20-189.1 SchwörerHaus« |                                                                                      |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                                         | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 2), 42279 Wuppertal-Oberbarmen |
| Bauherr und Ansprechpartner:                      | SchwörerHaus KG, Hans-Schwörer-Str. 8, 72531 Hohenstein<br>Frau Carola Kochner       |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 276 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 261 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 815 m <sup>3</sup>   |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,72 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss:           | 3.140 kWh/a*         |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von ca. 18.500 km (17kWh/100km)



Süd-Ost Ansicht Effizienzhaus Plus Plan E-20-189.1

### Projektübersicht

Das Musterhaus des Typs Plan E-20-189.1 wurde 2013 auf der FertighausWelt in Wuppertal errichtet. Es entspricht einem Effizienzhaus Plus und erzeugt über das Jahr mehr Energie als es verbraucht. Der Überschuss kann beispielsweise für eine Elektrotankstelle für Elektrofahrzeuge genutzt werden.

Die gesamte Gebäudehülle ist hoch wärmedämmend und wird mit einer kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung in Verbindung mit einer Luft/Luft Wärmepumpe und einer Luft/Wasser Wärmepumpe für die wassergeführte Fußbodenheizung im Erd-, Ober- und Dachgeschoss beheizt.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

|                      |              |
|----------------------|--------------|
| Kostengruppe KG 300: | 560.000,-- € |
| Kostengruppe KG 400: | 198.000,-- € |

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architektin: SchwörerHaus KG, Franca Wacker, [www.schwoererhaus.de](http://www.schwoererhaus.de)
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: SchwörerHaus KG

## Literatur, Quellenangaben

- [1] SchwörerHaus KG
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

## Abbildungsnachweis

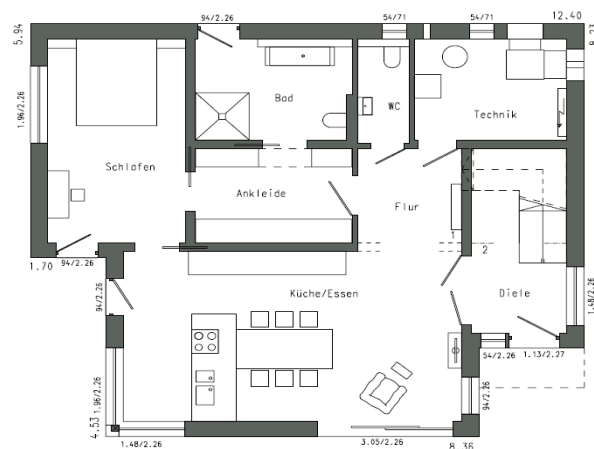
- Fotos und Grundrisse: SchwörerHaus KG
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

## Architektur

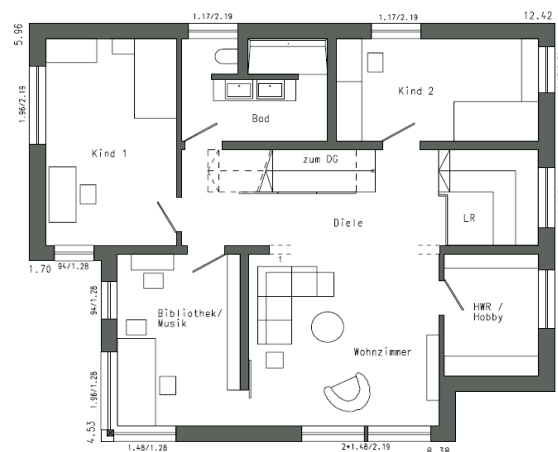
Mit seinem Flachdach, der Gestaltung in den Farben Schwarz und Weiß und einer Technikfassade mit Photovoltaikmodulen in Glasoptik passt sich das Gebäude in eine urbane Umgebung geeignet ein. Der kubische Baukörper wird durch Vor- und Rücksprünge gegliedert, die den Kontakt zum Außenbereich erweitern und einen geschützten Eingangsbereich entstehen lassen. Übereck-Verglasungen als Gestaltungselement sorgen für viel Transparenz.

Die ca. 186 m<sup>2</sup> große Wohnfläche bietet Platz für modernes Wohnen mit unterschiedlichen Anforderungen und wechselnden Familienkonstellationen. Im Erdgeschoss lädt ein großzügiger Wohn-/Ess-/Kochbereich zur Geselligkeit ein. Räumlich abgegrenzt dazu ist ein barrierefreier Schlafbereich mit Bad und Ankleide angeordnet. Das Obergeschoss dient den Bewohnern als Rückzugsbereich. Zwei weitere Zimmer, eine Bibliothek mit Lesebereich, ein Hobbyraum und ein großzügiges Wohnzimmer lassen zur Ruhe kommen. So stellt das Haus auch Familien mit Kindern viel Platz und flexible Räumlichkeiten zur Verfügung. Das abgeschlossene Treppenhaus bietet zudem die Möglichkeit, das Obergeschoss bei Bedarf als eine zweite Wohneinheit abzutrennen.

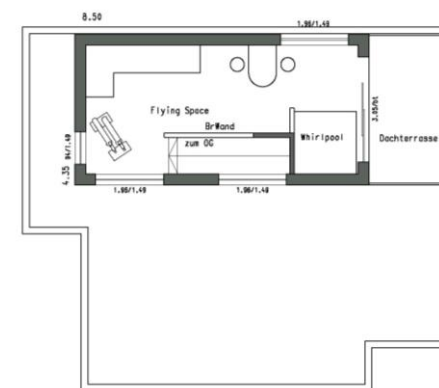
Das aufgesetzte „FlyingSpace“-Modul im Flachdachbereich bereichert den Zweigeschosser um annähernd 25 m<sup>2</sup> Wellnessoase mit einer Terrasse.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss



2. Obergeschoss-Grundriss („FlyingSpace“)

**Bauteile**

Die Bauteile der Gebäudehülle wurden wärmebrückenreduziert und mit geringen Wärmedurchgangskoeffizienten ausgeführt.

Die in Holzständerbauweise errichtete Außenwand hat eine Gesamtstärke von 387 mm. Sie wird aus einer 240 mm starken Holzfachwerk-konstruktion erstellt auf deren Innenseite eine zweite Dämmschicht als separate Installationsebene aufgebracht wird. Außenseitig ist sie mit einem 35 mm dicken Wärmedämmverbundsystem bzw. mit fassaden-integrierten Photovoltaikmodulen versehen. Der U-Wert der Außenwand beträgt 0,11 W/m²K.

Die Fenster wurden mit einer 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung ausgeführt.

Das Flachdach ist als Holzbalkendecke mit einer 60 mm dicken Mineralwolledämmschicht zwischen den Holzbalken und einer 180 mm starken Aufdachdämmung mit Dachabdichtungsbahn ausgeführt. Der U-Wert des Daches hat eine Größe von 0,14 W/m²K.

Auf der Bodenplatte aus Beton wurde eine 70 mm dicke Dämmschicht eingebaut. Darauf liegt eine 220 mm dicke Holzbalkendecke auf, auf der raumseitig ein Trockenestrich angeordnet wurde. Der U-Wert der Konstruktion beträgt 0,12 W/m²K.

Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und jeweiliger U-Wert

| Bauteil                              | Aufbau / Material                                      | Dicke [mm] | U-Wert [W/m²K] |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------|----------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)  | Gipskartonplatte                                       | 9,5        | 0,11           |
|                                      | Spanplatte                                             | 16         |                |
|                                      | Lattung mit Mineralwolledämmung WLG 035                | 60         |                |
|                                      | Holzrahmenkonstruktion mit Mineralwolledämmung WLG 035 | 240        |                |
|                                      | Spanplatte                                             | 16         |                |
|                                      | Polystyrol-Hartschaum-Dämmung WLG 040                  | 30         |                |
|                                      | Putz bzw. Holzschalung/ PV-Elemente                    | 5          |                |
| Fenster                              | Holz-Fenster mit Dreifachverglasung (g-Wert: 0,50)     | -          | 0,83           |
| Flachdach<br>(von oben nach unten)   | Abdichtungsbahn                                        | 1,8        | 0,14           |
|                                      | Polystyrol-Hartschaum-Dämmung WLG 035                  | 180        |                |
|                                      | Spanplatte                                             | 25         |                |
|                                      | Mineralwolledämmung WLG 040 zwischen Tragkonstruktion  | 60         |                |
|                                      | Gipskartonplatte                                       | 12,5       |                |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten) | Gipsfaserplatte (Trockenestrich)                       | 25         | 0,12           |
|                                      | Trittschalldämmplatte                                  | 33         |                |
|                                      | PUR-Hartschaum-Dämmung WLG 025                         | 20         |                |
|                                      | Spanplatte                                             | 25         |                |
|                                      | Mineralwolle-Dämmung WLG 040 zwischen Holzbalken       | 220        |                |
|                                      | Mineralwolle-Dämmung WLG 040                           | 70         |                |
|                                      | Betonplatte                                            | 180        |                |

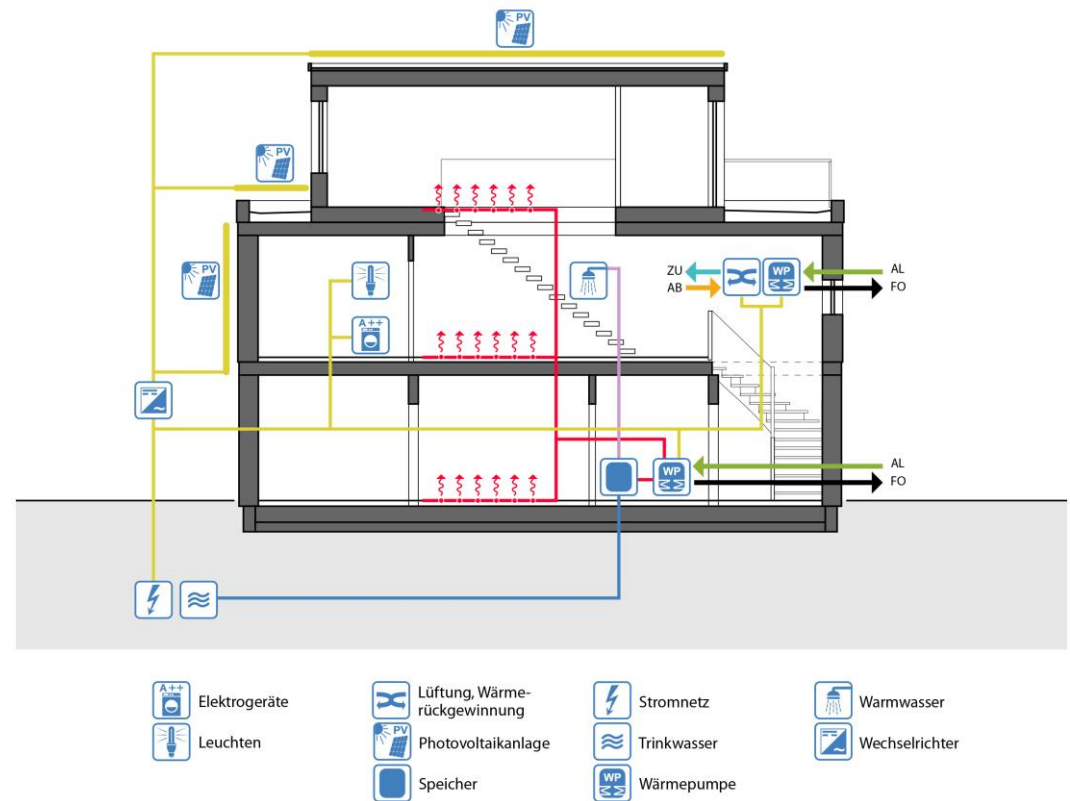
### Anlagentechnik

Die Beheizung des Hauses erfolgt über eine Luft/Wasser Wärmepumpe mit externem 300l Brauchwasserspeicher. Die Wärmeverteilung erfolgt über eine wassergeführte Fußbodenheizung, welche vollflächig im Erd-, Ober- und Dachgeschoss installiert ist. Die Fußbodenheizung ist durch eine hydraulische Weiche an die Luft/Wasser Wärmepumpe angeschlossen. Dieses dezentrale Pumpensystem sorgt für eine raumweise, optimale Steuerung und regelt hierdurch auch automatisch auf eine bedarfsgerechte Soll-Vorlauftemperatur.

Eine Be- und Entlüftungsanlage mit zentraler Wärmerückgewinnung und nachgeschalteter Kleinstwärmepumpe versorgen das Haus durchgehend mit frischer Außenluft und transportieren die verbrauchte Raumluft wieder nach draußen. Durch die Wärmerückgewinnung kann die angesaugte, frische Außenluft mit der Wärme der verbrauchten Raumluft angeheizt werden. Für die Beheizung in der Übergangszeit ist somit ebenfalls gesorgt.

Über eine 96 m<sup>2</sup> große Photovoltaikanlage, bestehend aus Fassaden integrierten Modulen an der Ost- und Westseite des Gebäudes und aufgeständerten Modulen auf dem Flachdach wird im Jahr 9.595 kWh/a Strom erzeugt.

Zur Steigerung des Wohnkomforts ist das Gebäude mit dem smarten System „HomeOne“ ausgestattet, das modernes Home Entertainment und automatische Haussteuerung auf einer gemeinsamen Bedienoberfläche integriert. Per Mobiltelefon haben die Bewohner jederzeit Zugriff auf die Schaltzentrale ihres Hauses. Diese Hausautomation beinhaltet eine Vielzahl an Gebäudefunktionen wie Licht- und Jalousie-/Rollladensteuerung, Energieverbrauchsmessung, Klimasteuerung, Überwachung von Fenster- und Türkontakten, oder auch Zentralfunktionen wie Szenensteuerungen (alle an/aus, alle hoch/runter, alle auf/zu).



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                    |             |                          | Deckung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |                          |
|-----------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Komponente                                                | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Stromertrag             |                          |
|                                                           | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | [kWh/a]                 | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung, Warmwasser und Lüftung          | 668         | 2,6                      | PV-Dach/Fassade <sup>(5)</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 9.595 <sup>(2)</sup>    | 100 <sup>(2)</sup>       |
|                                                           |             |                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | (9.475 <sup>(3)</sup> ) | (99 <sup>(3)</sup> )     |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                          | 2.500       | 9,6                      | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach/Fassade 96 m²<br><sup>(5)</sup> Die Ertragsprognose der PV-Anlage wurde aufgrund der nicht bautypischen Verschattung durch den Werbe-Pylon der FertighausWelt Wuppertal um 5,0 % reduziert. |                         |                          |
| Warmwasser und Heizung                                    | 3.287       | 12,6                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                         |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 260,9 m² |             |                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                         |                          |
| Gesamt                                                    | 6.455 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 9.595 kWh/a             |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

Plan E-20-189.1 SchwörerHaus in der FertighausWelt in Wuppertal  
(Quelle: SchwörerHaus KG)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

Forschungsinitiative »Zukunft Bau« – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

KfW Bankengruppe – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## NEO 312 FingerHaus



| »Effizienzhaus Plus NEO 312 FingerHaus« |                                                                                      |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                               | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 3), 42279 Wuppertal-Oberbarmen |
| Bauherr und Ansprechpartner:            | FingerHaus GmbH, Austraße 45, 35066 Frankenberg/Eder<br>Herr H. Fokken               |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 207 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 172 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 578,1 m <sup>3</sup> |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,75 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss:           | 1.808 kWh/a*         |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von 10.635 km (17kWh/100km)



Süd-Ost Ansicht Effizienzhaus Plus NEO 312

### Projektübersicht

Das Musterhaus NEO 312 steht seit 2013 in der neuen FertighausWelt Wuppertal. Es erfüllt mit der energiesparenden Gebäudehülle und der regenerativen Erdwärmepumpe mit Kühlfunktion alle Anforderungen eines Effizienzhauses. Zusätzlich spart die kontrollierte Be- und Entlüftungsanlage weitere Energie ein und sorgt für ein gesundes Raumklima. Mit der Photovoltaikanlage auf dem Dach des Hauses wird das Gebäude zu einem zukunftsweisenden Effizienzhaus Plus.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Kostengruppe KG 300: 269.300,-- €

Kostengruppe KG 400: 51.300,-- €

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architekt: FingerHaus GmbH
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima, [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: FingerHaus GmbH

## Literatur, Quellenangaben

- [1] FingerHaus GmbH, [www.fingerhaus.de](http://www.fingerhaus.de)
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

## Abbildungsnachweis

- Fotos und Grundrisse: FingerHaus GmbH
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

### Architektur

Das klassische Einfamilienhaus mit Satteldach und einer Kniestockhöhe von 1,30 m bietet knapp 172 m<sup>2</sup> Wohnfläche und ist geeignet für eine vierköpfige Familie. Das Hauskonzept zeichnet sich durch eine kompakte Bauform aus, die sich auch für kleine Grundstücke eignet. Architektonische Highlights des Hauses sind die Farbakzente im Putz, der überdachte Eingangsbereich und der großzügige Wintergarten.

Das Erdgeschoss misst 93 m<sup>2</sup> Wohnfläche und bietet neben dem lichtdurchfluteten 40 m<sup>2</sup> großen Wohn-Essbereich auch Platz für eine geräumige Küche, ein Arbeitszimmer und einen Abstellraum unter der Geschosstreppe.

Im Dachgeschoss befinden sich auf ca. 79 m<sup>2</sup> Wohnfläche drei Schlaf- bzw. Kinderzimmer. An das Elternschlafzimmer grenzt ein eigenes Badezimmer mit Badewanne und Duschnische. Für die Kinder steht ebenso ein eigenes Duschbad im Dachgeschoss bereit.



Erdgeschoss-Grundriss



Dachgeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Die Transmissionswärmeverluste werden durch die geringen U-Werte der Gebäudehülle sowie eine wärmebrückenreduzierte Konstruktion minimiert.

Die Außenwand wird aus einer 16 cm starken Holzrahmenkonstruktion erstellt, auf die außenseitig ein 8 cm dickes Wärmedämm-Verbundsystem aufgebracht wird. Die Außenwand hat einen U-Wert von 0,15 W/m<sup>2</sup>K.

Die Kunststofffenster werden mit einer 3-Scheiben-Isolierverglasung mit einem U<sub>g</sub>-Wert von 0,6 W/m<sup>2</sup>K ausgeführt. Der U<sub>w</sub>-Wert des Fensters beträgt 0,91 W/m<sup>2</sup>K.

Das um 38° geneigte Satteldach erhält insgesamt eine 24 cm dicke Dämmschicht. Der U-Wert des Daches beträgt 0,17 W/m<sup>2</sup>K.

Unter der Fundamentplatte ist eine lastabtragende Perimeterdämmung angeordnet, seitlich erhält sie eine Randdämmung. Der Bodenaufbau oberhalb der Fundamentplatte besteht aus einer 8 cm dicken Wärmedämmung, Estrich und Bodenbelag. Die Bodenkonstruktion erreicht damit einen U-Wert von 0,18 W/m<sup>2</sup>K.

## Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und jeweiliger U-Wert

| Bauteil                              | Aufbau / Material                                      | Dicke [mm] | U-Wert [W/m <sup>2</sup> K] |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)  | Gipskartonplatte                                       | 12,5       | 0,15                        |
|                                      | PE-Folie                                               | 0,3        |                             |
|                                      | Holzwerkstoffplatte                                    | 13         |                             |
|                                      | Holzrahmenkonstruktion mit Mineralwolledämmung WLG 035 | 160        |                             |
|                                      | Holzwerkstoffplatte                                    | 16         |                             |
|                                      | Polystyrol-Hartschaumplatte                            | 80         |                             |
|                                      | Putz/ Armierung                                        | 5          |                             |
| Fenster                              | Holz-Alu-Fenster mit Dreifachverglasung (g-Wert: 0,50) | -          | 0,91                        |
| Satteldach<br>(von oben nach unten)  | Abdichtungsbahn                                        | 1,80       | 0,17                        |
|                                      | Mineralwolle-Dämmung WLG 040 zwischen Tragkonstruktion | 180        |                             |
|                                      | Holzfaserdämmung WLG 040                               | 60         |                             |
|                                      | PE-Folie                                               | 0,3        |                             |
|                                      | Gipskartonplatte                                       | 12,5       |                             |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten) | Estrich                                                | 40         | 0,18                        |
|                                      | PE-Folie                                               | 0,3        |                             |
|                                      | Systemplatte Fußbodenheizung                           | 30         |                             |
|                                      | Polystyrol-Hartschaumplatte                            | 80         |                             |
|                                      | Bitumendachbahn                                        | 2          |                             |
|                                      | Betonplatte                                            | 200        |                             |
|                                      | Polystyrol-Hartschaumplatte                            | 100        |                             |



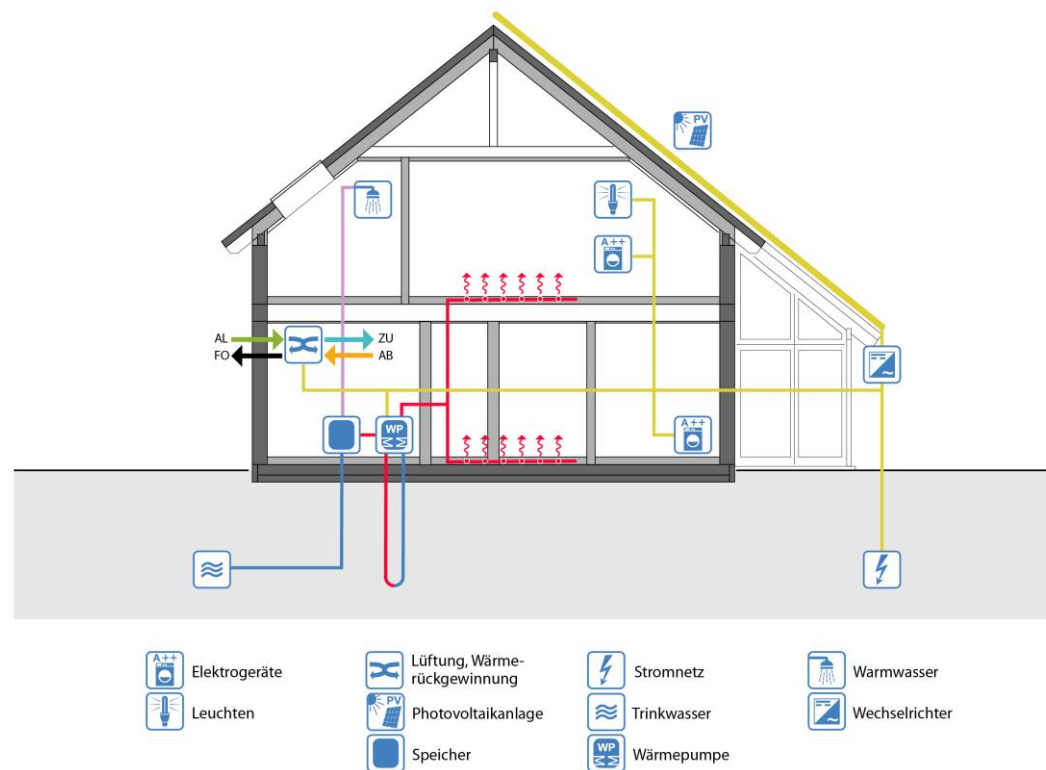
### Anlagentechnik

Die energiesparende Gebäudehülle bildet die Grundlage für ein Haus, das dank innovativer und regenerativer Haustechnik zum Effizienzhaus Plus wird. Eine hocheffiziente Erdreich-Wärmepumpe mit integrierter Kühlfunktion deckt den Bedarf für Heizung und Warmwasser. Die Wärme wird über eine Flächenheizung mit flexibler Regelung in die Räume übertragen.

Auf dem Dach erzeugt eine 56 m<sup>2</sup> große Photovoltaik-Anlage mit einer Leistung von 8,2 kWp mehr Energie als für den Betrieb der Wärmepumpe sowie für den Bedarf an Hausstrom benötigt wird.

Eine kontrollierte, bedarfsgesteuerte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung versorgt die Räume mit ausreichend frischer Luft.

Die intelligente Haussteuerung, mit der die gesamte Haustechnik wie Licht, Heizung, Rollläden etc. gesteuert werden kann, erhöht den Komfort der Bewohner.



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                  |             |                          | Deckung    |                          |                           |
|---------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|------------|--------------------------|---------------------------|
| Komponente                                              | Strombedarf |                          | Komponente | Stromertrag              |                           |
|                                                         | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |            | [kWh/a]                  | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup>  |
| Hilfsenergie für Heizung, Warmwasser und Lüftung        | 681         | 3,68                     | PV-Dach    | 7.369 <sup>(2),(3)</sup> | 131,59 <sup>(2),(3)</sup> |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                        | 2.500       | 13,51                    |            |                          |                           |
| Warmwasser, Heizung und Kühlung                         | 2.380       | 12,86                    |            |                          |                           |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 185 m² |             |                          |            |                          |                           |
| Gesamt                                                  | 5.561 kWh/a |                          | Gesamt     | 7.369 kWh/a              |                           |

<sup>(2)</sup> Herstellerangaben<sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche 56 m²

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

NEO 312 FingerHaus in der FertighausWelt in Wuppertal  
(Quelle: FingerHaus GmbH)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit** – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

**Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung** – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

**Forschungsinitiative »Zukunft Bau«** – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

**Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima** – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

**KfW Bankengruppe** – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

**Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)** – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## R 140.20 Fingerhut Haus



| »Effizienzhaus Plus R 140.20 Fingerhut Haus « |                                                                                           |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                                     | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 4), 42279 Wuppertal-Oberbarmen      |
| Bauherr und Ansprechpartner:                  | Fingerhut Haus GmbH & CO. KG, Hauptstraße 46, 57520 Neunkhausen<br>Herr Andreas Schneider |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 140 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 195 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 733 m <sup>3</sup>   |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,77 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss:           | 3.827 kWh/a*         |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von ca. 22.500 km (17kWh/100km)



Süd Ansicht Effizienzhaus Plus R 140.20

### Projektübersicht

Das zweigeschossige Musterhaus R 140.20 befindet sich in der neu errichteten FertighausWelt in Wuppertal und wurde im Jahr 2013 errichtet. Die energiesparende Gebäudehülle bildet die Grundlage für ein Haus, das dank innovativer und regenerativer Haustechnik zum Effizienzhaus Plus wird. Auf dem Dach erzeugt die Photovoltaikanlage mehr Energie als für den Betrieb der modulierenden Wärmepumpe sowie für den Bedarf an Haushaltsstrom benötigt werden. Zusätzlich hilft eine kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung weitere Energie einzusparen und sorgt für ein gesundes Raumklima. Ein derzeit noch installiertes Windrad ist nicht in Betrieb. Der Stromüberschuss kann an einer E-Tankstelle für das Aufladen eines Elektro Autos genutzt werden.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| Ausbauhaus:                       | 217.000 € |
| Schlüsselfertig incl. Dachausbau: | 388.000 € |
| Effizienzhaus Plus:               | 490.000 € |

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architekt: Fingerhut Haus GmbH & Co. KG
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima, [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: Fingerhut Haus GmbH, Fa. Salmon in Rennerod, Fa. Exor GmbH in Wuppertal, Fa. Elektro Hoffmann GmbH in Oberhonnefeld

## Literatur, Quellenangaben

- [1] Fingerhut Haus, <http://www.fingerhuthaus.de/>
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

## Abbildungsnachweis

- Fotos und Grundrisse: Fingerhut Haus GmbH & Co. KG
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

**Architektur**

Das Energieeffizienzhaus Plus R 140.20 charakterisiert eine moderne und offene Architektur auf knapp 200 m<sup>2</sup> Wohnfläche. Im weitläufigen Erdgeschoss stehen Offenheit sowie die Kombination aus Kochen, Essen und Wohnen in Einklang. Ein umfangreicher Hauswirtschaftsraum und ein Büro sorgen für den praktischen Part und bieten zusätzlichen Komfort. Angeschlossene Anbauten und eine Pergola liefern den Kontakt nach außen.

Im Dachgeschoss wird der offene Stil mit einer Galerie fortgesetzt und bietet unter dem Satteldach die Möglichkeit zum Schlafen und Wohnen. Zwei Kinderzimmer, ein Schlafzimmer und die von dort aus begehbare großzügige Ankleide ermöglichen allen Familienmitgliedern ihren ganz eigenen Wohnraum. Zwei komfortable Bäder runden das moderne Dachgeschoss ab.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Das Haus verfügt über eine hocheffizient gedämmte Gebäudehülle, die dem Dämmstandard eines KfW-Effizienzhaus 40 entspricht. Durch die niedrigen U-Werte der Gebäudehülle und einer wärmebrückenreduzierten Konstruktion werden die Transmissionswärmeverluste deutlich reduziert.

Die Außenwand besteht aus einer 16 cm starken Holzrahmenfachwerkkonstruktion, die außenseitig mit einem 14 cm starken Wärmedämmverbundsystem versehen ist. Der U-Wert der Konstruktion beträgt 0,12 W/m²K.

Die eingebauten Kunststoffenster sind mit einer 3-Scheiben-Isolierverglasung ausgestattet. Der U<sub>w</sub>-Wert des Fensters beträgt 0,80 W/m²K.

Das 30° geneigte Satteldach verfügt in Summe über eine 24 cm dicke Mineralwolle-Dämmschicht und hat einen U-Wert von 0,17 W/m²K.

Die Bodenplatte erreicht aufgrund einer Zusatzdämmung unterhalb des Betons einen U-Wert von 0,15 W/m²K.

## Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

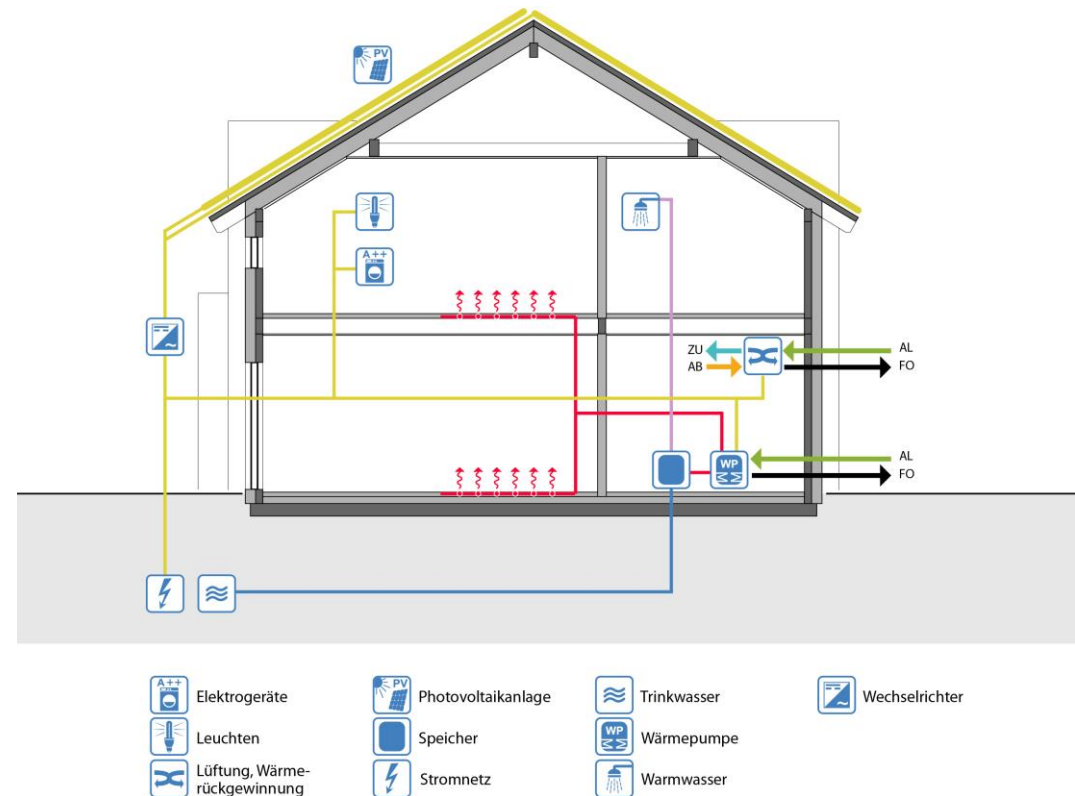
| Bauteil                              | Aufbau / Material                                               | Dicke [mm] | U-Wert [W/m²K] |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------|----------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)  | Gipskartonplatte                                                | 9,5        | 0,12           |
|                                      | PE-Folie                                                        | 0,1        |                |
|                                      | Spanplatte                                                      | 13         |                |
|                                      | Holzrahmenkonstruktion mit mineralischem Faserdämmstoff WLG 032 | 160        |                |
|                                      | Spanplatte                                                      | 13         |                |
|                                      | Polystyrol-Partikelschaum-Dämmung WLG 035                       | 140        |                |
|                                      | Kunstharzputz                                                   | 5          |                |
| Fenster                              | Kunststofffenster mit 3-Scheiben-Isolierverglasung              | -          | 0,80           |
| Satteldach<br>(von oben nach unten)  | Betondachstein                                                  | -          | 0,17           |
|                                      | Traglattung                                                     | 30         |                |
|                                      | Konterlattung                                                   | 30         |                |
|                                      | Diffusionsoffene Unterspannbahn                                 | -          |                |
|                                      | Mineral. & pflanzl. Faserdämmstoff WLG 035 zwischen Sparren     | 240        |                |
|                                      | PE-Folie                                                        | 0,5        |                |
|                                      | Gipskartonplatte                                                | 25         |                |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten) | Oberbelag                                                       | -          | 0,15           |
|                                      | Anhydritestrich                                                 | 62         |                |
|                                      | Fußbodenheizung Trägerplatte                                    | 30         |                |
|                                      | Polystyrol-Dämmung WLG 040                                      | 70         |                |
|                                      | Betonplatte                                                     | 200        |                |
|                                      | Polystyrol-Dämmung WLG 040                                      | 160        |                |

### Anlagentechnik

Im Gebäude ist als Wärmeerzeuger eine Luft-Wasser-Wärmepumpe, die einen 300 l fassenden Warmwasserspeicher speist aufgestellt. Die Wärmeübertragung erfolgt über eine Niedertemperatur-Fußbodenheizung.

Eine kontrollierte Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sorgt für die Versorgung des Gebäudes mit ausreichender Frischluft. 80 % der in der Abluft enthaltenen Wärme wird durch die Anlage zurück gewonnen und den Räumen über die Zuluft wieder zugeführt.

Auf der Ostseite des Daches sind auf einer Fläche 33,5 m<sup>2</sup> Photovoltaikelemente als Indachelemente in das Dach integriert. Die Anlage erreicht mit seinen 20 hocheffektiven Modulen (je 270 Watt) eine Nennleistung von 5,4 kWp und einen rechnerischen Stromertrag von 3.802 kWh/a. Auf der Westseite des Daches kommen 24 Module (je 280 Watt) mit einer Nennleistung von 6,7 kWp und einem Stromertrag von 4.990 kWh/a zur Ausführung. Damit werden am Gebäude bei einer Gesamt-Nennleistung von 12,1 kW<sub>p</sub> in Summe rechnerisch 8.792 kWh Strom selbst generiert.



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                    |             |                          | Deckung                                                                                                                                                                         |                                                 |                                                 |
|-----------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Komponente                                                | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                                                      | Stromertrag                                     |                                                 |
|                                                           | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                                                 | [kWh/a]                                         | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup>                        |
| Hilfsenergie für Heizung, Warmwasser und Lüftung          | 455         | 1,94                     | PV-Dach Ost                                                                                                                                                                     | 3.802 <sup>(2)</sup><br>(4.034 <sup>(3)</sup> ) | 113,5 <sup>(2)</sup><br>(120,4 <sup>(3)</sup> ) |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                          | 2.500       | 10,66                    | PV-Dach West                                                                                                                                                                    | 4.990 <sup>(2)</sup><br>(4.519 <sup>(3)</sup> ) | 124,7 <sup>(2)</sup><br>(113,0 <sup>(3)</sup> ) |
| Heizung und Warmwasser                                    | 2.010       | 8,57                     | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach Ost 33,5 m² und Dach West 40 m² |                                                 |                                                 |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 234,5 m² |             |                          |                                                                                                                                                                                 |                                                 |                                                 |
| Gesamt                                                    | 4.965 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                                          | 8.792 kWh/a                                     |                                                 |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

Juni 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

R 140.20 Effizienzhaus Plus Fa. Fingerhut Haus GmbH & Co. KG  
(Quelle: Fa. Fingerhut Haus )

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

Forschungsinitiative »Zukunft Bau« – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

KfW Bankengruppe – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## CityLife 250 WeberHaus



| »Effizienzhaus Plus CityLife 250 WeberHaus « |                                                                                   |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                                    | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 5), 42279 Wuppertal         |
| Bauherr und Ansprechpartner:                 | WeberHaus GmbH & Co. KG, Am Erlenpark 1, 77866 Rheinau-Linx<br>Herr Andreas Bayer |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 273 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 217 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 865,5 m <sup>3</sup> |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,70 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss::          | 1.064 kWh/a*         |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von ca. 6.250 km (17kWh/100km)



Ansicht WeberHaus „CityLife 250“

### Projektübersicht

Das zweigeschossige Wohngebäude „CityLife 250“ steht in der neu errichteten Fertighauswelt in Wuppertal und wurde im Jahr 2013 gebaut. Durch die Verbindung von energiesparender Bauweise, dem Einsatz einer Photovoltaik-Anlage und der Nutzung von Umweltwärme, erzeugt das Gebäude mehr Energie als es für den Gebäudebetrieb benötigt. Eine intelligente Gebäudeautomation, sowie die Anbindungsmöglichkeit an einen Stromspeicher, ermöglichen einen hohen Eigenstromnutzungsanteil. Zusätzlich kann der vorhandene Energieüberschuss in einen Siedlungsspeicher eingespeist werden und steht bei Bedarf zur Verfügung.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

|                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| Baukosten                     | 500.000,-- € |
| Mehrkosten Effizienzhaus Plus | 45.000,-- €  |

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architekt: Architektur PRO, A. Hamid von Berg-Hadjoudj, 77815 Bühl, [www.architektur-pro.de](http://www.architektur-pro.de)
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: WeberHaus GmbH & Co. KG

## Literatur, Quellenangaben

- [1] WeberHaus, <https://www.weberhaus.de/>
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

## Abbildungsnachweis

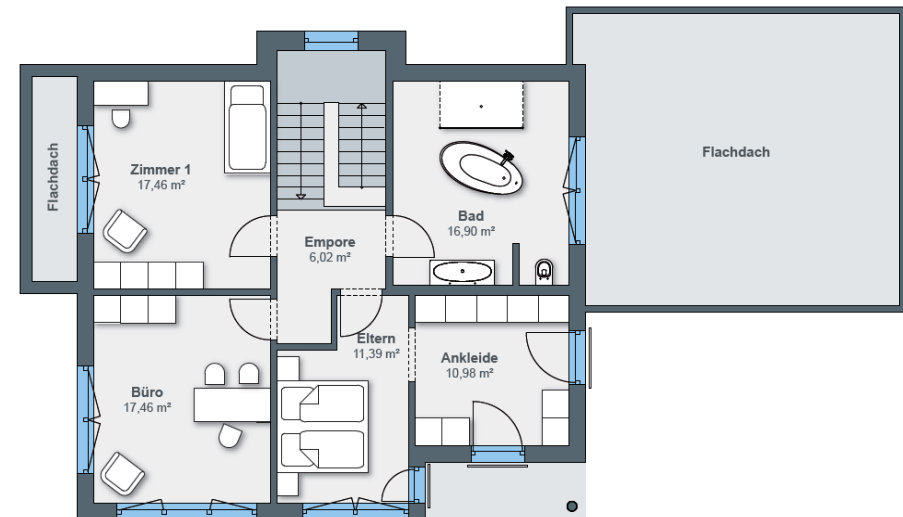
- Fotos und Grundrisse: WeberHaus
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

### Architektur

Die weiße Edelfputzfassade mit dunklen Akzenten des 2-geschossigen Gebäudes bildet einen modernen Kontrast zum anthrazitfarbenen Walmdach. Der fast quadratische Grundriss wird mit einem ca. 30 m<sup>2</sup> großen Garagenanbau, Erkeren sowie einer überdachten Terrasse ergänzt. Die ca. 86 m<sup>2</sup> große Erdgeschosssebene wird über eine weitläufige Diele erschlossen, von der aus alle weiteren Räume zugänglich sind. Diese wird von einem weiteren Zimmer, welches als Büro oder Gästezimmer genutzt werden kann, komplettiert. Das großzügige, lichtdurchflutete Wohnzimmer geht fließend in den Essbereich über, der direkt mit der halboffenen Küche verbunden ist. Eine Holzterrasse führt in die zweite Etage mit fast 88 m<sup>2</sup>. Neben dem Elternschlafzimmer mit moderner Ankleide gibt es zwei identisch große Zimmer sowie ein großzügiges Wohnbad.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Auf Grundlage einer gut gedämmten Außenhülle sowie einer wärmebrückenreduzierten Baukonstruktion können die Transmissionswärmeverluste stark reduziert werden.

Die Außenwand, mit einer Gesamtdicke von etwa 36 cm ist aus einer mehrschichtigen Holzrahmenkonstruktion aufgebaut. Mit einer 16 cm starken Mineralwolledämmung sowie einer ebenfalls 16 cm dicken Holzweichfaserdämmung wird ein U-Wert der Außenwand von 0,12 W/m²K erzielt.

Die Holz-Aluminium-Fenster mit einer 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung weisen einen U<sub>w</sub>-Wert von 0,8 W/m²K auf.

Die oberste Geschossdecke zum Dach wurde mit einer 24 cm dicken Mineralwolledämmschicht zwischen den Deckenbalken gedämmt. Auf einer oberseitig angeordneten Spanplattenlage ist eine zusätzliche 16 cm dicke Holzfaserdämmung angeordnet. Die Deckenkonstruktion besitzt damit einen U-Wert von 0,10 W/m²K.

Die Beton-Bodenplatte liegt auf einer 12 cm dicken Perimeterdämmung auf und wurde oberseitig mit einem schwimmenden Estrich mit einer 10 cm starke Dämmschicht versehen. Die Bodenplatte erreicht damit einen U-Wert von 0,16 W/m²K.

## Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

| Bauteil                                         | Aufbau / Material                                                    | Dicke [mm] | U-Wert [W/m²K] |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------|----------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)             | Gipskartonplatte                                                     | 9,5        | 0,12           |
|                                                 | Spanplatte                                                           | 16         |                |
|                                                 | Holzrahmenkonstruktion mit Mineralwolledämmung WLG 032               | 160        |                |
|                                                 | Holzweichfaser-Platte WLG 042                                        | 160        |                |
|                                                 | Armierung und Putz                                                   | 9          |                |
| Fenster                                         | Holz-Alu-Fenster mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung (g-Wert: 0,49) | -          | 0,8            |
| Decke zum Dachgeschoss<br>(von oben nach unten) | Holzfaserdämmung WLG 042                                             | 160        | 0,10           |
|                                                 | Spanplatte                                                           | 22         |                |
|                                                 | Mineralwolle WLG 035 zwischen Holzbalken                             | 240        |                |
|                                                 | Luft ruhend zwischen Unterkonstruktion                               | 24         |                |
|                                                 | Gipsplatte                                                           | 12,5       |                |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten)            | Gehbelag                                                             | 12         | 0,16           |
|                                                 | Zement-Estrich                                                       | 48         |                |
|                                                 | EPS-Dämmung (Trittschalldämmung) WLG 045                             | 30         |                |
|                                                 | EPS-Dämmung WLG 035                                                  | 70         |                |
|                                                 | Betonplatte                                                          | 200        |                |
|                                                 | Perimeterdämmung WLG 040                                             | 120        |                |

### Anlagentechnik

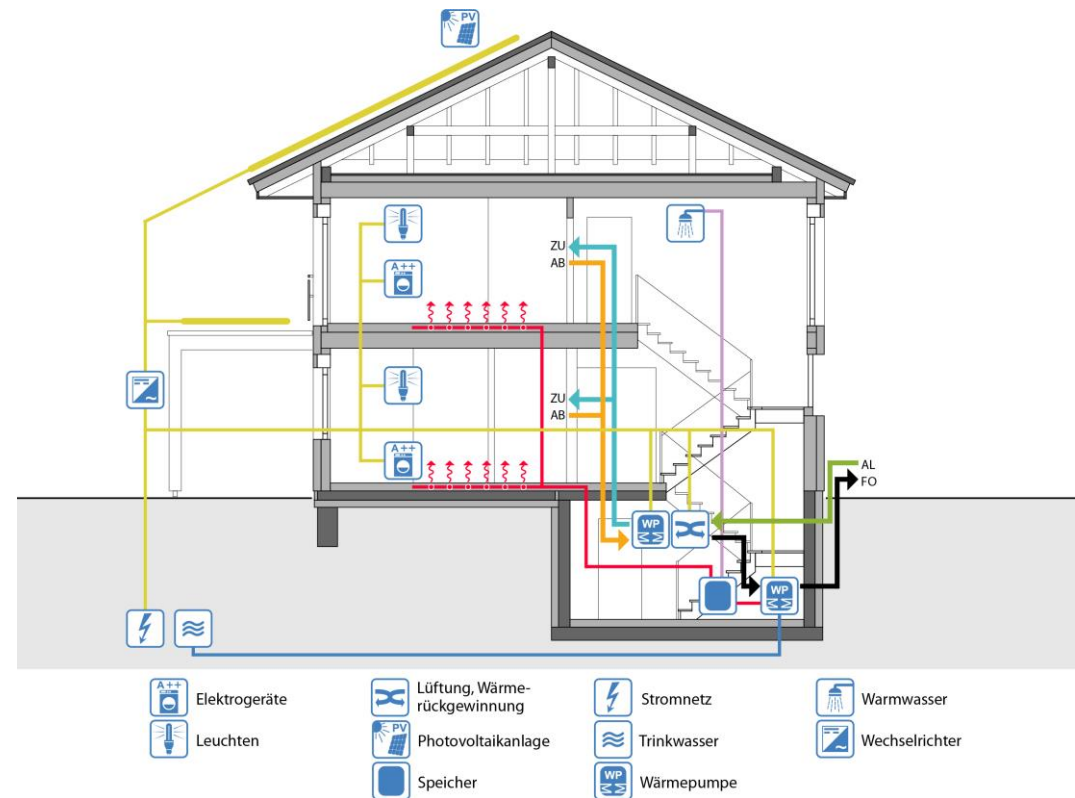
Den Haushaltsstrom und die Heizenergie erzeugt das Haus mit Hilfe von Hybrid-Modulen aus einer Kombination von Photovoltaik und Solarthermie sowie eine angeschlossene Wärmepumpen selbst und ermöglicht dadurch eine Maximierung des Eigenstromverbrauchs und eine zusätzliche Bereitstellung von Energieüberschüssen.

Eine Luft/Wasser Wärmepumpe sorgt, als ein zentrales Kompaktgerät mit Wärmerückgewinnung über einen Kreuzstromwärmetauscher, für die Versorgung des Hauses mit Wärme und Frischluft.

Die zurückgewonnene Wärme aus der Abluft wird zum einen für die Heizwärme und zum anderen für die Warmwasserbereitung verwendet. Dazu ist in das Gehäuse des Kompaktgerätes eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit 6,0 kW Heizleistung integriert. Mit dieser werden die Fußbodenheizung und ein 800 l Speicher mit Wärmeenergie versorgt. Die integrierte Be- und Entlüftung sorgt für permanent frische Luft im Haus.

Auf dem Dach sind auf einer Fläche von 41,3 m<sup>2</sup> Photovoltaik Module verbaut. Zusätzlich ist das Dach der Pergola (10 m<sup>2</sup>) mit semitransparenten Modulen versehen und auf der Garage sind 20,12 m<sup>2</sup> Photovoltaik Module aufgeständert. Insgesamt hat die Photovoltaikanlage eine Leistung von 11,1 kWp.

Das Gebäudeautomationssystem, My home control, sammelt alle Informationen aus den Räumen (Temperaturen, Luftqualität und Helligkeit), der Gebäudehülle (geöffnete Fenster, Außentemperaturen, Wind, Sonneneinstrahlung, etc.) und der Anlagentechnik (Temperaturen, Luftwechsel, etc.) und ist in der Lage, die verschiedensten Abläufe im Haus zentral zu steuern und untereinander zu koordinieren.





**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                    |             |                          | Deckung                                                                                                                                                                                  |                                                 |                                             |
|-----------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Komponente                                                | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                                                               | Stromertrag                                     |                                             |
|                                                           | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                                                          | [kWh/a]                                         | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup>                    |
| Hilfsenergie für Heizung und Warmwasser                   | 1.401       | 5,83                     | PV-Dach                                                                                                                                                                                  | 5.454 <sup>(2)</sup><br>(5.091 <sup>(3)</sup> ) | 132 <sup>(2)</sup><br>(123 <sup>(3)</sup> ) |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                          | 2.500       | 10,40                    | PV-Garage                                                                                                                                                                                | 2.561 <sup>(2)</sup><br>(2.452 <sup>(3)</sup> ) | 127<br>(122 <sup>(3)</sup> )                |
| Warmwasser und Heizung                                    | 4.550       | 18,94                    | PV-Pergola                                                                                                                                                                               | 1.500 <sup>(2)</sup><br>(1.205 <sup>(3)</sup> ) | 150<br>(120 <sup>(3)</sup> )                |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 240,2 m² |             |                          | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 41,26 m², Garage 20,12 m², Pergola 10 m² |                                                 |                                             |
| Gesamt                                                    | 8.451 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                                                   | 9.515 kWh/a                                     |                                             |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

CityLife 250 WeberHaus in der FertighausWelt in Wuppertal  
(Quelle: WeberHaus)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

Forschungsinitiative »Zukunft Bau« – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

KfW Bankengruppe – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## Wuppertal PartnerHAUS



| »Effizienzhaus Plus Wuppertal PartnerHAUS« |                                                                                      |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                                  | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 6), 42279 Wuppertal-Oberbarmen |
| Bauherr und Ansprechpartner:               | Partner-Haus GmbH & CO. KG, Kolpingstr. 3, 59964 Medebach<br>Herr Herbert Franke     |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 224 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 171 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 608 m <sup>3</sup>   |
| Hüllflächenfaktor $A/V$ :  | 0,74 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss:.          | 3.374 kWh/a*         |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von ca. 20.000.km (17kWh/100km)



Ansicht Partner-Haus

### Projektübersicht

Das Musterhaus „Wuppertal“ wurde 2013 in der FertighausWelt in Wuppertal als Effizienzhaus Plus erstellt. Durch eine Photovoltaikanlage in Verbindung mit einer energieeffizienten Gebäudehülle erzeugt das Gebäude mehr Strom, als es im Betrieb verbraucht. Mit dem selbst generierten Strom wird unter anderem die Heizungs-Kompaktanlage samt Warmwassererzeugung versorgt. Stromüberschüsse fließen in den Zentralspeicher des Ausstellungsgeländes.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Kostengruppe KG 300: 264.400,-- €

Kostengruppe KG 400: 61.500,-- €

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architekt: Partner Haus Fertigbau GmbH & Co. KG
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima, [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: Partner Haus Fertigbau GmbH & Co. KG

## Literatur, Quellenangaben

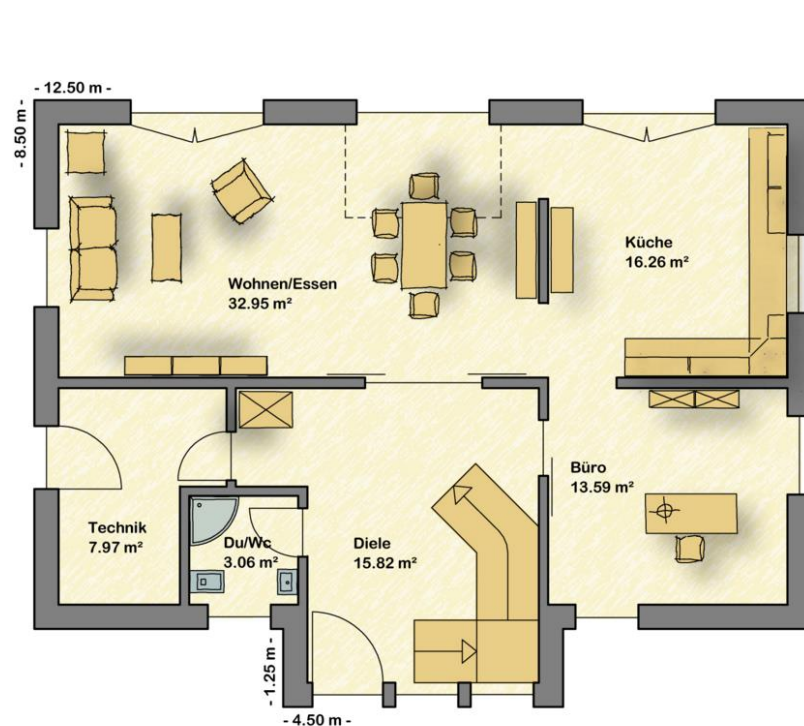
- [1] PartnerHAUS Fertigbau [www.partner-haus.de](http://www.partner-haus.de)
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

## Abbildungsnachweis

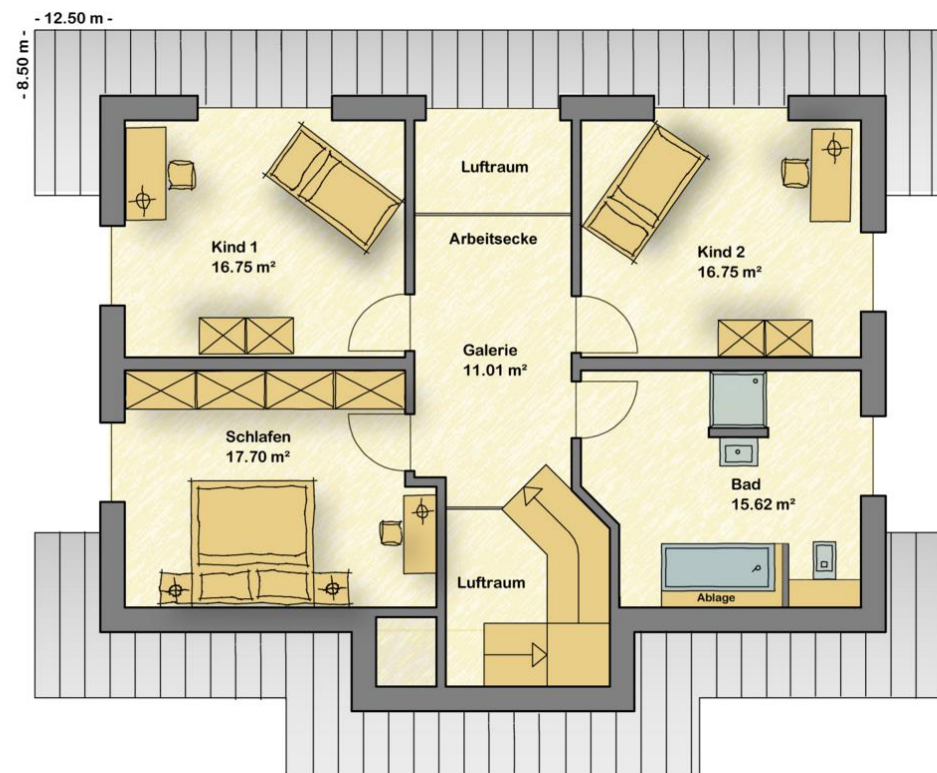
- Fotos und Grundrisse: PartnerHAUS Fertigbau
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

### Architektur

Im schlicht gehaltenen Baukörper sind an der Gartenseite große Fensterflächen angeordnet, die auf beiden Wohnebenen für solare Energiegewinne und durchgehend helle Räume sorgen. Das Gebäude wird über eine groß bemessene Diele, die viel Platz für Garderobe und Stauraum bietet erschlossen. In dem Vier-Personen-Haus schließt sich ein offener Wohnbereich als Zentrum des Familienlebens an. Im Dachgeschoss finden sich neben einem ca. 16 qm großen Familienbad das Eltern- und zwei Kinderzimmer. Der hohe Kniestock (1,60 m) schafft hier Raum für komfortables Wohnen.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Durch die geringen U-Werte der Gebäudehülle und einer wärmebrücken-reduzierten Konstruktion, werden die Transmissionswärmeverluste minimiert.

Die Außenwand wird aus einer 16 cm starken Holzrahmenkonstruktion erstellt, auf die außenseitig ein knapp 10 cm dickes Wärmedämm-Verbundsystem aufgebracht wird. Die Außenwand hat einen U-Wert von 0,12 W/m²K.

Die Fenster wurden mit einer 3-Scheiben-Isolierverglasung mit einem  $U_g$ -Wert von 0,6 W/m²K ausgeführt. Der  $U_w$ -Wert des Fensters beträgt 0,80 W/m²K.

Das um 25° geneigte Satteldach erhält insgesamt eine 28 cm dicke Dämmschicht. Der U-Wert des Daches beträgt 0,12 W/m²K.

Unter der Fundamentplatte ist eine 8 cm dicke lastabtragende Perimeterdämmung angeordnet. Der Bodenaufbau oberhalb der Bodenplatte besteht aus einer 8 cm dicken Wärmedämmung, Estrich und Gehbelag. Die Bodenkonstruktion erreicht damit einen U-Wert von 0,10 W/m²K.

## Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

| Bauteil                              | Aufbau / Material                                      | Dicke [mm] | U-Wert [W/m²K] |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------|----------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)  | Gipskartonplatte                                       | 12,5       | 0,12           |
|                                      | Spanplatte                                             | 13         |                |
|                                      | Holzrahmenkonstruktion mit Mineralwolledämmung WLG 035 | 100        |                |
|                                      | OSB-Platte                                             | 15         |                |
|                                      | Mineralwolledämmung WLG 035 zwischen Konstruktionsholz | 160        |                |
|                                      | Holzfaserdämmung WLG 040                               | 80         |                |
|                                      | Armierung und Putz                                     | 17         |                |
| Fenster                              | Fenster mit Dreifachverglasung (g-Wert: 0,49)          | -          | 0,80           |
| Dach<br>(von oben nach unten)        | Ziegeleindeckung                                       | -          | 0,12           |
|                                      | Lattung                                                | 50         |                |
|                                      | Konterlattung                                          | 50         |                |
|                                      | Unterspannbahn                                         | -          |                |
|                                      | Mineralwolle WLG 035 zwischen Sparren                  | 240        |                |
|                                      | Dampfbremse                                            | 0,25       |                |
|                                      | Mineralwolledämmung WLG 035 zwischen Unterkonstruktion | 40         |                |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten) | Gipskartonplatte                                       | 12,5       | 0,10           |
|                                      | Gehbelag                                               | -          |                |
|                                      | Zement-Estrich                                         | 70         |                |
|                                      | EPS-Dämmung (Trittschalldämmung) WLG 035               | 30         |                |
|                                      | PUR-Dämmung WLG 025                                    | 50         |                |
|                                      | Betonplatte                                            | 200        |                |
|                                      | Polystyrol-Dämmung                                     | 80         |                |

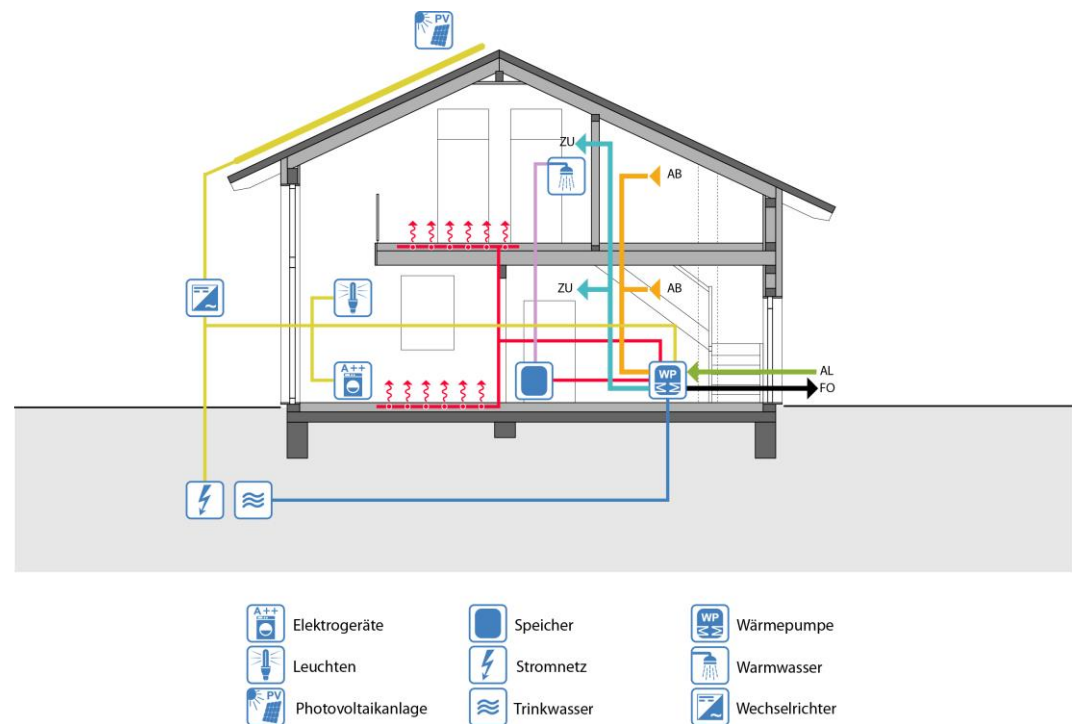


### Anlagentechnik

Das Gebäude wird über eine kompakte Luft-Wasser-Wärmepumpe, die die Funktionen Heizen, Lüften und Trinkwarmwasserversorgung sicherstellt versorgt. Über eine integrierte Kühlfunktion kann im Sommer ein angenehmes Raumklima erzeugt werden.

Die Heizenergie wird über eine Fußbodenheizung in den beiden Geschosse übertragen. Eine kontrollierter Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ist in die Wärmepumpe integriert und sorgt für gute Luftqualität und Lufthygiene. CO<sub>2</sub>-Sensoren und Luftfeuchtigkeitssensoren steuern die Lüftungsanlage bedarfsgerecht bei minimalem Energieaufwand und minimalen Energieverlusten in der Lüftung. Ein in die Wärmepumpe integrierter Speicher mit einem Volumen von 235 l und eine separat stehender Pufferspeicher mit einem Fassungsvermögen von 400 l stehen zur Heiz- und Trinkwarmwasserbereitung zur Verfügung.

Das Musterhaus Wuppertal verfügt über eine 63,5 m<sup>2</sup> große Photovoltaikanlage auf der Südseite des geneigten Daches mit einer installierten Leistung von 9,9 kWp.



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                  |             |                          | Deckung                                                                                                                                                 |                         |                          |
|---------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Komponente                                              | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                              | Stromertrag             |                          |
|                                                         | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                         | [kWh/a]                 | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung, Warmwasser, Lüftung           | 430         | 2,2                      | PV-Dach                                                                                                                                                 | 8.002 <sup>(2)</sup>    | 126 <sup>(2)</sup>       |
|                                                         |             |                          |                                                                                                                                                         | (9.002 <sup>(3)</sup> ) | (142 <sup>(3)</sup> )    |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                        | 2.500       | 12,8                     | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 63,5 m² |                         |                          |
| Warmwasser, Heizung                                     | 1.698       | 8,7                      |                                                                                                                                                         |                         |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 195 m² |             |                          |                                                                                                                                                         |                         |                          |
| Gesamt                                                  | 4.628 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                  | 8.002 kWh/a             |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

Musterhaus Wuppertal PartnerHAUS Fertigbau in der Fertighauswelt in Wuppertal  
(Quelle: PartnerHAUS Fertigbau)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit** – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

**Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung** – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

**Forschungsinitiative »Zukunft Bau«** – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

**Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima** – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

**KfW Bankengruppe** – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

**Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)** – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

modum: 8:10 HUF HAUS



| »HUF HAUS modum: 8:10«       |                                                                                      |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                    | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 7), 42279 Wuppertal-Oberbarmen |
| Bauherr und Ansprechpartner: | HUF HAUS GmbH & Co. KG, Mühlenweg 1, 56244 Hartenfels<br>Herr Christoph Schmidt      |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 139 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 177 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 805 m <sup>3</sup>   |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,66 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss:.          | 3.565 kWh/a*         |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von ca. 21.000 km (17kWh/100km)



Südansicht HUF HAUS „modum: 8:10“

### Projektübersicht

HUF HAUS hat bereits in den Siebzigerjahren die Vorteile der passiven Nutzung von Sonnenenergie, die die HUF Architektur durch ihre großen Glasflächen ermöglicht, erkannt. Seit Ende der Neunzigerjahre entwickelt das Unternehmen regenerative Energiekonzepte für Bauherren, die Technologien wie Photovoltaikanlagen und Wärmepumpen sowie intelligente Mess-, Steuer- und Regeltechnik einsetzen. Mit der 2013 eingeführten Baulinie „modum:“ verbindet der europäische Marktführer für moderne Fachwerkarchitektur designorientiertes Wohnen mit besonders flexibler Wohnraumgestaltung und zeigt eine intelligente Lösung auch für kleinere Grundstücke und stadtnahes Wohnen.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Grundpreis ab OK Bodenplatte 478.723,-- €

Mehrkosten Effizienzhaus Plus 92.800,-- €

**Zusätzliche Informationen**

Projektpartner

- Architekt: Karl Eckert
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima, [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: redblue energy, Müschenbach, [www.redblue-energy.com](http://www.redblue-energy.com)

Literatur, Quellenangaben

- [1] HUF Haus Katalog
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

Abbildungsnachweis

- Fotos und Grundrisse: HUF HAUS
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

**Architektur**

Nach Betreten des Hauses gelangt der Bewohner über den großzügigen Eingangsbereich mit Garderobe und Gästebadezimmer in das Herzstück des Hauses. Die Küche ist direkt an den Essbereich angeschlossen, der durch den bodentief verglasten Erker und die Deckenöffnung besonders offen und transparent wirkt. Das Wohnzimmer bietet zudem mit über 30 m<sup>2</sup> Wohnfläche genügend Raum zum Entspannen. Im Obergeschoss verbindet die offene Galerie den Elternbereich mit begehbarer Ankleide und eigenem Wellnessbad mit dem Kinderzimmer, das ebenfalls über ein eigenes Duschbad verfügt.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Die Transmissionswärmeverluste werden durch die geringen U-Werte der Gebäudehülle sowie eine wärmebrückenreduzierte Konstruktion minimiert. Die zweischalige Außenwandkonstruktion mit einem U-Wert von  $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$  besteht aus einem inneren, tragenden Teil mit Schwellen, Pfosten und Rähm und einer äußeren Schale, dem nichttragenden, dämmenden Teil der Außenwand.

Die Holzskelettbauweise ermöglicht eine bodentiefe, deckengleiche, rahmenlose Verglasung. Als Verglasung wird eine 3-Scheiben-Isolierverglasung eingesetzt, die im Bereich der Festverglasung einen  $U_w$ -Wert von  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  besitzt. Im Bereich der zu öffnenden Elemente schwankt der U-Wert der Fenster zwischen  $U_w = 0,83$  bis  $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Der Scheibenzwischenraum ist mit Edelgas (Argon) gefüllt. Die klare Fachwerkkonstruktion gliedert die großzügige Verglasung und ermöglicht zusätzliche Verglasungen oberhalb des Rähms im Erdgeschoss und oberhalb des Kehlbalkens im Dachgeschoss.

Das vollwärmegedämmte Dach ist als Pfettendach ausgebildet. Die sichtbaren Pfetten bestehen aus hochwertigem Leimholz. Die weiten Dachüberstände an Giebel und Traufen schützen das Haus vor Sonne und Witterung. Der U-Wert der Dachkonstruktion beträgt  $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Die Bodenplatte aus Beton wird oberseitig mit einem schwimmenden Estrich auf Wärme- und Trittschalldämmung versehen und verfügt über einen U-Wert von  $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

| Bauteil                              | Aufbau / Material                                       | Dicke [mm] | U-Wert [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ] |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)  | Naturgipsplatte                                         | 12,5       | 0,14                              |
|                                      | Lattung                                                 | 18         |                                   |
|                                      | Holzrahmenkonstruktion mit Holzfaserdämmung WLG 035     | 120        |                                   |
|                                      | Gipskartonplatte                                        | 12,5       |                                   |
|                                      | Dämmung WLG 032                                         | 130        |                                   |
|                                      | Putz                                                    | 6          |                                   |
| Fenster                              | Fenster mit 3-Scheiben-Isolierverglasung (g-Wert: 0,48) | -          | 0,5 – 1,2                         |
| Dach<br>(von oben nach unten)        | Betondachsteine                                         | 40         | 0,14                              |
|                                      | Traglattung                                             | 30         |                                   |
|                                      | Konterlattung                                           | 30         |                                   |
|                                      | Diffusionsoffene Unterspannbahn                         | -          |                                   |
|                                      | Holzweichfaserplatte WLG 035                            | 35         |                                   |
|                                      | Mineralwolle WLG 035 zwischen Sparren                   | 240        |                                   |
|                                      | Dampfbremse                                             | -          |                                   |
|                                      | Holzfaserdämmung WLG 035 zwischen Unterkonstruktion     | 40         |                                   |
|                                      | Naturgipsplatte                                         | 12,5       |                                   |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten) | Oberbelag                                               | 15         | 0,19                              |
|                                      | Anhydritestrich                                         | 75         |                                   |
|                                      | EPS-Dämmung (Trittschalldämmung) WLG 040                | 30         |                                   |
|                                      | EPS-Dämmung WLG 032                                     | 130        |                                   |
|                                      | Betonplatte                                             | 250        |                                   |

## Anlagentechnik

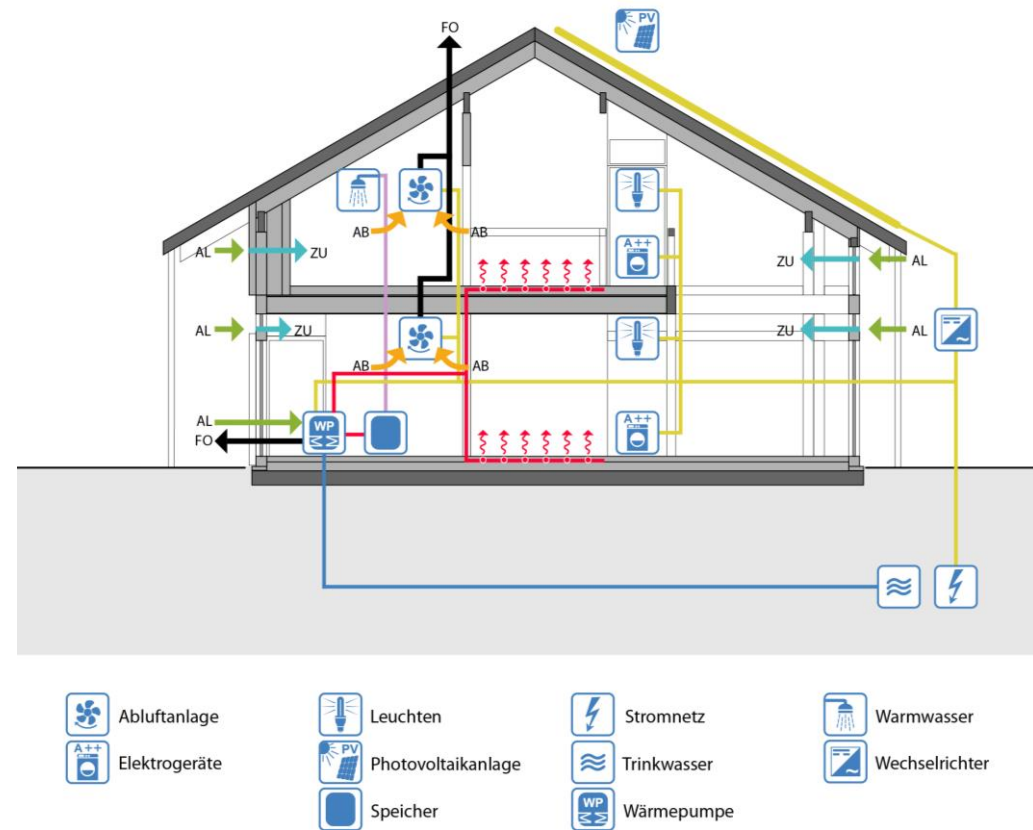
Eine Luft-Wasser-Wärmepumpe erzeugt Energie zum Heizen des Gebäudes sowie zur Versorgung mit warmem Wasser. Die maximale Heizleistung der Luft-Wasser-Wärmepumpe bei A2/W35 beträgt 9,2 kW. Die Heizlast des Gebäudes nach DIN EN 12831 beträgt 6,4 kW.

Die Wärmepumpe speist einen 200 l Pufferspeicher, der das warme Wasser an ein Flächenheizsystem, das im Sommer zur Kühlung verwendet werden kann übergibt. Ein weiterer 600 l Speicher wird zur Versorgung des Gebäudes mit Trinkwarmwasser eingesetzt.

Eine dezentrale, bedarfsgeführte Abluftanlage versorgt das Gebäude mit frischer Luft. Dabei strömt die Außenluft über regelbare Klappen, die in den Riegeln der Fassadenkonstruktion jedes abgeschlossenen Raumes angeordnet sind in die Räume hinein und wird in den Bädern und der Küche abgesaugt.

Elektrische Energie wird mit dem Einsatz einer dachintegrierten Photovoltaikanlage mit einer Größe von 71,34 m<sup>2</sup> gewonnen. Rechnerisch steht eine Gesamtleistung in Höhe von 10,71 kWp zur Verfügung, die wechselstromseitig 9.776 kWh Strom generiert.

Ein Energiemanagementsystem auf KNX-Basis, das die Gebäudetechnik mit der Systemtechnik vernetzt ermöglicht ein effektives Monitoring und kann vom Bewohner bedient werden.



## Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                  |             |                          | Deckung (geplant)                                                                                                                                        |                         |                          |
|---------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Komponente                                              | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                               | Stromertrag             |                          |
|                                                         | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                          | [kWh/a]                 | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung und Warmwasser                 | 300         | 1,28                     | PV-Dach                                                                                                                                                  | 9.776 <sup>(2)</sup>    | 137 <sup>(2)</sup>       |
|                                                         |             |                          |                                                                                                                                                          | (9.724 <sup>(3)</sup> ) | (136 <sup>(3)</sup> )    |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                        | 2.500       | 10,68                    | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 71,34 m² |                         |                          |
| Warmwasser, Heizung und Kühlung                         | 3.411       | 14,58                    |                                                                                                                                                          |                         |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 234 m² |             |                          |                                                                                                                                                          |                         |                          |
| Gesamt                                                  | 6.211 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                   | 9.776 kWh/a             |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

modum: 8:10 HUF HAUS in der FertighausWelt in Wuppertal  
(Quelle: HUF HAUS)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

Forschungsinitiative »Zukunft Bau« – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

KfW Bankengruppe – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## Valentino Bündenbender



| »Effizienzhaus Plus Valentino Büdenbender« |                                                                                                                               |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                                  | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 8), 42279 Wuppertal-Oberbarmen                                          |
| Bauherr und Ansprechpartner:               | Büdenbender Hausbau GmbH, Vorm Eichhölzchen 10, 57250 Netphen-Hainchen<br>Herr Andreas Morgenschweis, Herr Reinhard Jettkandt |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 218 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 184 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 689 m <sup>3</sup>   |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,90 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss:           | 512 kWh/a*           |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von 3.000 km (17kWh/100km)



Süd-Ost Ansicht Effizienzhaus Plus Valentino

### Projektübersicht

Das Musterhaus "Valentino" wurde 2013 in der FertighausWelt in Wuppertal errichtet. Das Gebäude erzeugt durch die gut wärmegeämmte Gebäudehülle in Kombination mit der effizienten Haustechnik und einer Photovoltaikanlage mehr Energie als es verbraucht. Die überschüssige Energie kann für Elektromobilität genutzt oder in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Kostengruppe KG 300: noch nicht dokumentiert

Kostengruppe KG 400: noch nicht dokumentiert

**Zusätzliche Informationen**

Projektpartner

- Architekt: Büdenbender Hausbau GmbH, [www.buedenbender-hausbau.de](http://www.buedenbender-hausbau.de)
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: Büdenbender Hausbau GmbH

Literatur, Quellenangaben

- [1] Büdenbender, [www.buedenbender-hausbau.de](http://www.buedenbender-hausbau.de)
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

Abbildungsnachweis

- Fotos und Grundrisse: Büdenbender
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

### Architektur

Das Musterhaus Valentino besitzt eine moderne Architektur mit klarer Linienführung. In der Mitte des Gebäudes befindet sich ein Atrium, das sich über zwei Etagen erstreckt und nach oben hin geöffnet ist. Mit seinem großen Balkon im Obergeschoss, der überdachten Terrasse sowie großzügigen, lichtdurchfluteten Räumen erzeugt das Gebäude eine angenehme Wohnatmosphäre. Im Erdgeschoss befinden sich die Küche mit Kochinsel, ein Arbeitszimmer, ein Gäste-WC und der große, offene Wohn-Essbereich. Das Obergeschoss bietet ein weitläufiges Badezimmer sowie ein Schlafzimmer mit Blick auf das Atrium und einen Ankleideraum. Für die Kinder stehen zwei Zimmer und ein eigenes Kinderbad zur Verfügung.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Das Gebäude ist in Holztafelbauweise ausgeführt. Die Konstruktion im Außenwandbereich verfügt über eine Dämmschichtstärke von 27,5 cm und erreicht einen U-Wert von 0,15 W/m²K.

Die Fenster sind als Aluminiumfenster mit einer 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung ausgeführt und haben einen  $U_w$ -Wert von 0,74 W/m²K bis 1,05 W/m²K.

Das Flachdach besitzt zwischen den Deckenbalken eine 6 cm dicke Dämmschicht. Oberhalb der Balken ist eine weitere 24 cm starke Gefälledämmung und darüber eine Abdichtungsbahn angeordnet. Der U-Wert des Daches beträgt 0,11 W/m²K.

Die 20 cm starke Bodenplatte ist mit einer Abdichtungsbahn und einem schwimmenden Estrich mit einer 9 cm dicken Dämmschicht versehen. Der U-Wert des Bauteils hat eine Größe von 0,35 W/m²K.

## Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

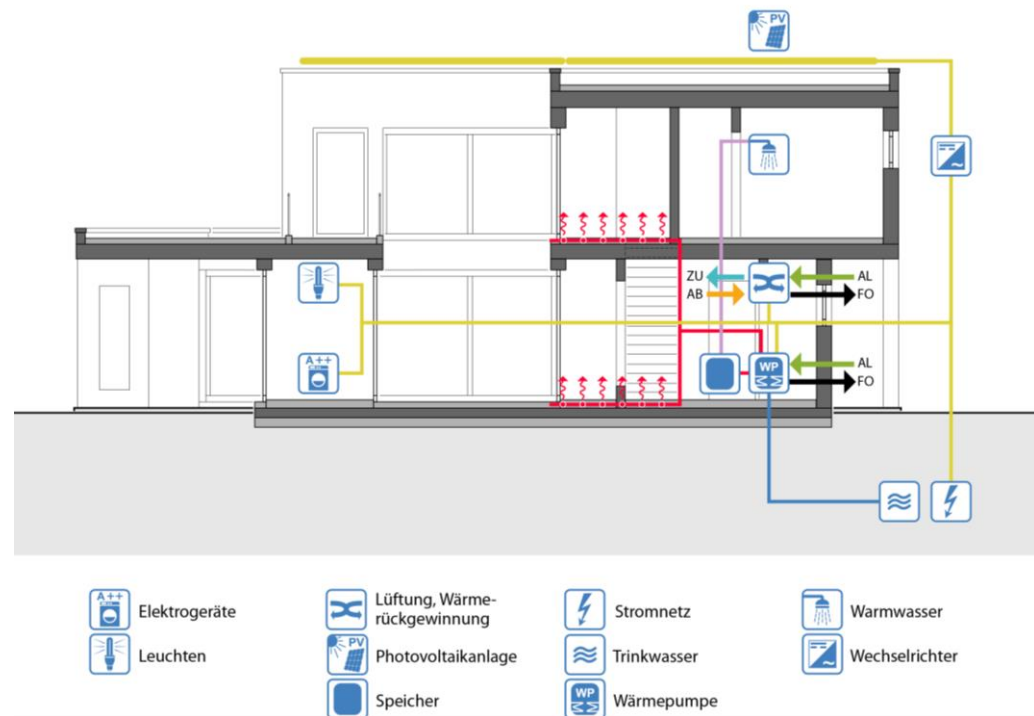
| Bauteil                              | Aufbau / Material                                               | Dicke [mm] | U-Wert [W/m²K] |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------|----------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)  | Gipskartonplatte                                                | 9,5        | 0,15           |
|                                      | OSB-Platte                                                      | 15         |                |
|                                      | Holzrahmenkonstruktion mit Mineralwolledämmung WLG 035          | 200        |                |
|                                      | Leichtbauplatten mit Mineralwollschicht WLG 045                 | 75         |                |
|                                      | Putz                                                            | 20         |                |
| Fenster                              | Alu-Fenster mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung (g-Wert: 0,60) | -          | 0,74 – 1,05    |
| Flachdach<br>(von oben nach unten)   | Dichtungsbahn                                                   | -          | 0,11           |
|                                      | Gefälledämmung WLG 035                                          | 230        |                |
|                                      | Bitumenbahn                                                     | 1,0        |                |
|                                      | Spanplatte                                                      | 22         |                |
|                                      | Ruhende Luftschicht zwischen Konstruktionsholz                  | 140        |                |
|                                      | Mineralwolledämmung WLG 035 zwischen Konstruktionsholz          | 60         |                |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten) | Gipskartonplatte                                                | 12,5       | 0,35           |
|                                      | Granit                                                          | 10         |                |
|                                      | Zement-Estrich                                                  | 65         |                |
|                                      | Trittschalldämmung WLG 040                                      | 30         |                |
|                                      | Wärmedämmung WLG 035                                            | 60         |                |
|                                      | Abdichtungsbahn                                                 | -          |                |
|                                      | Betonplatte                                                     | 200        |                |

**Anlagentechnik**

Das Gebäude wird über eine Luft/Wasser Wärmepumpe mit Wärme zum Heizen und zur Trinkwarmwasserbereitung versorgt. Die Wärmepumpe speist einen separat stehenden Heizungspufferspeicher mit einem Fassungsvermögen von 46 l und einen 300 l fassenden Trinkwarmwasserspeicher. Die Wärmeübertragung an den Raum erfolgt über Flächenheizungen.

Eine zentrale Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung versorgt das Gebäude mit frischer Außenluft.

Die Photovoltaikanlage mit einer Größe von 52,1 m<sup>2</sup> ist auf dem Flachdach mit nach Ost und West ausgerichteten polykristallinen Modulen angeordnet. Mit einer Leistung von 8,32 kW<sub>peak</sub> soll die Anlage 6.239 kWh Strom im Jahr erzeugen.



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                     |             |                          | Deckung                                                                                                                                                 |                         |                          |
|------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Komponente                                                 | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                              | Stromertrag             |                          |
|                                                            | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                         | [kWh/a]                 | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung und Warmwasser                    | 767         | 3,48                     | PV-Dach                                                                                                                                                 | 6.239 <sup>(2)</sup>    | 120 <sup>(2)</sup>       |
|                                                            |             |                          |                                                                                                                                                         | (6.507 <sup>(3)</sup> ) | (125 <sup>(3)</sup> )    |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                           | 2.500       | 11,34                    | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 52,1 m² |                         |                          |
| Warmwasser und Heizung                                     | 2.460       | 11,16                    |                                                                                                                                                         |                         |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 220,41 m² |             |                          |                                                                                                                                                         |                         |                          |
| Gesamt                                                     | 5.727 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                  | 6.239 kWh/a             |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

Valentino Büdenbender in der FertighausWelt in Wuppertal  
(Quelle: Büdenbender)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

Forschungsinitiative »Zukunft Bau« – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

KfW Bankengruppe – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## Potsdam KAMPA



| »Effizienzhaus Plus Potsdam KAMPA« |                                                                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                          | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 9), 42279 Wuppertal-Oberbarmen |
| Bauherr und Ansprechpartner:       | KAMPA GmbH, Geißbergstr. 17, 73432 Aalen-Waldhausen<br>Herr Josef Niehues            |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 254 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 204 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 765 m <sup>3</sup>   |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,76 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss:           | 16 kWh/a*            |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von 100 km (17kWh/100km)



Süd Ansicht Effizienzhaus Plus Potsdam

### Projektübersicht

Das Musterhaus Potsdam wurde 2013 in der FertighausWelt in Wuppertal errichtet. Mit seiner energieeffizienten Bauweise kombiniert mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe, einer kontrollierten Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sowie einer PV-Anlage erzeugt mehr Strom als es im Haus selbst verbraucht und erfüllt damit den Effizienzhaus Plus Ansatz.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Fertigstellungskosten: 366.426,00 € (brutto)

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architekt: KAMPA GmbH, Aalen/Waldhausen, [www.kampa.de](http://www.kampa.de)
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima, [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: KAMPA GmbH

## Literatur, Quellenangaben

- [1] KAMPA GmbH
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

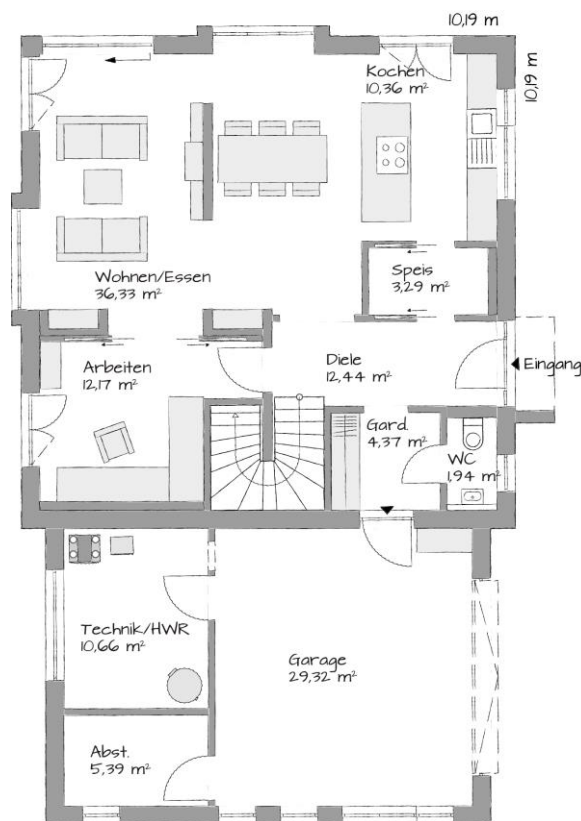
## Abbildungsnachweis

- Fotos und Grundrisse: KAMPA GmbH
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

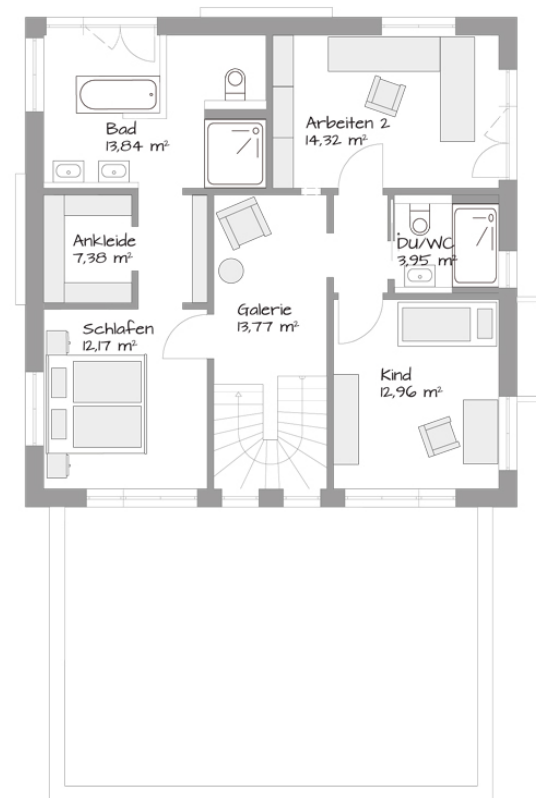
### Architektur

Das zweigeschossige Einfamilienhaus mit quadratischem Grundriss und direkt angebauter Doppelgarage wird über eine weitläufige Diele erschlossen. Von hier sind der großzügige, offen gestaltete Koch-Ess-Wohnbereich und ein Arbeitszimmer erreichbar. An die Küche sowie die Diele schließt eine begehbare Speisekammer an. Ein Abstellraum und die Haustechnikzentrale sind in die Garage integriert.

Eine massive Holzterrasse führt in das Obergeschoss, das neben dem Elternschlafzimmer mit moderner Ankleide, zwei weitere große Zimmer sowie ein großzügiges Elternbad ein zweites Bad für Kinder und Gäste bietet. Eine Galerie ergänzt das Treppenhaus.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Die Außenwand ist in Holztafelbauweise in einer Stärke von 37 cm erstellt. Zwischen den Holzständern ist eine 16 cm dicke Dämmschicht eingebaut und außenseitig ist ein 12 cm starke Wärmedämmverbundsystem angeordnet. Die Außenwand erreicht einen U-Wert von 0,11 W/m²K.

Die Fenster sind als Passivhausfenster mit einer 3-fach Wärmeschutzverglasung ausgeführt und haben einen  $U_w$ -Wert von 0,77 W/m²K.

Die oberste Geschossdecke besitzt zwischen den Deckenbalken eine 24 cm dicke Dämmschicht. Darunter ist in einer Konstruktionsebene eine weitere 4 cm starke Dämmschicht angeordnet. Der U-Wert der obersten Geschossdecke beträgt 0,15 W/m²K.

Die 24 cm starke Bodenplatte liegt auf einer 10 cm dicken Perimeterdämmung auf. Oberseitig ist sie mit einem schwimmenden Estrich mit einer 10 cm dicken Dämmschicht versehen. Der U-Wert des Bauteils hat eine Größe von 0,18 W/m²K.

## Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

| Bauteil                                        | Aufbau / Material                                           | Dicke [mm] | U-Wert [W/m²K] |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------|----------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)            | Gipsplatte                                                  | 12,5       | 0,11           |
|                                                | Holzfaserdämmung zwischen Holzrahmenkonstruktion WLG 042    | 50         |                |
|                                                | Gipsplatte                                                  | 12,5       |                |
|                                                | Mineralwolledämmung zwischen Holzständern WLG 035           | 160        |                |
|                                                | Gipsplatte                                                  | 12,5       |                |
|                                                | Polystyrol-Dämmung WLG 032                                  | 120        |                |
|                                                | Kunstharzputz                                               | 5          |                |
| Fenster                                        | Fenster mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung (g-Wert: 0,60) | -          | 0,77           |
| Oberste Geschossdecke<br>(von oben nach unten) | Mineralwolledämmung WLG 035 zwischen Deckenbalken           | 240        | 0,15           |
|                                                | Dampfbremse                                                 | -          |                |
|                                                | Mineralwolledämmung WLG 035 zwischen Konstruktionsholz      | 40         |                |
|                                                | Gipkartonplatte                                             | 12,5       |                |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten)           | Oberbelag                                                   | 15         | 0,18           |
|                                                | Zement-Estrich                                              | 50         |                |
|                                                | Polystyrol-Trittschalldämmung WLG 045                       | 40         |                |
|                                                | Polystyrol-Dämmung WLG 035                                  | 60         |                |
|                                                | Betonplatte                                                 | 240        |                |
|                                                | Perimeterdämmung WLG 035                                    | 100        |                |

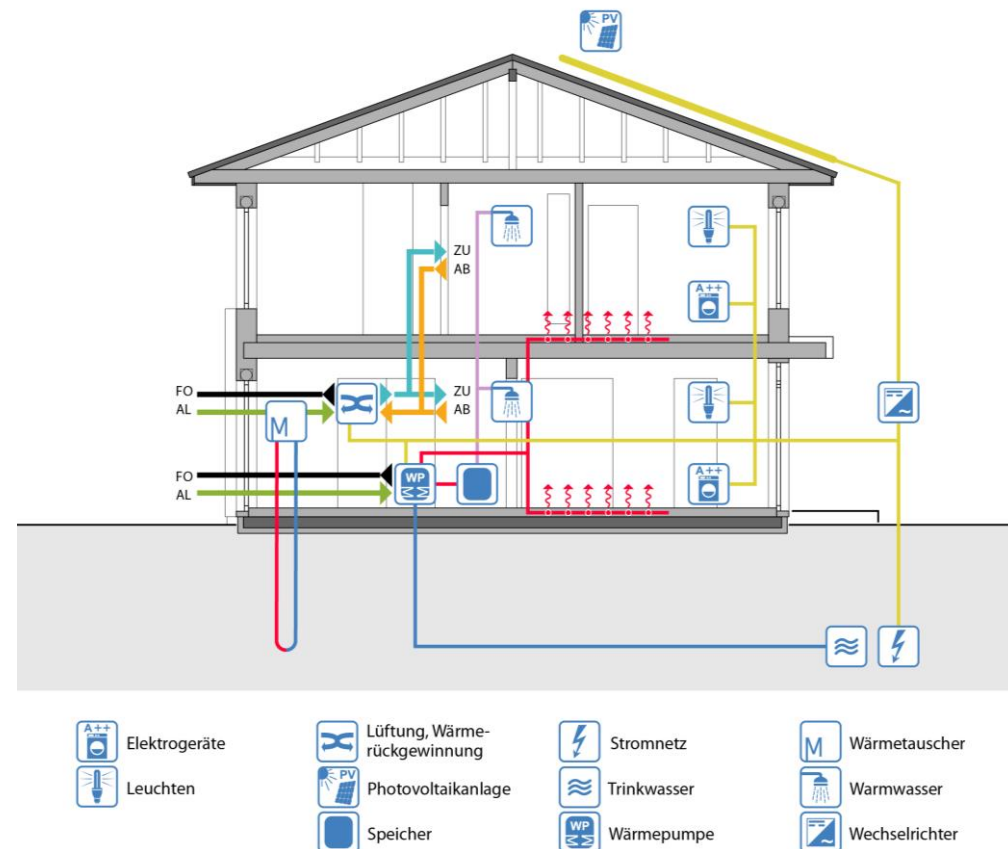
### Anlagentechnik

Das Gebäude wird über eine Luft/Wasser Wärmepumpe mit Wärme zum Heizen und zur Trinkwarmwasserbereitung versorgt. Die Wärmepumpe speist einen separat stehenden Trinkwarmwasserspeicher mit einem Fassungsvermögen von 300 l. Die Wärmeübertragung an die Räume erfolgt über Flächenheizungen.

Eine zentrale Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung versorgt das Gebäude mit frischer Außenluft. Dabei wird die Außenluft über einen Erdwärmetauscher vorerwärmt.

Die Photovoltaikanlage mit einer Größe von 59,5 m<sup>2</sup> ist auf dem Walmdach auf der Nordost-, Südost- und Südwestseite mit Modulen aus polykristallinen Solarzellen angeordnet. Mit einer Leistung von 7,29 kW<sub>peak</sub> soll die Anlage 7.735 kWh Strom im Jahr erzeugen

Das Gebäude ist mit energiesparenden Haushaltsgeräten der Effizienzklasse A++ ausgestattet.



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                  |             |                          | Deckung                                                                                                                                                 |                         |                          |
|---------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Komponente                                              | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                              | Stromertrag             |                          |
|                                                         | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                         | [kWh/a]                 | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung und Warmwasser                 | 2.739       | 11,18                    | PV-Dach                                                                                                                                                 | 7.735 <sup>(2)</sup>    | 130 <sup>(2)</sup>       |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                        | 2.500       | 10,20                    |                                                                                                                                                         | (7.612 <sup>(3)</sup> ) | (128 <sup>(3)</sup> )    |
| Warmwasser und Heizung                                  | 2.480       | 10,12                    |                                                                                                                                                         |                         |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 245 m² |             |                          | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 59,5 m² |                         |                          |
| Gesamt                                                  | 7.719 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                  | 7.735 kWh/a             |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

Potsdam KAMPA in der FertighausWelt in Wuppertal  
(Quelle: KAMPA GmbH)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

Forschungsinitiative »Zukunft Bau« – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

KfW Bankengruppe – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## ProFamily 160-1-10 ProHaus



| »Effizienzhaus Plus ProFamily 160-1-10 ProHaus « |                                                                                       |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                                        | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 10), 42279 Wuppertal-Oberbarmen |
| Bauherr und Ansprechpartner:                     | ProHaus GmbH & Co. KG, Euregio Str. 7, 48527 Nordhorn<br>Herr Thomas Bernsen          |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 200 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 165 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 559 m <sup>3</sup>   |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,74 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss:           | 1.827 kWh/a*         |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von ca. 10.700 km (17kWh/100km)



Südwest Ansicht Effizienzhaus Plus ProFamily

### Projektübersicht

Das Musterhaus ProFamily 160-1-10 wurde 2013 in der FertighausWelt in Wuppertal errichtet. Es wurde nach dem Ansatz des Effizienzhaus Plus geplant und erzeugt über das Jahr mehr Energie als es im Betrieb verbraucht. Der Überschuss kann in eine Elektrotankstelle für Elektrofahrzeuge oder in einen Siedlungsspeicher eingespeist werden.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Baukosten: 192.000,--€  
Mehrkosten Effizienzhaus Plus: 32.000,--€

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architekt: ProHaus GmbH & Co. KG, Nordhorn, [www.prohaus.com](http://www.prohaus.com)
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: ProHaus GmbH & Co. KG, Nordhorn

## Literatur, Quellenangaben

- [1] ProHaus GmbH & Co. KG  
[2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

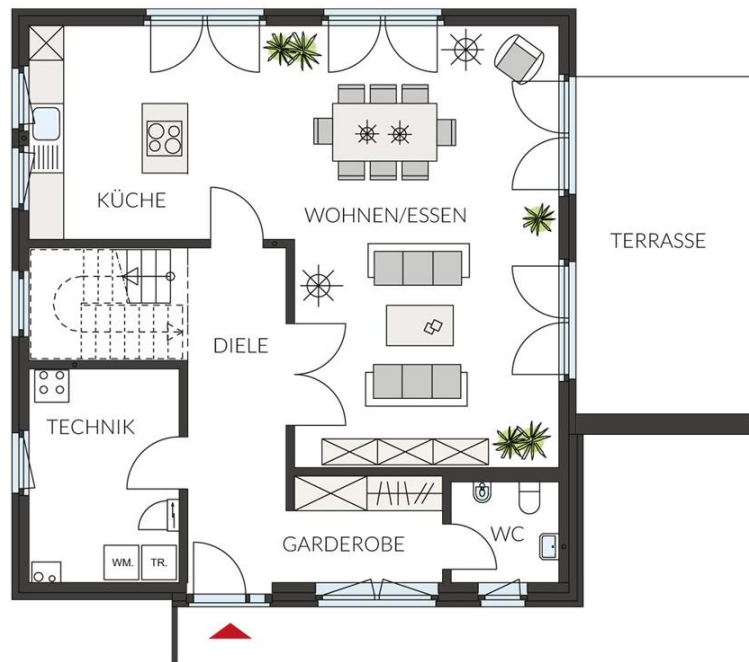
## Abbildungsnachweis

- Fotos und Grundrisse: ProHaus GmbH & Co. KG
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

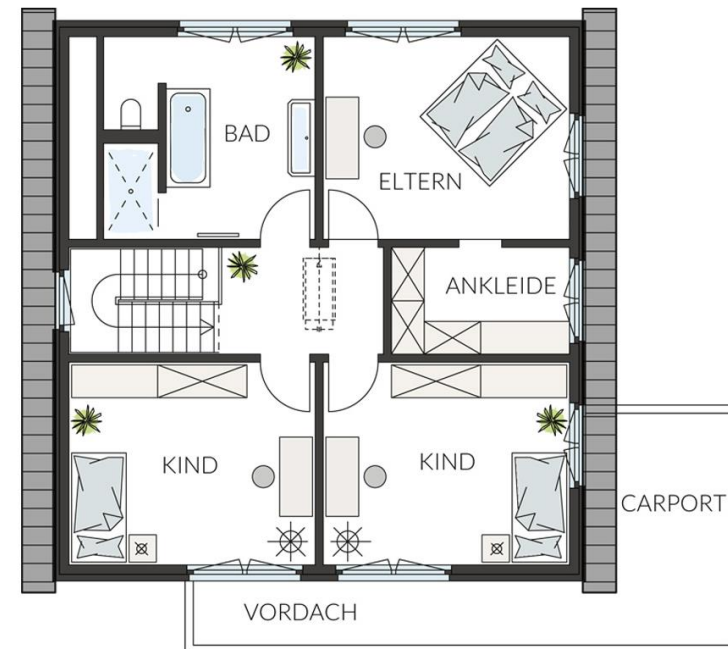
**Architektur**

Das Haus ProFamily 160-1-10 verbindet auf zwei Etagen viel Raum zum Leben, Arbeiten und Wohlfühlen mit einem modernen Wohnkonzept. Die an den offenen Wohn-Koch-Essbereich angegliederte Terrasse erweitert die Wohnfläche.

Das Dachgeschoss bietet Platz für ein Elternschlafzimmer mit Ankleide, einem geräumigen Badezimmer sowie für 2 Kinderzimmer.



Erdgeschoss-Grundriss



Dachgeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Das Gebäude ist mit einer gut gedämmten Außenhülle ausgestattet und in einer wärmebrückenreduzierten Bauweise ausgeführt.

Die Außenwände sind in Holztafelbauweise, mit einer 15 cm starken Mineralwolledämmung erstellt. Darauf ist ein 10 cm dickes Wärmedämmverbundsystem aufgebracht. Der U-Wert der Wandkonstruktion beträgt 0,14 W/m²K.

Die Fenster wurden mit einer Wärmeschutzverglasung ausgeführt und weisen einen  $U_w$ -Werte von 1,0 W/m²K auf.

Die oberste Geschossdecke ist zwischen den Deckenbalken mit einer 24 cm dicken Mineralwolledämmung versehen. Die Dachkonstruktion hat einen U-Wert von 0,17 W/m²K.

Die 20 cm dicke Bodenplatte ist mit einer Abdichtung versehen, auf der eine 8,5 cm dicke Dämmschicht aufliegt. Darauf sind ein Zementestrich und ein Bodenbelag angeordnet. Der U-Wert der Konstruktion beträgt 0,27 W/m²K.

Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

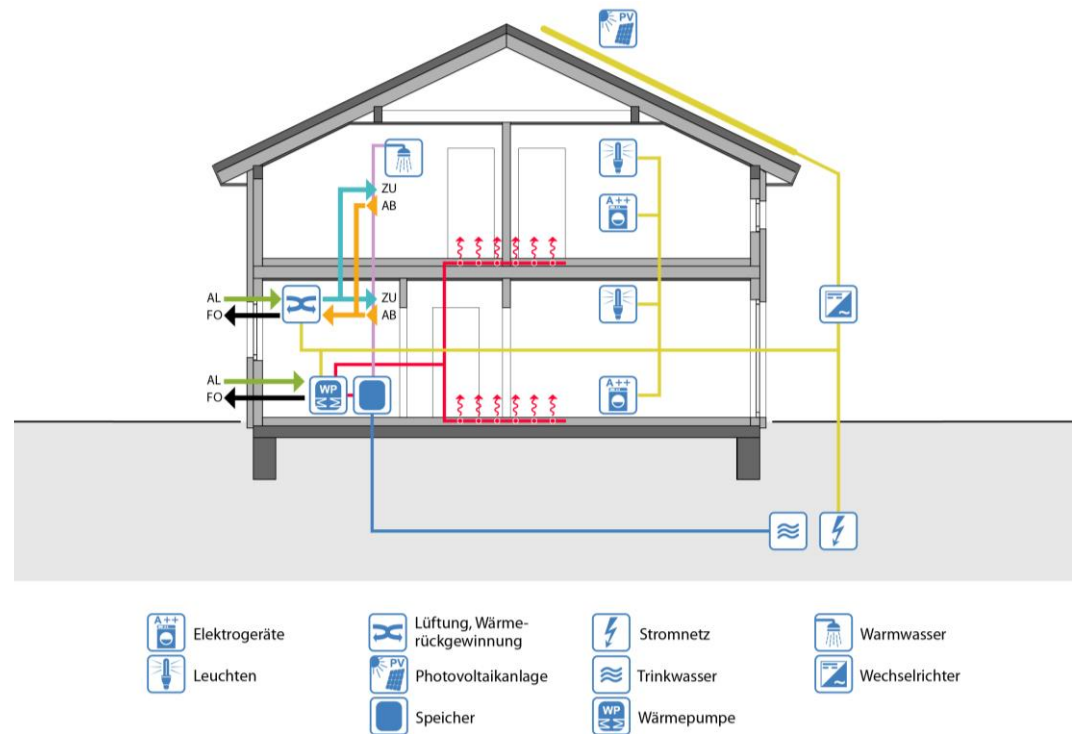
| Bauteil                                 | Aufbau / Material                                      | Dicke [mm] | U-Wert [W/m²K] |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------|----------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)     | Gipskartonplatte                                       | 9,5        | 0,14           |
|                                         | Dampfsperre                                            | -          |                |
|                                         | Spanplatte                                             | 13         |                |
|                                         | Holzrahmenkonstruktion mit Mineralwolledämmung WLK 035 | 150        |                |
|                                         | Spanplatte                                             | 13         |                |
|                                         | Polystyrolhartschaum WLK 035                           | 100        |                |
|                                         | Kunstharzputz                                          | 8          |                |
| Fenster                                 | Fenster mit Wärmeschutzverglasung                      | -          | 1,0            |
| Decke zum Dach<br>(von oben nach unten) | Mineralwolle WLK 035 zwischen Deckenbalken             | 240        | 0,17           |
|                                         | Luftschicht                                            | 13         |                |
|                                         | Dampfbremse                                            |            |                |
|                                         | Gipskartonplatte                                       | 9,5        |                |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten)    | Bodenbelag                                             | 10         | 0,27           |
|                                         | Zement-Estrich                                         | 80         |                |
|                                         | EPS-Dämmung WLK 025                                    | 85         |                |
|                                         | Betonplatte                                            | 200        |                |

**Anlagentechnik**

Das Gebäude wird über eine Luft/Wasser Wärmepumpe mit Wärme zum Heizen und zur Trinkwarmwasserbereitung versorgt. In der Wärmepumpe ist ein Trinkwarmwasserspeicher mit einem Fassungsvermögen von 150 l integriert. Die Wärmeübertragung an die Räume erfolgt über Flächenheizungen.

Eine zentrale Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung versorgt das Gebäude mit frischer Außenluft. Der Wärmerückgewinnungsgrad beträgt 84 %.

Die Photovoltaikanlage mit einer Größe von 49 m<sup>2</sup> ist auf der nach Südosten ausgerichteten Dachhälfte mit Modulen aus polykristallinen Solarzellen angeordnet. Mit einer Leistung von 7,5 kW<sub>peak</sub> soll die Anlage 7.485 kWh Strom im Jahr erzeugen.



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                  |             |                          | Deckung (geplant)                                                                                                                                     |                         |                          |
|---------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Komponente                                              | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                            | Stromertrag             |                          |
|                                                         | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                       | [kWh/a]                 | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung, Lüftung und Warmwasser        | 764         | 4,27                     | PV-Dach                                                                                                                                               | 7.485 <sup>(2)</sup>    | 153 <sup>(2)</sup>       |
|                                                         |             |                          |                                                                                                                                                       | (7.398 <sup>(3)</sup> ) | (151 <sup>(3)</sup> )    |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                        | 2.500       | 13,97                    | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 49 m² |                         |                          |
| Warmwasser und Heizung                                  | 2.394       | 13,37                    |                                                                                                                                                       |                         |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 179 m² |             |                          |                                                                                                                                                       |                         |                          |
| Gesamt                                                  | 5.658 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                | 7.485 kWh/a             |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

ProFamily 160-1-10 ProHaus in der Fertighauswelt in Wuppertal  
(Quelle: ProHaus)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

Forschungsinitiative »Zukunft Bau« – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

KfW Bankengruppe – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## Oslo RENSCH HAUS



| »Effizienzhaus Plus RENSCH HAUS Oslo« |                                                                                     |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                             | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestr. 59 (Parzelle 11), 42279 Wuppertal-Oberbarmen |
| Bauherr und Ansprechpartner:          | RENSCH HAUS GmbH, Mottener Straße 13, 36148 Kalbach<br>RENSCH HAUS GmbH             |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2015                 |
| Bruttogrundfläche:         | 201 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 168 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 658 m <sup>3</sup>   |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,75 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss:           | 56 kWh/a*            |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von 330 km (17kWh/100km)



Süd Ansicht Effizienzhaus Plus Oslo

### Projektübersicht

Das moderne Gebäude wurde 2015 in der FertighausWelt Wuppertal errichtet und ist auf die Bedürfnisse einer jungen Familie abgestimmt. Durch die Kombination einer gut gedämmten Gebäudehülle mit einer effizienten Haustechnik und einer Photovoltaikanlage erreicht das Gebäude den Effizienzhaus Plus Standard.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Baukosten: 275.740 ,-- €

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architekt: RENSCH HAUS GmbH
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima, [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: RENSCH HAUS GmbH

## Literatur, Quellenangaben

- [1] RENSCH HAUS GmbH, [www.rensch-haus.com/](http://www.rensch-haus.com/)
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

## Abbildungsnachweis

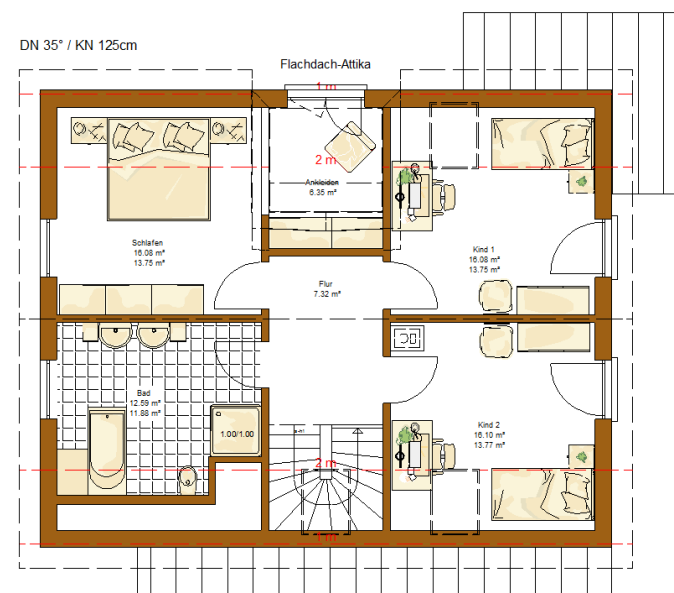
- Fotos und Grundrisse: RENSCH HAUS GmbH
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

## Architektur

Der moderne Charakter des Musterhauses Oslo entsteht durch die Kombination einer klassischen Satteldacharchitektur mit kubischen Flachdachanbauten. Dazu zählt die lange Eingangsüberdachung, deren Fortsetzung zur Vergrößerung des Erdgeschosses beiträgt. Bodentiefe Fensterelemente sorgen im ganzen Haus für lichtdurchflutete Innenräume. Neben der Küche, einem Haustechnikraum und einem Dusch/WC, befindet sich ein zusätzliches Zimmer zur freien Nutzung im Erdgeschoss. Im Dachgeschoss ermöglicht der dritte Giebel in Flachdachoptik Platz für eine Ankleide, offen zum Elternschlafzimmer. Die beiden gleich großen Kinderzimmer sind zusätzlich mit französischen Balkonen ausgestattet und das Bad komplettiert das Raumangebot im oberen Geschoss.



Erdgeschoss-Grundriss



Dachgeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Die Außenwände sind in Holztafelbauweise erstellt und mit einer 39 cm dicken Dämmschicht versehen. Der U-Wert der Konstruktion beträgt 0,14 W/m<sup>2</sup>K.

Die dreifachverglasten Kunststoff-Fenster besitzen einen U<sub>w</sub>-Wert von 0,88 W/m<sup>2</sup>K.

Das geneigte Dach ist mit einer 24 cm dicken Sparrenvollämmung versehen. In der unterhalb der Sparren befindlichen Konstruktionsebene ist eine weitere 4 cm dicke Mineralwollendämmung eingebaut. Die Konstruktion hat einen U-Wert von 0,15 W/m<sup>2</sup>K.

Auf der Bodenplatte mit einer Stärke von 20 cm ist eine 11 cm dicke Dämmschicht mit schwimmendem Estrich angeordnet. Der U-Wert der Konstruktion beträgt 0,33 W/m<sup>2</sup>K.

## Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

| Bauteil                              | Aufbau / Material                                        | Dicke [mm] | U-Wert [W/m <sup>2</sup> K] |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)  | Gipskartonbauplatte                                      | 9,5        | 0,14                        |
|                                      | Holzwerkstoffplatte                                      | 12         |                             |
|                                      | Holzrahmenkonstruktion mit Mineralwollendämmung WLG 035  | 240        |                             |
|                                      | Holzfaserdämmung                                         | 60         |                             |
|                                      | Putz                                                     | 8          |                             |
| Fenster                              | Kunststoff-Fenster mit Dreifachverglasung (g-Wert: 0,50) | -          | 0,88                        |
| Dach<br>(von oben nach unten)        | Betondachstein                                           | -          | 0,15                        |
|                                      | Dachlattung                                              | 40         |                             |
|                                      | Konterlattung                                            | 40         |                             |
|                                      | Mineralwolle WLG 035 zwischen Sparren                    | 240        |                             |
|                                      | Mineralwollendämmung WLG 040 zwischen Unterkonstruktion  | 40         |                             |
|                                      | Gipskartonbauplatte                                      | 12,5       |                             |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten) | Oberbelag                                                | 15         | 0,33                        |
|                                      | Anhydridestrich                                          | 60         |                             |
|                                      | EPS-Dämmung (Trittschalldämmung) WLG 040                 | 20         |                             |
|                                      | PST-Dämmung WLG 040                                      | 90         |                             |
|                                      | Betonplatte                                              | 200        |                             |

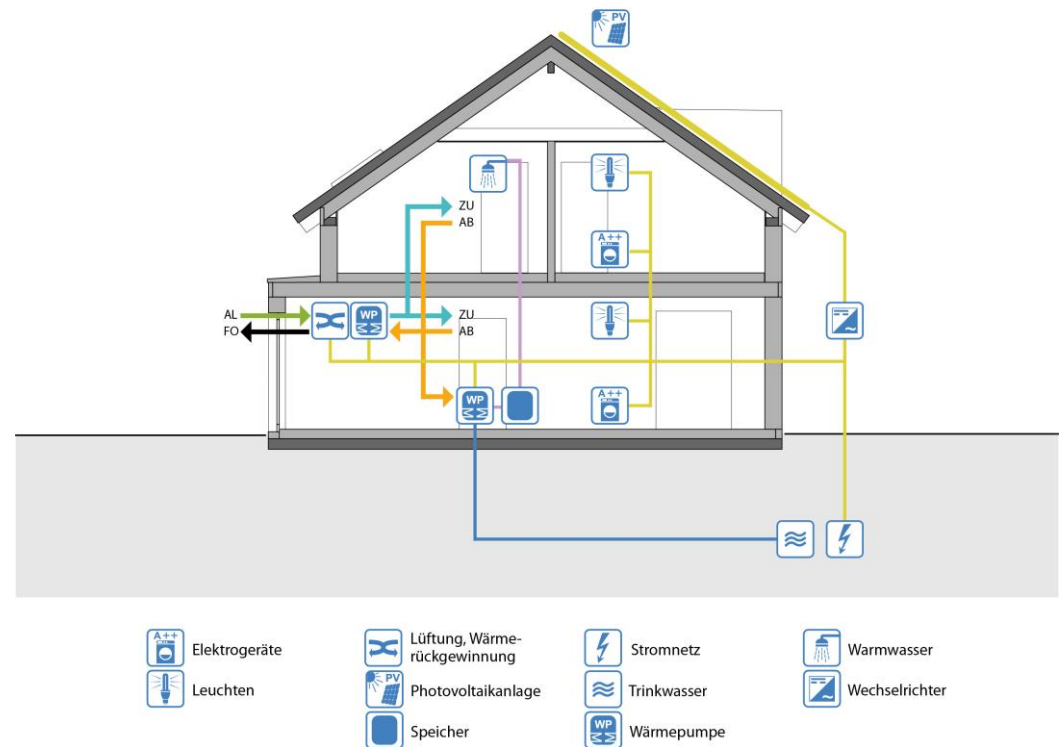
### Anlagentechnik

Das Gebäude ist mit einer Photovoltaik-Anlage und einer effizienten Heiz- und Lüftungstechnik ausgestattet. Eine innovative Datenbustechnik rundet das Technikpaket ab.

Die Beheizung und Warmwasserbereitung erfolgt mit der Frischluft-Wärmetechnik. Als Basis dienen dabei zwei Wärmepumpen sowie eine Wärmerückgewinnungstechnik. In einem Zentralgerät ist die frequenzmodulierende Luft-Luft-Wärmepumpe mit integrierter Lüftung angeordnet. In einem zweiten Gerät, in dem sich ein 300 Liter Wasserspeicher befindet, arbeitet eine Luft-Wasser-Wärmepumpe, die ganzjährig das Warmwasser bereitet.

Die im Haus verbrauchte Luft wird abgesaugt und durch das Zentralgerät mit der integrierten Wärmerückgewinnung nach außen geleitet. Gleichzeitig wird frische Luft von außen angesaugt, gefiltert über die Wärmerückgewinnung und die nachgeschaltete Luft-Luft-Wärmepumpe in die Wohnräume geleitet. Als Energiequelle für die beiden Wärmepumpen dient die verbrauchte, warme und feuchte Abluft. Um ein permanent gutes Raumklima in dem Haus zu garantieren, ist die Frischluft-Wärmetechnik zusätzlich mit einer Datenbustechnik sowie einem Luftqualitätsmanagement ausgestattet. Dabei wird neben dem CO<sub>2</sub> Gehalt der Raumluft auch die relative Luftfeuchtigkeit geregelt. Um auch im Sommer ein behagliches Raumklima zu erzeugen, kann das System bei Bedarf auf Kühlung umgestellt werden.

Die auf dem Dach installierte Photovoltaikanlage mit einer Größe von 42,7 m<sup>2</sup> besteht aus polykristallinen Solarzellen und hat eine Leistung von 6,76 kWp.



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                     |             |                          | Deckung                                                                                                                                                 |                          |                          |
|------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Komponente                                                 | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                              | Stromertrag              |                          |
|                                                            | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                         | [kWh/a]                  | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung, Warmwasser und Lüftung           | 489         | 2,32                     | PV-Dach                                                                                                                                                 | 6.058 <sup>(2),(3)</sup> | 142 <sup>(2),(3)</sup>   |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                           | 2.500       | 11,87                    | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 42,7 m² |                          |                          |
| Warmwasser und Heizung                                     | 3.013       | 14,30                    |                                                                                                                                                         |                          |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 210,68 m² |             |                          |                                                                                                                                                         |                          |                          |
| Gesamt                                                     | 6.002 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                  | 6.058 kWh/a              |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

Musterhaus „Oslo“ RENSCH HAUS in der FertighausWelt in Wuppertal  
(Quelle: RENSCH HAUS GmbH)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit** – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

**Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung** – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

**Forschungsinitiative »Zukunft Bau«** – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

**Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima** – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

**KfW Bankengruppe** – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

**Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)** – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## Concept-M Wuppertal Bien-Zenker



| »Effizienzhaus Plus Concept-M Wuppertal « |                                                                                       |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                                 | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 12), 42279 Wuppertal-Oberbarmen |
| Bauherr und Ansprechpartner:              | Bien-Zenker GmbH, Am Distelrasen 2, 36381 Schlüchtern<br>Herr Rene Honrath            |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 509 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 292 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 1095 m <sup>3</sup>  |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,68 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss:           | 2.057 kWh/a*         |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von 12.100 km (17kWh/100km)



Süd-Ansicht Effizienzhaus Plus Concept-M Wuppertal

### Projektübersicht

Das zweigeschossige Wohngebäude „Concept-M Wuppertal“ mit Teilunterkellerung befindet sich in der neu errichteten FertighausWelt in Wuppertal. Als Effizienzhaus Plus produziert es mit der hocheffizienten Photovoltaik-Anlage auf dem 10° geneigten Pultdach seinen kompletten Strombedarf selbst und erwirtschaftet sogar noch Energieüberschüsse. Es kann den nicht benötigten Energieüberschuss in einer siedlungszentralen Batterie speichern, um ihn später selber zu nutzen oder den Strom anderen Bewohnern zur Verfügung zu stellen. Gesteuert wird all dies durch das intelligente Gebäude-Management-System, das darüber hinaus auch die Steuerung von Licht, Heizung, Jalousien usw. übernimmt.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Kostengruppe KG 300: 701.245,--€

Kostengruppe KG 400: 194.036,--€

**Zusätzliche Informationen**

Projektpartner

- Architekt: Bien-Zenker AG, [www.bien-zenker.de](http://www.bien-zenker.de)
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: Bien-Zenker AG, [www.bien-zenker.de](http://www.bien-zenker.de)

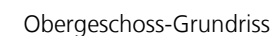
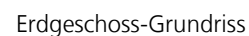
Literatur, Quellenangaben

- [1] Bien-Zenker, [www.bien-zenker.de](http://www.bien-zenker.de)
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

Abbildungsnachweis

- Fotos und Grundrisse: Bien-Zenker
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

Die geradlinige Architektur mit zwei Vollgeschossen, großen Glasflächen und schwebendem Pultdach gibt dem Hausentwurf seinen eigenen Charakter. Viele architektonische Details wie z.B. bodentiefe Fenster, die vorgesetzte Fassadenauflage im Obergeschoss und die Fassadenelemente geben dem Haus eine klare Struktur. Eine Besonderheit sowohl für das Exterieur als auch für das Interieur sind die beiden miteinander kombinierten Baukörper. Der breitere Querkubus dient als Eingang und trennt mit seinen beiden Querflügeln die Eingangsseite von der Terrassenseite. Der große Wohnkubus öffnet sich fast vollständig durch seine großen Glas- und Fensterflächen in Richtung Garten und beinhaltet alle Wohn- und Schlafräume. Im Wohnkubus befindet sich im Erdgeschoss das Wohnzimmer, das durch einen zentralen Kamin vom Essbereich mit seiner angeschlossenen, offenen Küche abgetrennt ist. Im Obergeschoss verbirgt sich ein Wellness-Bad, das direkt an das Schlafzimmer mit Ankleide anschließt. Abgerundet wird das Obergeschoss durch die beiden Kinderzimmer mit separatem Kinderbad. Der Querkubus beinhaltet das Treppenhaus. Hier befinden sich im Erdgeschoss ein Gäste-Bad sowie ein Arbeits- bzw. Gästezimmer.



**Bauteile**

Das Haus verfügt über eine gut gedämmte Gebäudehülle, die dem Dämmstandard eines KfW-Effizienzhaus 40 entspricht. Eine wärmebrückenreduzierte Konstruktion ist obligatorisch.

Die Außenwand wird aus einer 20 cm starken Holzrahmenfachwerk-konstruktion mit einer innen vorgesetzten Installationsebene erstellt und auf der Außenseite mit einem 10 cm dicken Wärmedämmverbundsystem versehen. Der U-Wert der Außenwand hat eine Größe von 0,14 W/(m²K).

Die verbauten Holz-Alu-Fenster sind mit einer 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit einem  $U_g$ -Wert von 0,5 W/(m²K) ausgestattet. Die Fenster erreichen damit einen  $U_w$ -Wert von 0,8 W/(m²K).

Die oberste Geschossdecke zum unbeheizten Dachraum verfügt in der Summe über eine 45 cm dicke Dämmschicht. Der U-Wert der Konstruktion hat eine Größe von 0,09 W/(m²K). Die Photovoltaikmodule sind als Aufdachanlage auf das Dach gesetzt.

Der gedämmte Teilkeller (Außenwände und Sohlplatte) sowie die daran angeschlossene Stahlbetonsohlplatte verringern Wärmeverluste ins Erdreich. Die Bodenplatte liegt auf einer 12 cm dicken Perimeterdämmung auf. Oberhalb der Sohle ist ein schwimmender Estrich mit einer 10 cm dicken Dämmschicht angeordnet. Der Aufbau hat einen U-Wert von 0,17 W/(m²K).

Zur Realisierung eines guten sommerlichen Wärmeschutzes sind über die Gebäudeautomation steuerbare Außenjalousien in der Wandkonstruktion eingebaut.

Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

| Bauteil                                        | Aufbau / Material                                                     | Dicke [mm] | U-Wert [W/(m²K)] |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------|------------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)            | Gipskartonplatte                                                      | 18         | 0,14             |
|                                                | Holzrahmenkonstruktion mit Mineralwolledämmung WLG 040                | 200        |                  |
|                                                | Gipsfaserplatte                                                       | 12,5       |                  |
|                                                | Polystyrol-Dämmung WLG 040                                            | 160        |                  |
|                                                | Putz                                                                  | 5,5        |                  |
| Fenster                                        | Holz-Alu-Fenster mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung (g-Wert: 0,560) | -          | 0,8              |
| Oberste Geschossdecke<br>(von oben nach unten) | Polystyrol-Hartschaum WLG 040                                         | 200        | 0,09             |
|                                                | Spanplatte                                                            | 22         |                  |
|                                                | Mineralwolledämmung WLG 040 zwischen Unterkonstruktion                | 250        |                  |
|                                                | Dampfbremse                                                           | -          |                  |
|                                                | Luftschicht zwischen Konstruktionsholz                                | 22         |                  |
|                                                | Gipskartonplatte                                                      | 12,5       |                  |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten)           | Bodenbelag                                                            | 10         | 0,17             |
|                                                | Zement-Estrich                                                        | 45         |                  |
|                                                | EPS-Dämmung WLG 040                                                   | 100        |                  |
|                                                | Betonplatte                                                           | 200        |                  |
|                                                | Perimeterdämmung WLG 040                                              | 120        |                  |

### Anlagentechnik

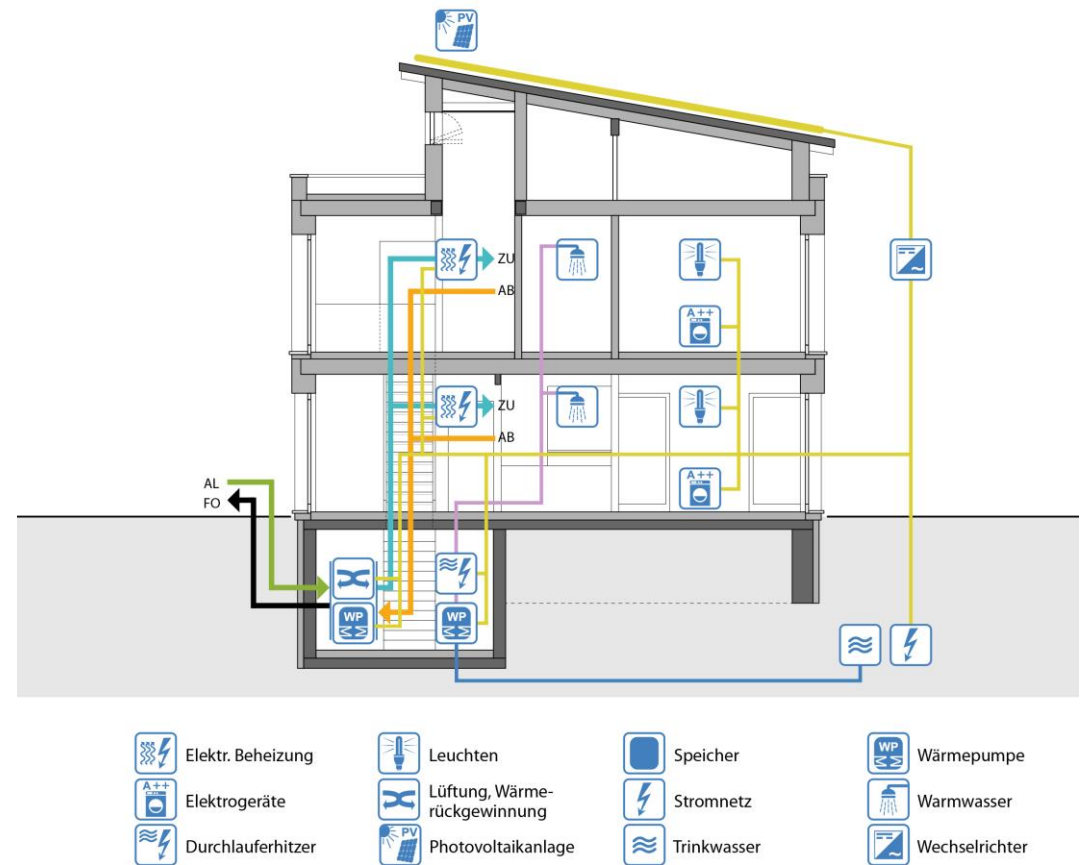
Der Haushalts-Strom und Wärmeenergie werden im Haus mit Hilfe der eingebauten Anlagenkomponenten Photovoltaik-Anlage und Wärmepumpe selbst erzeugt und ermöglichen eine zusätzliche Bereitstellung der Energieüberschüsse für z.B. Elektro-Mobilitätsanwendungen.

Die Versorgung des Hauses mit Wärme und Frischluft erfolgt über ein Zentralgerät, einer Frequenz modulierenden Luft-Luft-Wärmepumpe, in Verbindung mit einer kontrollierten Wohnungslüftung inklusive Wärmerückgewinnung und Kreuzgegenstromwärmetauscher. Der Spitzenwärmebedarf wird durch PTC-Wärmeelemente in den Luftauslässen gedeckt.

Die Warmwasserbereitung erfolgt mittels einer Trinkwasserwärmepumpe und eines nachgeschalteten elektrischen Durchlauferhitzers für Spitzenlastabdeckung.

Monokristalline Photovoltaik-Module sind als Energie erzeugende Komponente auf einer Fläche von 97,93 m<sup>2</sup> auf dem Dach platziert. Die Gesamtleistung der Aufdach-Kollektoranlage beträgt 15,3 kWp. Der nicht im Haus verbrauchte Strom wird in eine Zentralbatterie eingespeist.

Das Gebäudeautomationssystem „Loxone Smart Home“ steuert alle Informationen aus den Räumen (Lufttemperaturen, Luftqualität, Luftfeuchte und Helligkeit), der Gebäudehülle (geöffnete Fenster, Außentemperaturen, Wind, Sonneneinstrahlung, etc.) und der Anlagentechnik (Temperaturen, Luftwechsel, etc.). Somit ist das System in der Lage, die verschiedensten Abläufe im Haus zentral zu steuern und untereinander zu koordinieren. Die Bedienung für den Nutzer erfolgt über eine intuitiv bedienbare Oberfläche, steuerbar über Touch-Screens, Smart Phone oder Tablet-PC.



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                  |              |                          | Deckung                                                                                                                                                  |                          |                          |
|---------------------------------------------------------|--------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Komponente                                              | Strombedarf  |                          | Komponente                                                                                                                                               | Stromertrag              |                          |
|                                                         | [kWh/a]      | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                          | [kWh/a]                  | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung, Warmwasser und Lüftung        | 1.729        | 4,94                     | PV-Dach                                                                                                                                                  | 12.976 <sup>(2)</sup>    | 132 <sup>(2)</sup>       |
|                                                         |              |                          |                                                                                                                                                          | (13.078 <sup>(3)</sup> ) | (133 <sup>(4)</sup> )    |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                        | 2.500        | 7,14                     | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 97,93 m² |                          |                          |
| Warmwasser, Heizung und Kühlung                         | 6.690        | 19,11                    |                                                                                                                                                          |                          |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 350 m² |              |                          |                                                                                                                                                          |                          |                          |
| Gesamt                                                  | 10.919 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                   | 12.976 kWh/a             |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

Concept-M Wuppertal Bien-Zenker in der FertighausWelt in Wuppertal  
(Quelle: Bien-Zenker)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

Forschungsinitiative »Zukunft Bau« – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

KfW Bankengruppe – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## ISOWOODHAUS holz&raum



| »Effizienzhaus Plus ISOWOODHAUS holz&raum« |                                                                                                       |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                                  | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 13), 42279 Wuppertal-Oberbarmen                 |
| Bauherr und Ansprechpartner:               | holz&raum GmbH & Co. KG, Therecker Weg 18, 57413 Finnentrop<br>Herr Dipl.- Holzwirt Markus Benscheidt |

### Allgemeine Daten

|                            |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                  |
| Bruttogrundfläche:         | 148,75 m <sup>2</sup> |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 141,9 m <sup>2</sup>  |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 712,2 m <sup>3</sup>  |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,63 m <sup>-1</sup>  |
| Stromüberschuss:           | 2.906 kWh/a*          |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von ca. 17.000 km (17kWh/100km)



Süd-Ansicht Effizienzhaus Plus

### Projektübersicht

Die Firma holz&raum GmbH & Co. KG hat in der FertighausWelt in Wuppertal ein Effizienzhaus Plus errichtet. Es erzeugt durch die Photovoltaikanlage in Kombination mit einer hoch wärmedämmenden Gebäudehülle und effizienten Haustechnik mehr Energie als es für den Betrieb der Heizung, der Bereitung des Trinkwarmwassers, der Lüftungsanlage und des Haushaltsstroms verbraucht. Dieser Energieüberschuss kann in das Stromnetz oder in einen zentralen Speicher eingespeist werden.

Durch die ökologische Bauweise mit dem Dämmstoff ISOWOOD, der ein Gemisch aus unbehandelten Holz-Hobelspänen, abgebundenem Zement und Wasser ist, wird eine gute Wärmedämmung und hohe Wärmespeicherefähigkeit erreicht, die zu einem angenehmen Wohnklima beiträgt.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Kostengruppe KG 300: 253.000,-- €

Kostengruppe KG 400: 320.600,-- €

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architekt: Dipl.-Ing. Wolf Schneider
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: holz&raum GmbH & Co. KG, Finnentrop

## Literatur, Quellenangaben

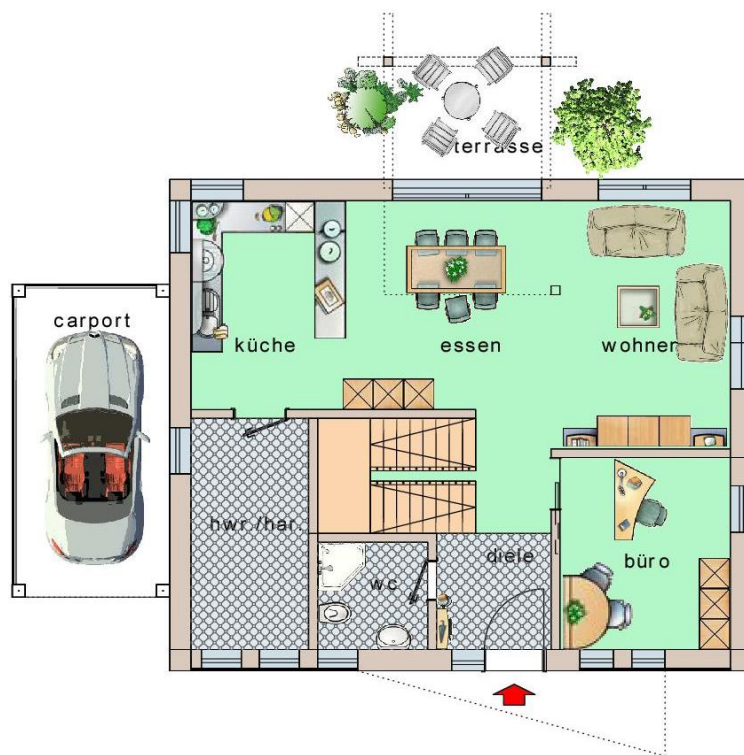
- [1] holz&raum GmbH & Co. KG, [www.isowoodhaus.de](http://www.isowoodhaus.de)
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

## Abbildungsnachweis

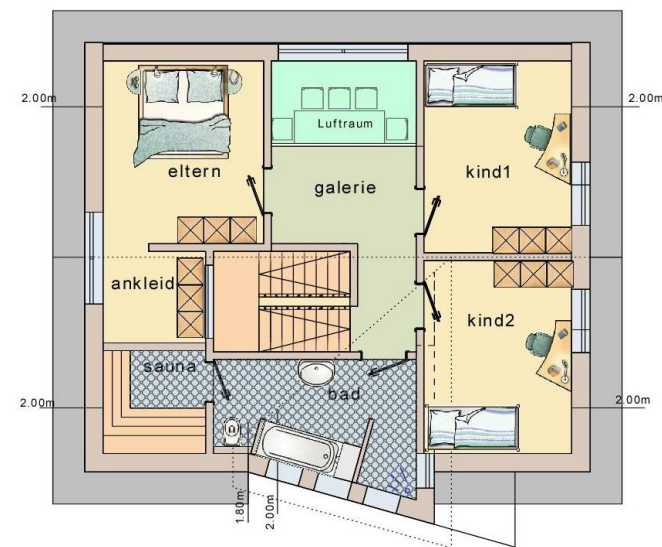
- Fotos und Grundrisse: holz&raum GmbH & Co. KG, 57413 Finnentrop
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

### Architektur

Die Wohnräume verteilen sich auf zwei Ebenen. Im Erdgeschoss liegt ein großzügiger offen gestalteter, lichtdurchfluteter Wohn- und Kochbereich mit zahlreichen Fenstern. Das Erdgeschoss ist in drei weitere Räume untergliedert: einen Hauswirtschaftsraum, ein Büro oder Gästezimmer und ein kleines Gäste-WC mit Dusche. Im Obergeschoss befinden sich neben dem Schlafzimmer mit angeschlossener Ankleide und zwei Kinderzimmern, eine Galerie sowie ein Familienbad mit integrierter Sauna. Der Dachversatz und die partiell angebrachte Holzverkleidung an der Fassade verleihen dem Haus eine individuelle Ausstrahlung.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Die Außenwand besteht aus einer mehrschichtigen Holztafelbauweise. Mit einem hohen Holzanteil in den Wandelementen, dem zementgebundenen Dämmstoff ISOWOOD und dem mehrschichtigen Wandaufbau wird ein U-Wert von 0,13 W/m<sup>2</sup>K erzielt. Die Außenfassade ist zum überwiegenden Teil mit einem diffusionsoffenen mineralischen Putzsystem versehen.

Die Fenster wurden mit einer 3-Scheiben-Isolierverglasung ausgeführt.

Das geneigte Dach ist zwischen den Sparren mit einer insgesamt 30 cm dicken ISOWOOD Dämmschicht versehen und erreicht einen U-Wert von 0,13 W/m<sup>2</sup>K.

Die Bodenplatte liegt auf einer 15 cm dicken Dämmschicht auf. Darauf sind eine weitere Dämmung und ein schwimmender Estrich angeordnet. Der U-Wert der Konstruktion beträgt 0,14 W/m<sup>2</sup>K.

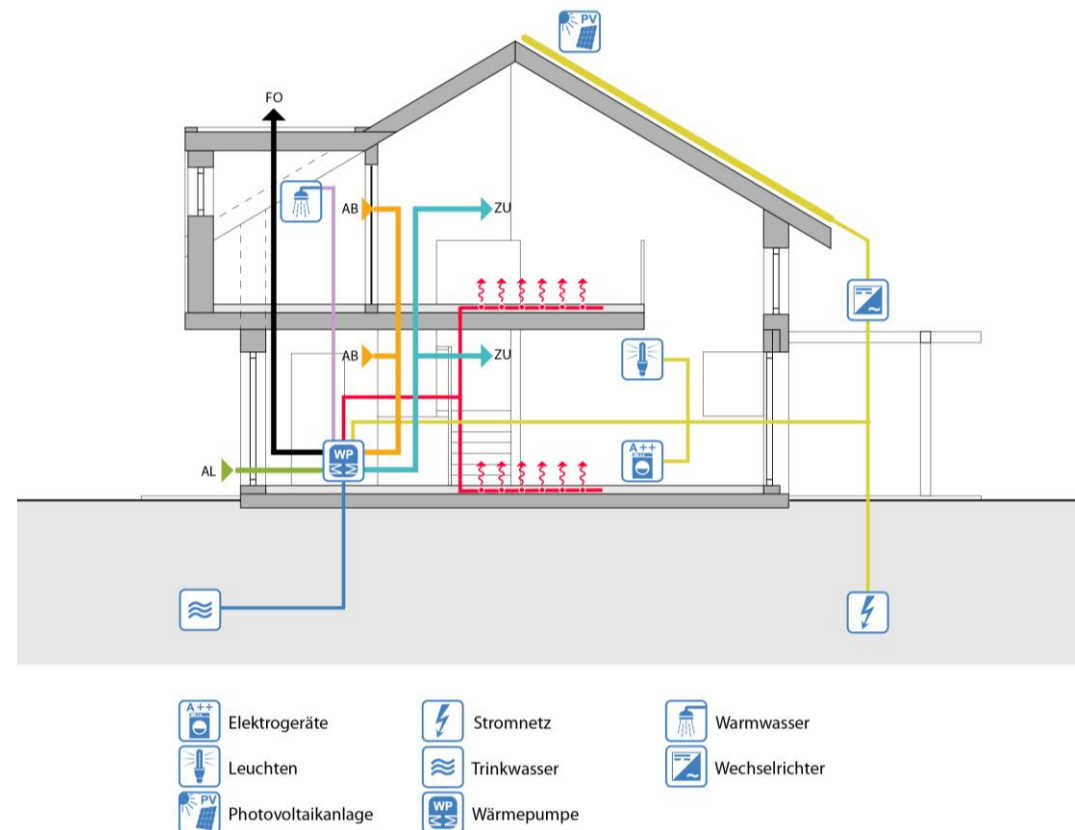
## Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

| Bauteil                              | Aufbau / Material                                          | Dicke [mm] | U-Wert [W/m <sup>2</sup> K] |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)  | Gipskartonplatte                                           | 12,5       | 0,13                        |
|                                      | OSB-Platte                                                 | 12         |                             |
|                                      | Installationsebene gefüllt mit Holzfaserdämmstoff WLG 040  | 60         |                             |
|                                      | OSB-Platte                                                 | 12         |                             |
|                                      | Massive Holzrahmenkonstruktion mit ISOWOOD-Dämmung WLG 050 | 220        |                             |
|                                      | Holzfaserdämmung WLG 040                                   | 100        |                             |
|                                      | Mineralischer Oberputz mit Armierungsgewebe                | 8          |                             |
| Fenster                              | Fenster mit Dreifachverglasung (g-Wert: 0,50)              | -          | 0,91                        |
| Dach<br>(von oben nach unten)        | Dacheindeckung                                             | -          | 0,13                        |
|                                      | Dachlattung                                                | 29         |                             |
|                                      | Konterlattung                                              | 40         |                             |
|                                      | Diffusionsoffene Unterspannbahn                            | 0,5        |                             |
|                                      | Holzfaserplatte WLG 040                                    | 20         |                             |
|                                      | ISOWOOD-Dämmung WLG 048 zwischen Sparren                   | 300        |                             |
|                                      | OSB-Platte                                                 | 12         |                             |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten) | Gipskartonplatte                                           | 12,5       | 0,14                        |
|                                      | Fußbodenbelag                                              | -          |                             |
|                                      | Zementestrich                                              | 60         |                             |
|                                      | Trittschalldämmung                                         | 40         |                             |
|                                      | Wärmedämmung                                               | 50         |                             |
|                                      | Abdichtung                                                 | -          |                             |
|                                      | Bodenplatte Beton                                          | 180        |                             |
|                                      | Wärmedämmung WLG 035                                       | 150        |                             |

Das Gebäude wird über eine Abluft-Wärmepumpe mit integrierter Lüftungsanlage zur Beheizung, Trinkwarmwasserbereitung und Lüftung versorgt. Die Wärmepumpe nutzt die Wärme aus der Außenluft als Energiequelle sowie die Energie der Abluft für die Warmwasserbereitung und die Beheizung des Gebäudes. Die Wärmeverteilung erfolgt über eine Fußbodenheizung, die mit geringen Vorlauftemperaturen betrieben wird. Ein Brauchwasserspeicher mit einem Fassungsvermögen von 170 Litern ist in die Wärmepumpe integriert.

Durch ein Zuluftknäuel wird die Außenluft mechanisch und vorerwärmt in das Gebäude eingebracht. Die Fortluft wird über eine Dachhaube abgeleitet, dabei wird die in der Abluft enthaltene Wärmeenergie zur Gebäudebeheizung und zur Warmwasserbereitung genutzt.

Die aus monokristallinen Solarzellen bestehende Photovoltaikanlage hat eine Größe von 68,46 m<sup>2</sup> und ist mit einer Neigung von 30° nach Südsüdost ausgerichtet. Die Leistung der Anlage beträgt 10,71 kW<sub>p</sub> und liefert einen Stromertrag von ca. 8.574 kWh/Jahr.



## Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                     |             |                          | Deckung                                                                                                                                                  |                         |                          |
|------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Komponente                                                 | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                               | Stromertrag             |                          |
|                                                            | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                          | [kWh/a]                 | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung, Warmwasser und Lüftung           | 72          | 0,32                     | PV-Dach                                                                                                                                                  | 8.574 <sup>(2)</sup>    | 125 <sup>(2)</sup>       |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                           | 2.500       | 10,97                    |                                                                                                                                                          | (9.705 <sup>(3)</sup> ) | (142 <sup>(3)</sup> )    |
| Warmwasser und Heizung                                     | 3.096       | 13,58                    |                                                                                                                                                          |                         |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 227,90 m² |             |                          | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 68,46 m² |                         |                          |
| Gesamt                                                     | 5.668 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                   | 8.574 kWh/a             |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

ISOWOODHAUS holz&raum in der FertighausWelt in Wuppertal  
(Quelle: holz&raum GmbH & Co. KG)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit** – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

**Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung** – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

**Forschungsinitiative »Zukunft Bau«** – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

**Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima** – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

**KfW Bankengruppe** – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

**Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)** – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## Variant 35-235 Hanse Haus



| »Effizienzhaus Plus Variant 35-235 Hanse Haus« |                                                                                         |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                                      | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 14), 42279 Wuppertal-Oberbarmen   |
| Bauherr und Ansprechpartner:                   | Hanse Haus GmbH & Co. KG, Buchstraße 1-3, 97789 Oberleichtersbach<br>Herr Roland Zehner |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 280 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 238 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 873 m <sup>3</sup>   |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,68 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss:.          | 2.326 kWh/a*         |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von ca. 13.700 km (17kWh/100km)



Süd-West-Ansicht Variant 35-235

### Projektübersicht

Das Musterhaus Variant 35-235 steht seit 2013 in der FertighausWelt in Wuppertal. Als Effizienzhaus Plus erzeugt es über das gesamte Jahr mehr Energie als es für die eigene Versorgung verbraucht. Der Überschuss kann selbst in Form einer Elektrotankstelle für Elektrofahrzeuge genutzt oder in das Stromnetz eingespeist werden. Die hoch wärmegeämmte Gebäudehülle in Verbindung mit einer geregelten Lüftungsanlage und einer Luft-Wasser-Wärmepumpe sorgt für einen hohen energetischen Standard.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,20 °C                 |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Kostengruppe KG 300: 420.622,-- €

Kostengruppe KG 400: 158.539,-- €

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architekt: Hanse Haus GmbH & Co. KG, Oberleichtersbach
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima, [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: Hanse Haus GmbH & Co. KG, Oberleichtersbach

## Literatur, Quellenangaben

- [1] Hanse Haus, <http://www.hanse-haus.de/>
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

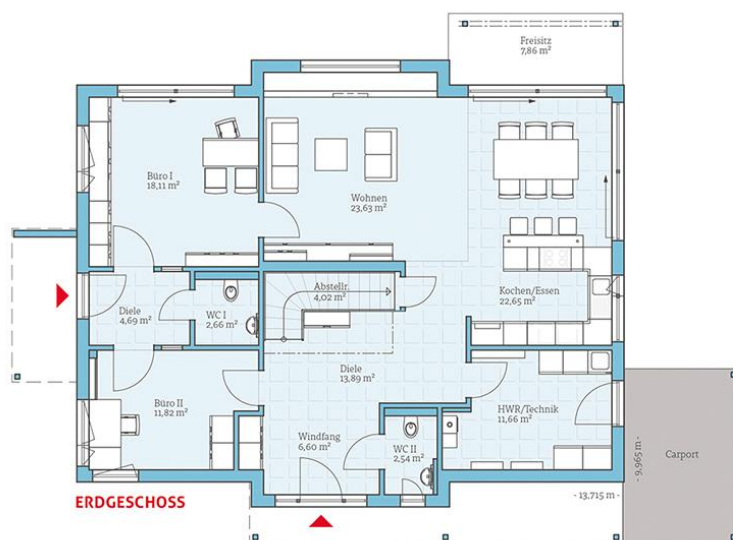
## Abbildungsnachweis

- Fotos und Grundrisse: Hanse Haus
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima, [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

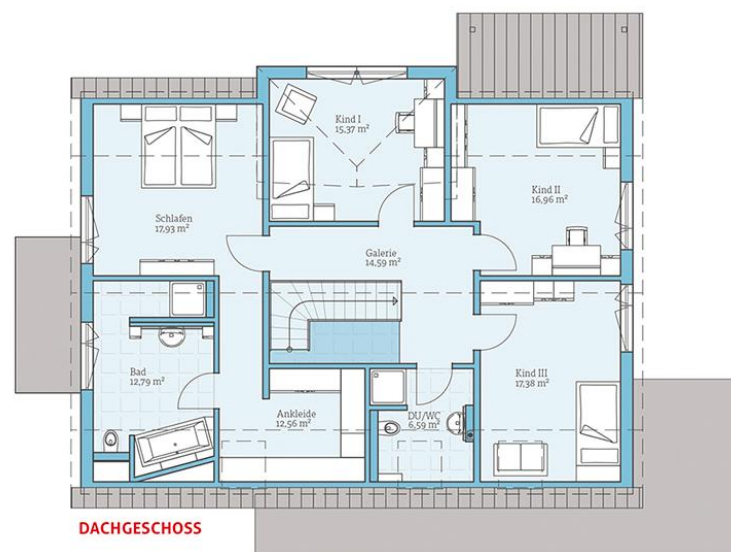
### Architektur

Das Effizienzhaus Plus Variant 35-235 mit Satteldach zeichnet sich durch eine moderne Bauweise mit dunkler Dacheindeckung, heller Putzfassade und einem Flachdacherker mit Sandsteinfassade aus. Der Grundriss kann flexibel an die Wünsche und Bedürfnisse der Bewohner angepasst werden. Für das Arbeiten von Zuhause aus ist es möglich, einen Teil des Erdgeschosses als Arbeitsbereich mit separatem Zugang und WC zu gestalten. Ebenfalls ist eine Nutzung als abgeschlossene Einliegerwohnung denkbar. Bei einer barrierefreien Umgestaltung des Erdgeschosses kann dieser Bereich zum Schlafzimmer mit schwellenfreiem Bad umfunktioniert werden. Des Weiteren befinden sich im Erdgeschoss der Wohn-, Ess- und Kochbereich, der unter der Treppe gelegene Abstellraum, das Gäste-WC und der Haustechnikraum. Dadurch wird eine direkte Verbindung zwischen dem Arbeits- und Wohnbereich geschaffen.

Im Dachgeschoss gewährt eine L-förmige Galerie Zugang zum Dusch-WC, den drei Kinderzimmern und dem Schlafzimmer. Ganz persönlich gelangen die Eltern vom Schlafzimmer über einen kleinen Flur in die Ankleide und das Wellnessbad. Viele Zimmer wurden mit bodentiefen, großen Glasflächen ausgestattet, so gelangt viel Licht in das Innere des Hauses und sorgt für ein freundliches und angenehmes Wohnambiente.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Durch die wärmebrückenreduzierte Gebäudehülle mit geringen U-Werten werden die Transmissionswärmeverluste auf ein Minimum gesenkt.

Die Außenwand mit einer Gesamtstärke von 409 mm besteht aus einer Holztafelbauweise mit Mineralwolle-Dämmung von 12,5 cm im Gefach. Außenseitig ist das Gebäude mit einem 25 cm dicken Wärmedämmverbundsystem versehen.

Die Kunststofffenster mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung besitzen einen U-Wert von 0,95 W/m²K.

Das 38° geneigte Satteldach ist zwischen den Sparren mit einer Mineralwolle-Dämmung (260 mm) und einer zusätzlichen 100 mm dicken Dämmung in der Installationsebene versehen. Der U-Wert des Daches beträgt 0,11 W/m²K.

Die Bodenplatte liegt auf einer 300 mm starken druckfesten Dämmung auf. Oberseitig ist ein schwimmender Estrich auf einer 120 mm dicken Dämmschicht aufgebracht. Der U-Wert der Konstruktion beträgt 0,09 W/m²K.

Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

| Bauteil                              | Aufbau / Material                                        | Dicke [mm] | U-Wert [W/m²K] |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------|----------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)  | Gipskartonplatte                                         | 12,5       | 0,09           |
|                                      | OSB-Platte                                               | 8          |                |
|                                      | Holztafelkonstruktion mit Mineralwolledämmung WLG 035    | 125        |                |
|                                      | OSB-Platte                                               | 8          |                |
|                                      | Wärmedämmung WLG 032                                     | 250        |                |
|                                      | Putz                                                     | 5          |                |
| Fenster                              | Kunststoff-Fenster mit Dreifachverglasung (g-Wert: 0,50) | -          | 0,95           |
| Dach<br>(von oben nach unten)        | Betondachstein                                           | -          | 0,11           |
|                                      | Traglattung                                              | 30         |                |
|                                      | Konterlattung                                            | 30         |                |
|                                      | Mineralwolle WLG 035 zwischen Sparren                    | 260        |                |
|                                      | Dampfbremse                                              | 0,2        |                |
|                                      | Mineralwolledämmung WLG 035                              | 100        |                |
|                                      | Gipskartonplatte                                         | 12,5       |                |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten) | Oberbelag                                                | -          | 0,09           |
|                                      | Anhydritestrich                                          | 65         |                |
|                                      | EPS-Dämmung (Trittschalldämmung) WLG 035                 | 80         |                |
|                                      | EPS-Dämmung WLG 035                                      | 40         |                |
|                                      | Betonplatte                                              | 200        |                |
|                                      | Dämmung WLG 039                                          | 300        |                |

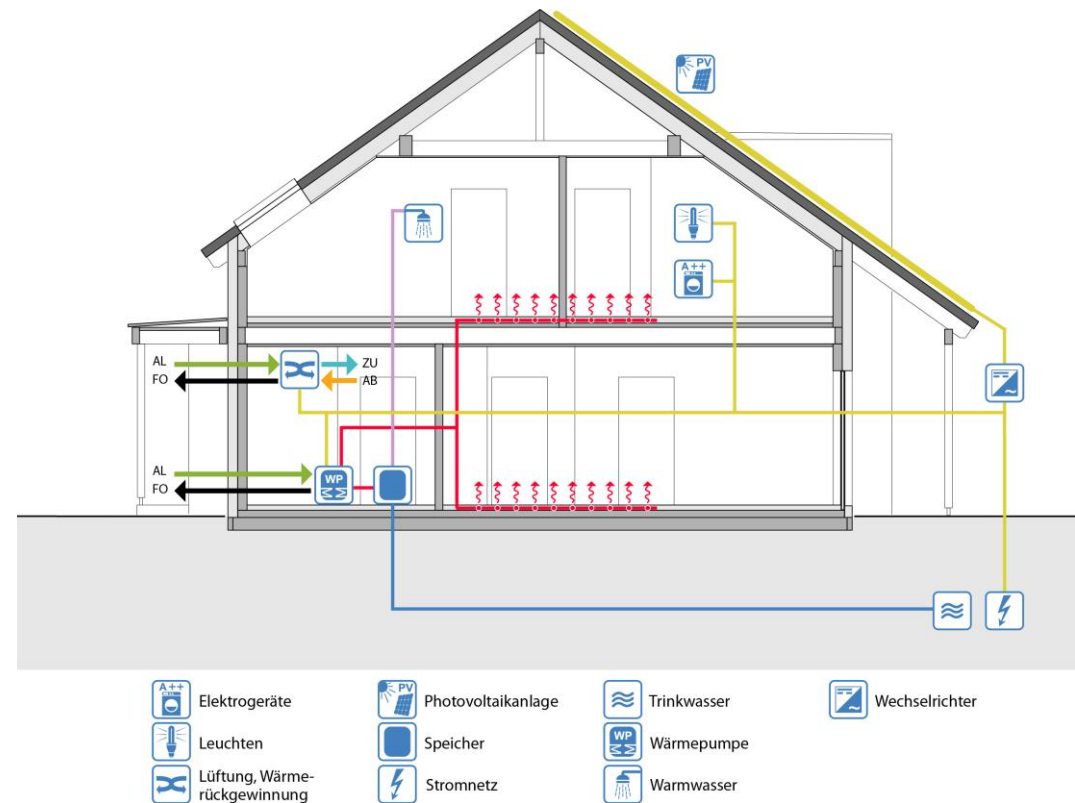
### Anlagentechnik

Die Wärmeversorgung des Gebäudes erfolgt über eine hocheffiziente Luft-Wasser-Wärmepumpe, die gleichzeitig zur Warmwasseraufbereitung, zum Lüften und Kühlen dient. Ein integrierter 235 l fassender Warmwasserspeicher und 200 l Pufferspeicher sind die weiteren Anlagenbestandteile. Die Wärmeübertragung erfolgt über eine Niedertemperaturflächenheizung.

Ein zentrales Zu- und Abluftsystem mit integrierter Wärmerückgewinnung versorgt das Haus kontinuierlich mit frischer Außenluft. Die verbrauchte Raumluft wird simultan wieder nach draußen geleitet und gibt die Wärme an die angesaugte, einströmende Außenluft ab.

Auf dem Dach befindet sich eine 72 m<sup>2</sup> große Photovoltaik-Anlage mit einer Leistung von 10,97 kWp.

Das Gebäude ist mit einer hocheffizienten Beleuchtung und Geräten der Effizienzklasse A++ oder besser ausgestattet.



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                  |             |                          | Deckung                                                                                                                                               |                          |                          |
|---------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Komponente                                              | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                            | Stromertrag              |                          |
|                                                         | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                       | [kWh/a]                  | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| E-Mobilität                                             | 0           |                          | PV-Dach                                                                                                                                               | 9.813 <sup>(2),(3)</sup> | 136 <sup>(2),(3)</sup>   |
| Hilfsenergie für Heizung und Warmwasser                 | 814         | 3,42                     | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 72 m² |                          |                          |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                        | 2.500       | 10,50                    |                                                                                                                                                       |                          |                          |
| Warmwasser, Heizung und Kühlung                         | 4.173       | 17,53                    |                                                                                                                                                       |                          |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 238 m² |             |                          |                                                                                                                                                       |                          |                          |
| Gesamt                                                  | 7.487 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                | 9.813 kWh/a              |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

Variant 35-235 Hanse Haus in der FertighausWelt in Wuppertal  
(Quelle: Hanse Haus)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

Forschungsinitiative »Zukunft Bau« – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

KfW Bankengruppe – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## Musterhaus Wuppertal allkauf



| »Effizienzhaus Plus Musterhaus Wuppertal allkauf« |                                                                                          |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                                         | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 15), 42279 Wuppertal-Oberbarmen    |
| Bauherr und Ansprechpartner:                      | allkauf Haus GmbH, Rödelbachstr. 5, 55469 Simmern<br>Herr Oliver Brand (Geschäftsführer) |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 252,3 m <sup>2</sup> |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 190,5 m <sup>2</sup> |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 784,5 m <sup>3</sup> |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,71 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss::          | 716 kWh/a*           |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von ca. 4.212 km (17kWh/100km)



Süd-West-Ansicht Effizienzhaus Plus Musterhaus Wuppertal

### Projektübersicht

Das moderne Einfamilienwohnhaus wurde 2013 in der Fertighauswelt Wuppertal als Effizienzhaus Plus errichtet. Das Musterhaus ist gekennzeichnet durch eine energiesparende, effiziente Holzrahmenbauweise und erzeugt mehr Energie als es verbraucht. Möglich wird dies unter anderem durch eine Photovoltaikanlage, eine effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpe und eine zentrale Lüftungsanlage.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Kostengruppe KG 300: k.A.

Kostengruppe KG 400: k.A.

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architekt: Sven Propfen, DFH Haus GmbH, Argenthaler Strasse 7, 55469 Simmern
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: allkauf Haus GmbH, Simmern, my Gekko – Energiemanagement, Bruneck-Italien; Buderus GmbH, Wetzlar; Regenerative Generation, Engelskirchen

## Literatur, Quellenangaben

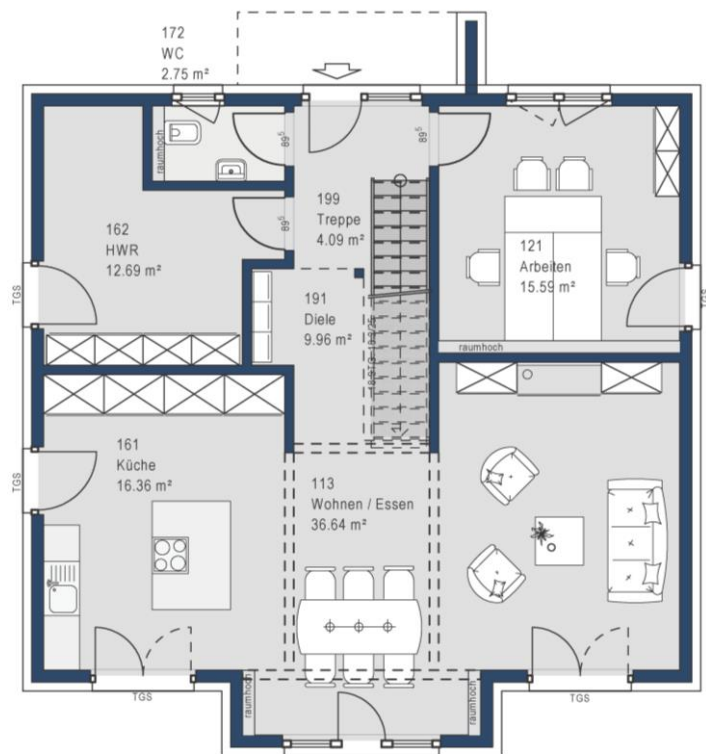
- [1] allkauf Haus GmbH, <http://www.allkauf-ausbauhaus.de/>
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

## Abbildungsnachweis

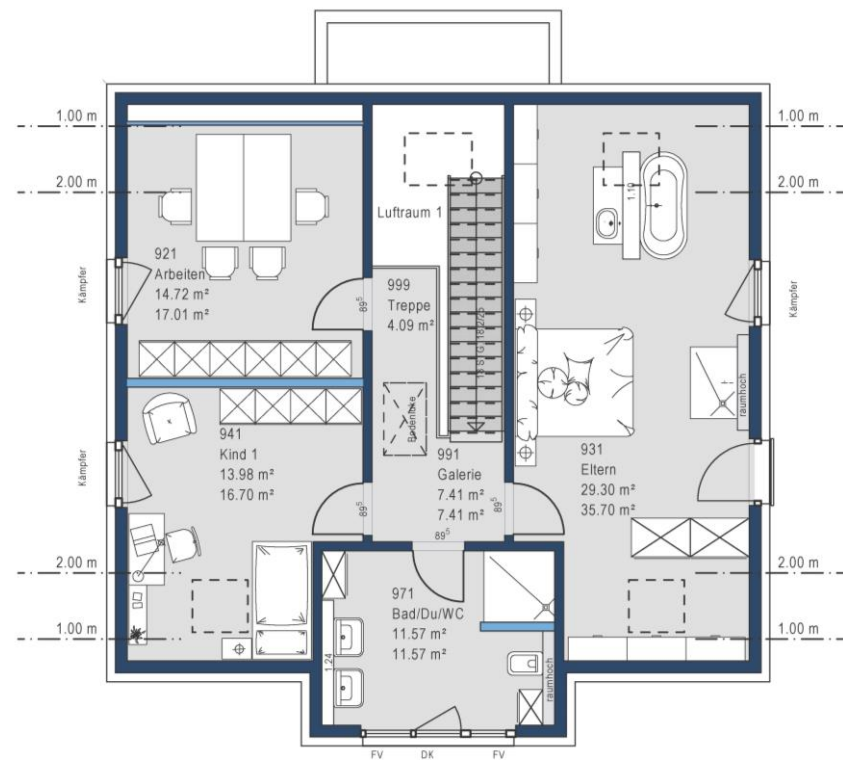
- Fotos und Grundrisse: allkauf haus GmbH, Rödelbachstraße 5, 55469 Simmern
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

### Architektur

Das Gebäude verfügt über einen geraden und klaren Grundriss mit einem Flachdach-Erker. Im Erdgeschoss ist ein großzügiger, offener Koch-, Ess-, Wohnbereich angeordnet. Daran schließt sich ein Arbeitszimmer, Hauswirtschaftsraum und Gäste-WC an. Im Dachgeschoss befinden sich ein Arbeits-, ein Kinder- und ein Badezimmer. In einem geräumigen Elternschlafzimmer ist ein weiteres Badezimmer integriert.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Die Außenwände sind in einer energieeffizienten Holzrahmenbauweise erstellt. Vor der 16 cm starken, wärmegeämmten Holzkonstruktion befindet sich ein 14 cm starkes Wärmedämmverbundsystem, wodurch die Außenwand einen U-Wert von 0,13 W/m<sup>2</sup>K erreicht.

Das Haus ist mit Kunststofffenstern mit einer 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung ausgestattet, die einen U<sub>w</sub>-Wert von 0,85 W/m<sup>2</sup>K aufweisen. Der sommerliche Wärmeschutz wird durch Außenrollläden gewährleistet.

Das als Satteldach ausgeführte Dach besitzt zwischen den Sparren eine 24 cm starke Dämmschicht und hat einen U-Wert von 0,18 W/m<sup>2</sup>K.

Die Stahlbetonbodenplatte wurde oberseitig mit einer 12,5 cm dicken Trittschall- / Wärmedämmschicht versehen und verfügt über einen U-Wert von 0,27 W/m<sup>2</sup>K.

## Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

| Bauteil                              | Aufbau / Material                                                    | Dicke [mm] | U-Wert [W/m <sup>2</sup> K] |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)  | Gipskartonplatte                                                     | 12,5       | 0,13                        |
|                                      | Dampfbremsfolie sd = 100 m                                           | 0,2        |                             |
|                                      | Gipsfaser-Platte                                                     | 12,5       |                             |
|                                      | Holzrahmenkonstruktion mit Mineralwollendämmung WLG 035              | 160        |                             |
|                                      | Gipsfaser-Platte                                                     | 12,5       |                             |
|                                      | Polystyrolhartschaum WLG 035                                         | 140        |                             |
|                                      | Kalkzementputz                                                       | 5          |                             |
| Fenster                              | Kunststofffenster mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung (g-Wert: 0,5) | -          | 0,85                        |
| Dach<br>(von oben nach unten)        | Dacheindeckung                                                       | -          | 0,18                        |
|                                      | Traglattung                                                          | 30         |                             |
|                                      | Konterlattung                                                        | 30         |                             |
|                                      | Diffusionsoffene Unterspannbahn                                      | 0,52       |                             |
|                                      | Mineralwolle WLG 035 zwischen Sparren                                | 240        |                             |
|                                      | Dampfbremsfolie                                                      | 0,2        |                             |
|                                      | Luftschicht waagerecht                                               | 20         |                             |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten) | Gipskartonplatte                                                     | 12,5       | 0,27                        |
|                                      | Fliesen                                                              | 15         |                             |
|                                      | Zement-Estrich                                                       | 65         |                             |
|                                      | EPS-Dämmung (Trittschalldämmung) WLG 045                             | 25         |                             |
|                                      | EPS-Dämmung WLG 035                                                  | 60         |                             |
|                                      | EPS-Dämmung WLG 035                                                  | 40         |                             |
|                                      | Abdichtung                                                           | 2          |                             |
|                                      | Betonplatte                                                          | 200        |                             |

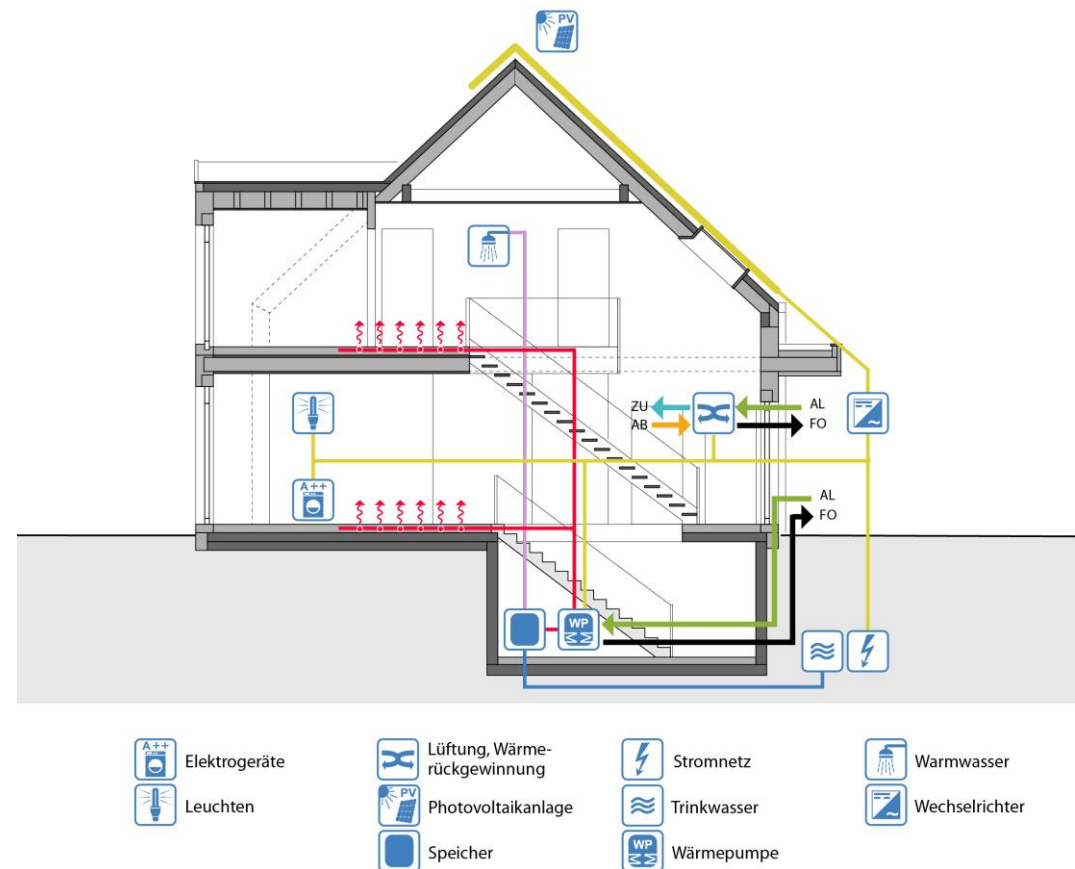
### Anlagentechnik

Auf dem Satteldach des Musterhauses sind 48 Photovoltaikmodule installiert, 19 Module auf der westlichen Dachhälfte und 29 Module auf dem nach Osten gerichteten Dach. Die Photovoltaikanlage verfügt über eine Größe von 82,91 m<sup>2</sup> mit einer Standardleistung nach EnEV von 11,19 kW<sub>p</sub>.

Im Gebäude ist eine Luft-Wasser-Wärmepumpe zur Brauchwarmwasser- und Heizenergieerzeugung verbaut. Die Heizenergie wird über eine Fußbodenheizung in beiden Geschossen übertragen. Ein 300 l fassender Speicher versorgt das Gebäude mit Trinkwarmwasser.

Eine kontrollierter Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sorgt für gute Luftqualität und Lufthygiene. CO<sub>2</sub>-Sensoren und Luftfeuchtigkeitssensoren steuern die Lüftungsanlage bedarfsgerecht bei minimalem Energieaufwand und minimalen Energieverlusten in der Lüftung.

Das Gebäude verfügt über ein vielfältig einsetzbares Gebäudeautomationssystem „MyGekko“. Bei Bedarf können die Raffstores an jedem Fenster separat angesteuert werden, um einen bedarfsgerechten Blendschutz zu gewährleisten. Auch die individuelle Steuerung der LED Beleuchtung im gesamten Haus, die Regelung der Be- und Entlüftungsanlage, die Steuerung der Heizungsanlage sowie weitere Funktionen tragen zu einem optimierten Energiekonzept bei.



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                    |             |                          | Deckung                                                                                                                                                                                                                                             |                         |                          |
|-----------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Komponente                                                | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                                                                                                                          | Stromertrag             |                          |
|                                                           | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                                                                                                                     | [kWh/a]                 | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung und Warmwasser                   | 866         | 3,90                     | PV-Dach                                                                                                                                                                                                                                             | 8.022 <sup>(2)</sup>    | 96,76                    |
|                                                           |             |                          |                                                                                                                                                                                                                                                     | (9.714 <sup>(3)</sup> ) | 117,16                   |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                          | 2.500       | 11,28                    | <sup>(2)</sup> Berechnet für Potsdam mit Standardnennleistung nach DIN V 18599<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam mit Nennleistung PV-Modul (Herstellerangabe) nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 82,91 m² |                         |                          |
| Warmwasser, Heizung und Kühlung                           | 3.940       | 17,77                    |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 221,7 m² |             |                          |                                                                                                                                                                                                                                                     |                         |                          |
| Gesamt                                                    | 7.306 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                                                                                                              | 8.022 kWh/a             |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

August 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

Musterhaus Wuppertal allkauf in der FertighausWelt in Wuppertal  
(Quelle: allkauf Haus GmbH)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

Forschungsinitiative »Zukunft Bau« – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

KfW Bankengruppe – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## Musterhaus Wuppertal OKAL

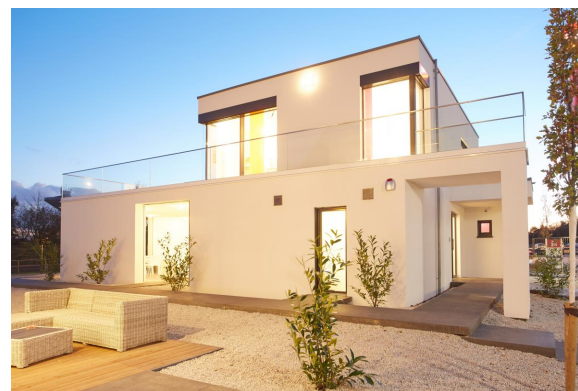


| »Effizienzhaus Plus Musterhaus Wuppertal OKAL« |                                                                                                                                |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                                      | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 16), 42279 Wuppertal-Oberbarmen                                          |
| Bauherr und Ansprechpartner:                   | OKAL Haus GmbH, Argenthalerstraße 7, 55469 Simmern<br>Herr Wilfried Bolz (Geschäftsführer), Herr Marc Häusgen (Verkaufsleiter) |

### Allgemeine Daten

|                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| Baujahr:                      | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:            | 504,9 m <sup>2</sup> |
| Beheizte Nettogrundfläche:    | 343,3 m <sup>2</sup> |
| Beheiztes Gebäudevolumen:     | 839,7 m <sup>3</sup> |
| Hüllflächenfaktor <i>AV</i> : | 0,73 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss:.             | 293 kWh/a*           |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von ca. 1724 km (17kWh/100km)



Nord-Ost Ansicht Effizienzhaus Plus OKAL

### Projektübersicht

Das moderne Wohngebäude im Bauhausstil wurde 2013 in der FertighausWelt Wuppertal errichtet. Das Musterhaus ist gekennzeichnet durch eine energiesparende, effiziente Holzrahmenbauweise und erzeugt mehr Energie als es verbraucht. Möglich wird dies u.a. durch eine Photovoltaikanlage, eine effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpe und einer kontrollierten Be- und Entlüftung. Das Energiemanagement des Hauses wird über das Hausautomationssystem my Gekko gesteuert.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Kostengruppe KG 300: k.A.

Kostengruppe KG 400: k.A.

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architekt: Sven Propfen, DFH Haus GmbH, Argenthaler Strasse 7, 55469 Simmern
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima, [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: Okal Haus GmbH, Simmern; my Gekko – Energiemanagement, Bruneck-Italien; Buderus GmbH, Wetzlar; Regenerative Generation, Engelskirchen

## Literatur, Quellenangaben

- [1] OKAL Haus GmbH, <http://www.okal.de/>
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

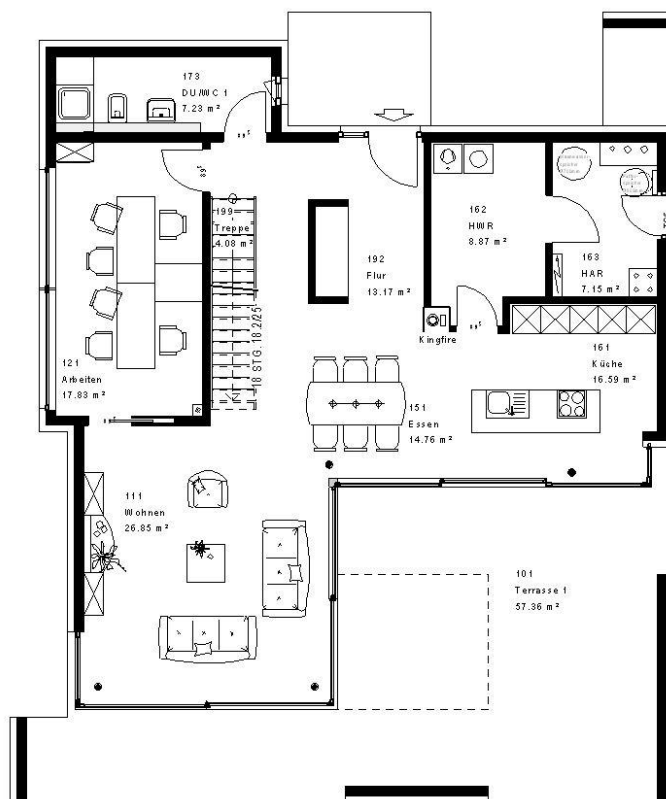
## Abbildungsnachweis

- Fotos und Grundrisse: OKAL Haus GmbH
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

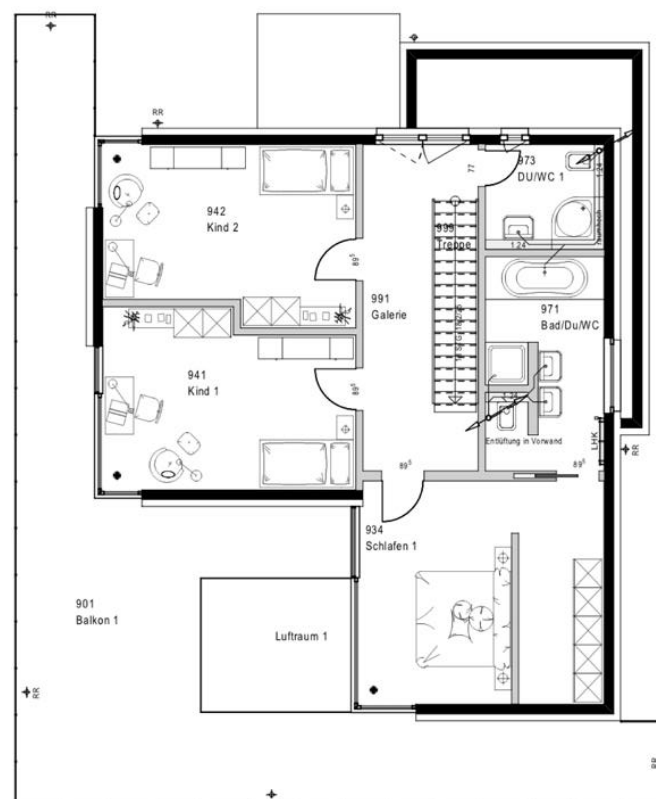
### Architektur

Das puristische Gebäude verfügt im Erdgeschoss über einen großzügigen offenen Koch-, Ess- Wohnbereich von dem alle weiteren angrenzenden Räume wie Arbeitszimmer, Badezimmer und Hauswirtschaftsraum erschlossen werden. Das Licht, das durch die bodentiefen Fenster dringt, sorgt für eine wohnliche Atmosphäre.

Im Obergeschoss sind ein geräumiges Elternschlafzimmer mit begehbarem Kleiderschrank, zwei Kinderzimmer und Badezimmer untergebracht. Ein 74 m<sup>2</sup> großer Balkon, umrandet von einem Glasgeländer, überdacht die beiden Terrassen des Untergeschosses. Hier lässt sich mithilfe von Jalousien die Terrasse vom restlichen Garten abtrennen und so den Wohnbereich nach außen erweitern.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Die Außenwände sind in einer energieeffizienten Holzrahmenbauweise erstellt. Vor der 16 cm starken, wärmegeprägten Holzkonstruktion befindet sich ein 14 cm dickes Wärmedämmverbundsystem, wodurch die Außenwand einen U-Wert von 0,13 W/m<sup>2</sup>K erreicht.

Das Haus ist mit Kunststofffenstern mit einer 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung ausgestattet, die einen U<sub>w</sub>-Wert von 0,85 W/m<sup>2</sup>K aufweisen. Der sommerliche Wärmeschutz wird durch Außenjalousien und Rollläden gewährleistet. Zusätzlich sorgt die großzügig überdachte Terrasse für eine bestmögliche Verschattung der Aufenthaltsräume

Das als Flachdach ausgeführte Dach besitzt zwischen den Deckenbalken eine 24 cm starke Dämmschicht. Darauf wurde eine weitere 10 cm dicke Dämmung angeordnet. Die Konstruktion hat einen U-Wert von 0,12 W/m<sup>2</sup>K.

Die 20 cm dicke Stahlbeton Bodenplatte wurde oberseitig mit einer 12,5 cm dicken Dämmschicht versehen und verfügt über einen U-Wert von 0,27 W/m<sup>2</sup>K.

## Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

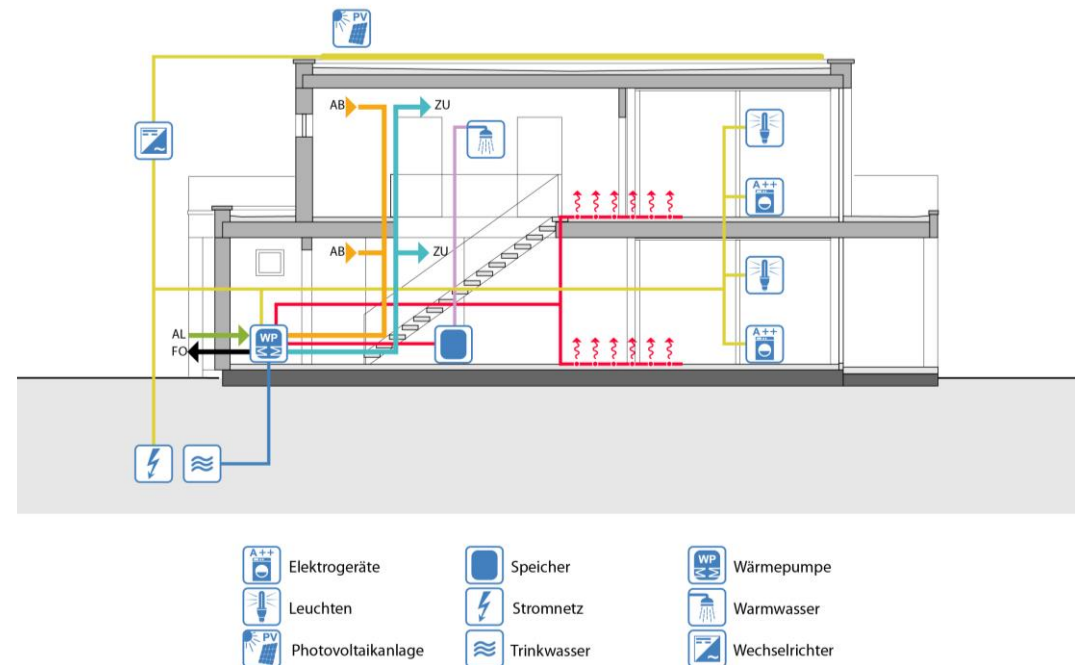
| Bauteil                              | Aufbau / Material                                                   | Dicke [mm] | U-Wert [W/m <sup>2</sup> K] |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)  | Gipskartonplatte                                                    | 12,5       | 0,13                        |
|                                      | Dampfbremsfolie sd=100m                                             | 0,2        |                             |
|                                      | Gipsfaser-Platten                                                   | 12,5       |                             |
|                                      | Holzrahmenkonstruktion mit Mineralwollendämmung WLG 035             | 160        |                             |
|                                      | Gipsfaser-Platten                                                   | 12,5       |                             |
|                                      | Polystyrolhartschaum WLG 035                                        | 140        |                             |
|                                      | Putz                                                                | 5          |                             |
| Fenster                              | Kunststofffenster mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung (g-Wert 0,5) | -          | 0,85                        |
| Dach<br>(von oben nach unten)        | Dachabdichtung (EPDM-Bahn)                                          | -          | 0,12                        |
|                                      | Polystyrolhartschaum WLG 040                                        | 100        |                             |
|                                      | Dampfdruckausgleichsschicht                                         | 4          |                             |
|                                      | Spanplatte V100                                                     | 22         |                             |
|                                      | Mineralwolle WLG 040 zwischen Deckenbalken                          | 240        |                             |
|                                      | Dampfbremsfolie sd=5m                                               | 0,2        |                             |
|                                      | Luftschicht waagerecht                                              | 20         |                             |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten) | Gipskartonplatte                                                    | 12,5       | 0,27                        |
|                                      | Fliesen                                                             | 15         |                             |
|                                      | Estrich (Zement)                                                    | 65         |                             |
|                                      | Dampfbremsfolie sd=100m                                             | 0,2        |                             |
|                                      | EPS-Dämmung (Trittschalldämmung) WLG 045                            | 25         |                             |
|                                      | EPS-Dämmung WLG 035                                                 | 60         |                             |
|                                      | EPS Dämmung WLG 035                                                 | 40         |                             |
|                                      | Abdichtung                                                          | 2          |                             |
|                                      | Betonplatte                                                         | 200        |                             |

### Anlagentechnik

Auf dem Dach des Musterhauses sind 40 Photovoltaikmodule, je zur Hälfte in Ost und West Richtung ausgerichtet installiert auf. Die Gesamtfläche der Photovoltaikanlage beträgt 69,07 m<sup>2</sup> und verfügt über eine Standardleistung nach EnEV von 9,32 kWp.

Das Gebäude wird über eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Trinkwarmwasser und Heizenergie versorgt. Die Heizenergie wird über eine Fußbodenheizung in die beiden Geschosse übertragen. Eine kontrollierter Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ist in die Wärmepumpe integriert und sorgt für gute Luftqualität und Lufthygiene. CO<sub>2</sub>-Sensoren und Luftfeuchtigkeitssensoren steuern die Lüftungsanlage bedarfsgerecht bei minimalem Energieaufwand und minimalen Energieverlusten in der Lüftung. Ein Speicher mit einem Volumen von 350 l versorgt das Gebäude mit Trinkwarmwasser.

Das Gebäude verfügt über ein vielfältig einsetzbares Gebäudeautomationssystem „MyGekko“. Bei Bedarf können die Raffstores an jedem Fenster separat angesteuert werden, um einen bedarfsgerechten Blendschutz zu gewährleisten. Auch die individuelle Steuerung der LED Beleuchtung im gesamten Haus, die Regelung der Be- und Entlüftungsanlage, die Steuerung der Heizungsanlage sowie viele weitere Funktionen tragen zu einem optimierten Energiekonzept bei.



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                    |             |                          | Deckung                                                                                                                                                                                                                                             |                          |                          |
|-----------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Komponente                                                | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                                                                                                                          | Stromertrag              |                          |
|                                                           | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                                                                                                                     | [kWh/a]                  | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung und Warmwasser                   | 1.009       | 4,38                     | PV-Dach                                                                                                                                                                                                                                             | 7.492 <sup>(2)</sup>     | 108,44                   |
|                                                           |             |                          |                                                                                                                                                                                                                                                     | (11.877 <sup>(3)</sup> ) | 171,91                   |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                          | 2.500       | 10,85                    | <sup>(2)</sup> Berechnet für Potsdam mit Standardnennleistung nach DIN V 18599<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam mit Nennleistung PV-Modul (Herstellerangabe) nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 69,09 m² |                          |                          |
| Warmwasser, Heizung und Kühlung                           | 3.690       | 16,01                    |                                                                                                                                                                                                                                                     |                          |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 230,5 m² |             |                          |                                                                                                                                                                                                                                                     |                          |                          |
| Gesamt                                                    | 7.199 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                                                                                                              | 7.492 kWh/a              |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

August 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

Musterhaus Wuppertal OKAL Haus in der FertighausWelt in Wuppertal  
(Quelle: OKAL Haus GmbH)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

Forschungsinitiative »Zukunft Bau« – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

KfW Bankengruppe – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## NORDHAUS



| »Effizienzhaus Plus NORDHAUS« |                                                                                       |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                     | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 17), 42279 Wuppertal-Oberbarmen |
| Bauherr und Ansprechpartner:  | NORDHAUS, Broch 2, 51515 Kürten<br>Herr Schröder                                      |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 201 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 164 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 613 m <sup>3</sup>   |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,75 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss::          | 956 kWh/a*           |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von ca. 5.600 km (17kWh/100km)



Nord Ansicht NORDHAUS

### Projektübersicht

Das Musterhaus Wuppertal steht seit 2013 in der FertighausWelt in Wuppertal. Es liefert mit der hoch wärmegeämmten Gebäudehülle in Verbindung mit einer geregelten Lüftungsanlage, einer Luft-Wasser-Wärmepumpe und einer Photovoltaikanlage auf dem Dach des Hauses die Komponenten für ein Effizienzhaus Plus.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Brutto-Herstellungskosten (bezugsfertig) einschl. Bodenplatte: 345.000,-- €  
Aufpreis Effizienzhaus Plus: 34.500,-- €

**Zusätzliche Informationen**

Projektpartner

- Architekt: NORDHAUS Fertigbau GmbH
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima, [www.ibp.fraunhofer.de/eer](http://www.ibp.fraunhofer.de/eer)
- Technische Gebäudeausrüstung: NORDHAUS Fertigbau GmbH

Literatur, Quellenangaben

- [1] Nordhaus, <http://www.nordhaus.de/>
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

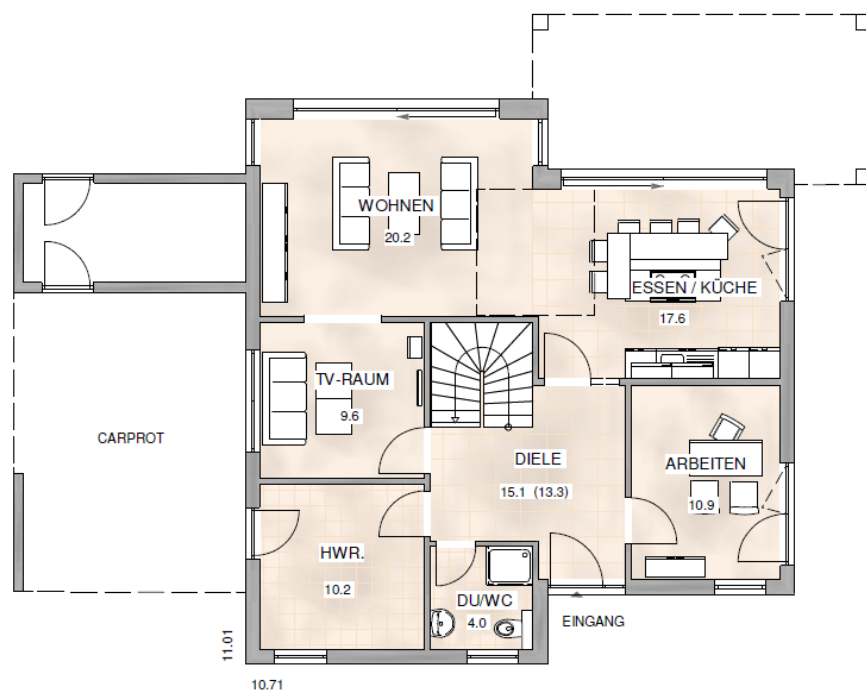
Abbildungsnachweis

- Fotos und Grundrisse: NORDHAUS
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/eer](http://www.ibp.fraunhofer.de/eer)

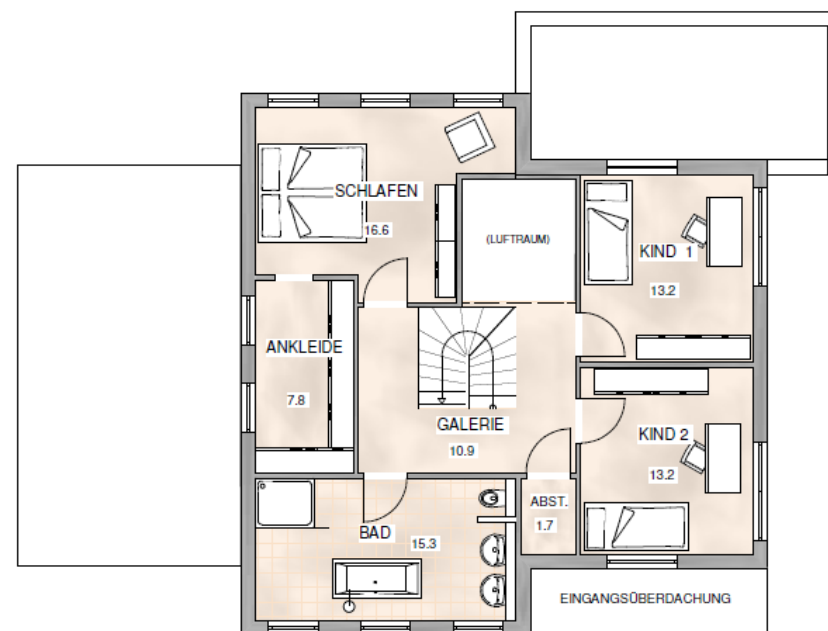
### Architektur

Das zweigeschossige Musterhaus Wuppertal ist als Einfamilienhaus mit einem flach geneigtem Satteldach und rund 166 m<sup>2</sup> Wohnfläche für eine vierköpfige Familie konzipiert. Der durch zwei große Schiebetüren lichtdurchflutete Wohn-/Essbereich mit offener Küche ist im Erdgeschoss der ideale Treffpunkt für die Bewohner. Abgetrennt davon grenzt ein Fernsehraum an. Das Arbeitszimmer bietet die Möglichkeit ungestört zu arbeiten oder Gäste unterzubringen. Das Erdgeschoss wird ergänzt durch ein Gäste-WC mit Dusche. Vom Carport mit großzügigem Abstellraum wird trockenen Fußes der Hauswirtschaftsraum erreicht.

Über eine mittig im Haus angelegte, halbgewendelte Treppe wird das Obergeschoss des Hauses mit einer Galerie und einem Blick über eine Deckenöffnung in den Wohnbereich erreicht. Die beiden Kinderzimmer, das Elternschlafzimmer mit separater Ankleide und das großzügige Badezimmer komplettieren die Räume im Obergeschoss.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Die Transmissionswärmeverluste werden durch die geringen U-Werte der Gebäudehülle sowie einer wärmebrückenreduzierten Konstruktion minimiert. Die Außenwand wird aus einer 200 mm starken Holzrahmenkonstruktion erstellt, auf die außenseitig ein 80 mm dickes Wärmedämm-Verbundsystem aufgebracht wird. Die Außenwand hat einen U-Wert von 0,15 W/m²K.

Die Holzfenster werden mit einer 3-Scheiben-Isolierverglasung ausgeführt. Der U<sub>w</sub>-Wert der Fenster beträgt zwischen 0,70 und 1,3 W/m²K.

Die oberste Geschossdecke erhält insgesamt eine 380 mm starke Dämmschicht. Der U-Wert dieser Dämmebene beträgt 0,09 W/m²K.

Die Bodenplatte liegt auf einer 250 mm starken druckfesten Dämmung auf. Oberseitig ist ein schwimmender Zementestrich auf einer 80 mm dicken Dämmschicht aufgebracht. Der U-Wert der Konstruktion beträgt 0,10 W/m²K.

## Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

| Bauteil                                        | Aufbau / Material                                 | Dicke [mm] | U-Wert [W/m²K] |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------|----------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)            | Gipsfaserplatte                                   | 15         | 0,15           |
|                                                | Mineralwolle (WLG 032) zwischen Konstruktionsholz | 200        |                |
|                                                | Holzfaserdämmplatte WLG 044                       | 80         |                |
|                                                | Putz                                              | 10         |                |
| Fenster                                        | Holz-Fenster mit Dreischeiben-Isolierverglasung   | -          | 0,7 – 1,3      |
| Oberste Geschossdecke<br>(von oben nach unten) | Mineralwolle WLG 035                              | 140        | 0,09           |
|                                                | Mineralwolle WLG 035 zwischen Deckenbalken        | 240        |                |
|                                                | Dampfbremse                                       | -          |                |
|                                                | Holz-Unterkonstruktion                            | 30         |                |
|                                                | Gipsfaserplatte                                   | 10         |                |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten)           | Oberbelag                                         | -          | 0,10           |
|                                                | Zementestrich                                     | 60         |                |
|                                                | EPS-Dämmung WLG 045                               | 27         |                |
|                                                | PS-Dämmung WLG 035                                | 80         |                |
|                                                | Betonplatte                                       | 160        |                |
|                                                | Perimeterdämmung WLG 037                          | 250        |                |

### Anlagentechnik

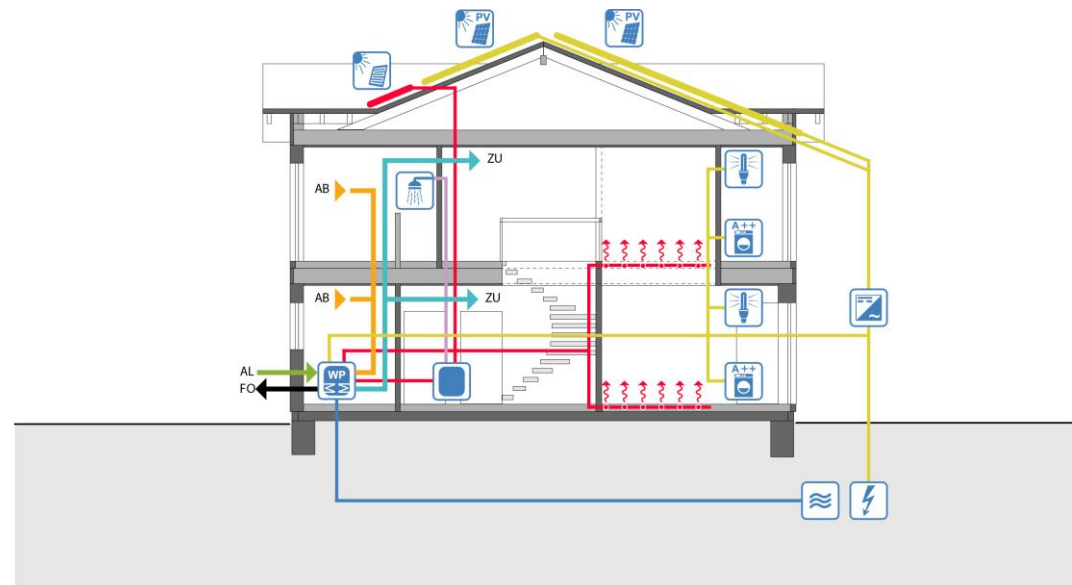
Die Wärmeversorgung des Gebäudes erfolgt über eine hocheffiziente Luft-Wasser-Wärmepumpe mit thermischer Solarunterstützung. In die Wärmepumpe ist ein 235 l fassender Warmwasserspeicher integriert. Ein zusätzlich aufgestellter 200 l Pufferspeicher wird von einer 5 m<sup>2</sup> großen Solarthermieanlage gespeist. Die Wärmeübertragung an die Räume stellt eine Nieder-temperaturflächenheizung sicher.

Das in die Wärmepumpe integrierte Zu- und Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung versorgt das Haus kontinuierlich mit frischer Außenluft. Die verbrauchte Raumluft wird simultan wieder nach außen geleitet und gibt die Wärme über einen Kreuz-Gegenstrom-Wärmeüberträger an die angesaugte, einströmende Außenluft ab.

Auf dem Dach befindet sich eine 52,2 m<sup>2</sup> große Photovoltaik-Anlage aus polykristallinen Zellen mit einer Leistung von 8,29 kWp. Davon entfallen auf die Südseite 32,6 m<sup>2</sup> mit 5,05 kWp und auf die Ost- und West-Seite je 9,8 m<sup>2</sup> mit 1,62 kWp.

Das Gebäude ist mit einer hocheffizienten Beleuchtung und Geräten der Effizienzklasse A++ oder besser ausgestattet.

Das Gebäude verfügt über eine intelligente Haussteuerung mit einem KNX-System. Bei Bedarf können die Rollläden und Raffstores an jedem Fenster separat angesteuert werden, um einen bedarfsgerechten Blendschutz zu gewährleisten. Ergänzend dazu tragen die individuelle Steuerung der LED Beleuchtung im gesamten Haus, die Steuerung der Heizungsanlage sowie weitere Funktionen zu einem optimierten Energiekonzept bei.



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                              |             |                                       | Deckung (geplant)                                                                                                                                                   |                         |                                       |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Komponente                                                          | Strombedarf |                                       | Komponente                                                                                                                                                          | Stromertrag             |                                       |
|                                                                     | [kWh/a]     | [kWh/m <sup>2</sup> a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                                     | [kWh/a]                 | [kWh/m <sup>2</sup> a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung und Warmwasser, Lüftung                    | 949         | 4,84                                  | PV-Dach                                                                                                                                                             | 7.044 <sup>(2)</sup>    | 135 <sup>(2)</sup>                    |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                                    | 2.500       | 12,76                                 |                                                                                                                                                                     | (7.116 <sup>(3)</sup> ) | (136 <sup>(3)</sup> )                 |
| Warmwasser und Heizung                                              | 2.639       | 13,46                                 |                                                                                                                                                                     |                         |                                       |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 196 m <sup>2</sup> |             |                                       | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 52,2 m <sup>2</sup> |                         |                                       |
| Gesamt                                                              | 6.088 kWh/a |                                       | Gesamt                                                                                                                                                              | 7.044 kWh/a             |                                       |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

NORDHAUS in der Fertighauswelt in Wuppertal  
(Quelle: NORDHAUS)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

Forschungsinitiative »Zukunft Bau« – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima – [www.ibp.fraunhofer.de/eer](http://www.ibp.fraunhofer.de/eer)

KfW Bankengruppe – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## DaCapo SCHWABENHAUS



| »Effizienzhaus Plus Da Capo Sonder EEPH« |                                                                                         |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                                | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 18), 42279 Wuppertal-Oberbarmen   |
| Bauherr und Ansprechpartner:             | Firma Schwabenhaus GmbH & Co KG, Industriestr.2, 36266 Heringen/Werra<br>Herr Hentschel |

### Allgemeine Daten

|                            |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                  |
| Bruttogrundfläche:         | 253,60 m <sup>2</sup> |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 200,04 m <sup>2</sup> |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 690,90 m <sup>3</sup> |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,79 m <sup>-1</sup>  |
| Stromüberschuss:           | 59 kWh/a*             |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von ca. 350 km (17kWh/100km)



Ansicht Schwabenhaus

### Projektübersicht

Das zweigeschossige Einfamilienhaus mit Flachdachanbau befindet sich in der neu errichteten Fertighauswelt in Wuppertal und wurde im Jahr 2013 gebaut. Auf Grundlage einer hoch wärmedämmten Bauweise in Kombination mit einer über eine 115 m tiefen Erdsonde betriebene Sole/Wasser-Wärmepumpe und einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, entstand ein energieeffizientes Wohngebäude. Durch den zusätzlichen Einsatz einer Photovoltaik-Anlage, erzeugt dieses Gebäude mehr Energie als es für den Gebäudebetrieb benötigt. Eine intelligente Gebäudeautomation, ermöglicht einen hohen Eigenstromnutzungsanteil.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Baukosten: 414.368,--€

Mehrkosten Effizienzhaus Plus: 15.500,--€

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architekt: SCHWABENHAUS GmbH & Co KG, Frau Lüthen-Schneider, [ing-buero@luethen-schneider.de](mailto:ing-buero@luethen-schneider.de)
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima [www.ibp.fraunhofer.de/eer](http://www.ibp.fraunhofer.de/eer)
- Technische Gebäudeausrüstung: Firma Schumann GmbH HAUSTECHNIK, Firma Nelskamp PV, Firma BauGrundSüd

## Literatur, Quellenangaben

- [1] SCHWABENHAUS, <http://www.schwabenhaus.de/>
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

## Abbildungsnachweis

- Fotos und Grundrisse: SCHWABENHAUS GmbH & Co KG
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/eer](http://www.ibp.fraunhofer.de/eer)

**Architektur**

Das Gebäude ist mit einem klassischen Satteldach in Kombination mit einem Flachdach im Bereich des eingeschossigen Anbaus ausgestattet. Die bodentiefen Fenster und die offene Grundrissgestaltung im Bereich Wohnen/Essen/Küche fördern die Großzügigkeit des Erdgeschosses. Ergänzt wird sie durch einen erkerähnlichen Vorbau im Bereich des Esstisches. Auf der zweiten Ebene befinden sich das Elternschlafzimmer inklusive separatem Ankleidebereich, ein Kinderzimmer und ein Gäste-/Arbeitszimmer. Das Familienbad im Obergeschoss ist mit einer bodenebenen Dusche, Badewanne und einem großzügigen Waschbecken ausgestattet.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Die Außenwände sind in einer energieeffizienten Holztafelbauweise erstellt. Vor der 16 cm starken, wärmedämmten Holzkonstruktion befindet sich ein 10 cm starkes Wärmedämmverbundsystem. Die Außenwand hat einen U-Wert von 0,14 W/m²K.

Die Fenster des Gebäudes sind mit einer Dreifachverglasung ausgestattet, die einen U-Wert von 0,85 W/m²K aufweisen.

Das als Satteldach ausgeführte Dach besitzt zwischen den Sparren eine 24 cm starke Dämmschicht und hat einen U-Wert von 0,17 W/m²K.

Die Stahlbetonbodenplatte liegt auf einer 8 cm dicken Perimeterdämmung auf und wurde oberseitig mit einem schwimmenden Estrich mit 7 cm Dämmschicht versehen. Die Konstruktion verfügt über einen U-Wert von 0,17 W/m²K.

## Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

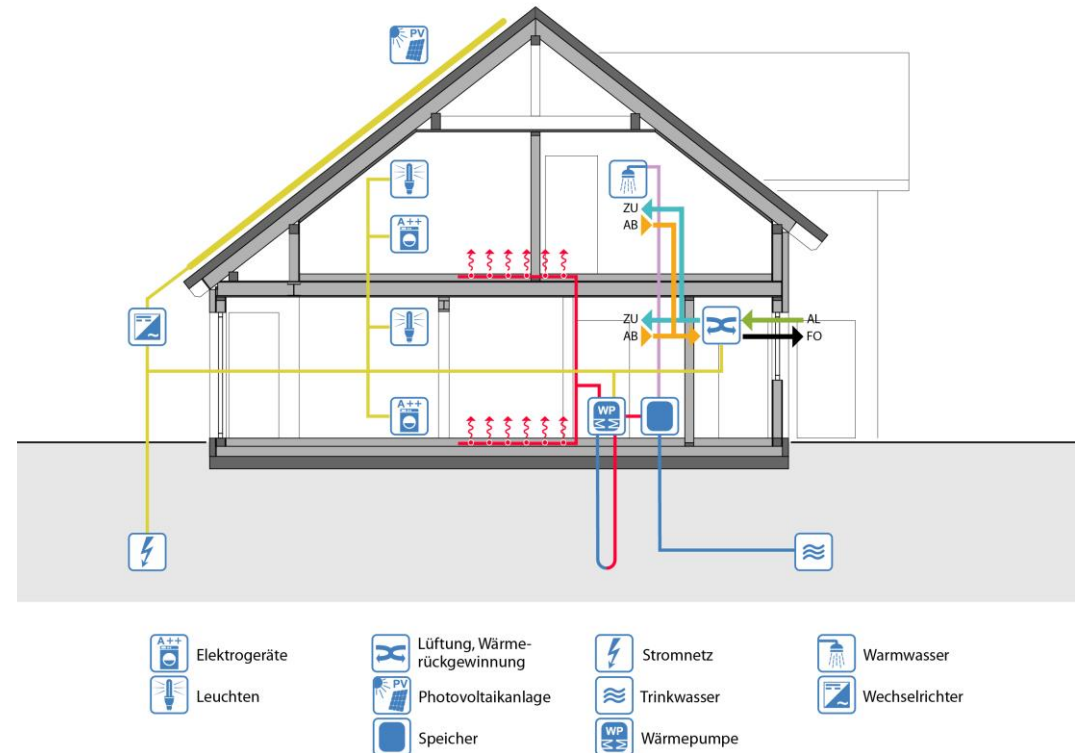
| Bauteil                              | Aufbau / Material                                      | Dicke [mm] | U-Wert [W/m²K] |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------|----------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)  | Gipsfaserplatte                                        | 12,5       | 0,14           |
|                                      | Dampfbremse                                            | 0,2        |                |
|                                      | Holzrahmenkonstruktion mit Mineralwolledämmung WLG 035 | 160        |                |
|                                      | Gipsfaserplatte                                        | 12,5       |                |
|                                      | Polystyrol-Hartschaum Dämmung WLG 035                  | 100        |                |
|                                      | Kunstharzputz                                          | 5          |                |
| Fenster                              | Fenster mit Dreifachverglasung (g-Wert: 0,50)          | -          | 0,85           |
| Dach<br>(von oben nach unten)        | Dacheindeckung                                         | -          | 0,17           |
|                                      | Traglattung                                            | 30         |                |
|                                      | Konterlattung                                          | 30         |                |
|                                      | Diffusionsoffene Unterspannbahn                        | 0,4        |                |
|                                      | Mineralwolledämmung WLG 035 zwischen Unterkonstruktion | 240        |                |
|                                      | Luftsicht                                              | 30         |                |
|                                      | Dampfbremse                                            | 0,2        |                |
|                                      | Gipskartonplatte                                       | 15         |                |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten) | Bodenbelag                                             | -          | 0,17           |
|                                      | Anhydritestrich                                        | 60         |                |
|                                      | Polystyrol-Dämmung WLG 035                             | 70         |                |
|                                      | Abdichtung                                             | -          |                |
|                                      | Betonplatte                                            | 200        |                |
|                                      | Perimeterdämmung WLG 035                               | 80         |                |

### Anlagentechnik

Die Beheizung, Kühlung und Warmwasserbereitung erfolgt über eine Sole/Wasser-Wärmepumpe, der eine 115 m tiefe Duplexsonde als Wärmequelle dient. Die Leistung beträgt 7,9 kW. Die Wärmeverteilung erfolgt im gesamten Haus über eine Fußbodenheizung, die im Sommer auch zu Kühlzwecken genutzt werden kann.

Eine zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sorgt für den notwendigen Luftaustausch und ermöglicht durch den Kreuzgegenstromwärmetauscher eine über 90%ige Wärmerückgewinnung.

Die auf dem Dach installierte Photovoltaikfläche aus polykristallinen Solarzellen mit einer Fläche von 39 m<sup>2</sup> hat eine Leistung von 6,3 kWp und soll einen jährlichen Ertrag von 5.614 kWh Strom liefern.



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                  |             |                          | Deckung                                                                                                                                               |                         |                          |
|---------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Komponente                                              | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                            | Stromertrag             |                          |
|                                                         | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                       | [kWh/a]                 | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung und Warmwasser                 | 386         | 1,75                     | PV-Dach                                                                                                                                               | 5.614 <sup>(2)</sup>    | 144 <sup>(2)</sup>       |
|                                                         |             |                          |                                                                                                                                                       | (5.741 <sup>(3)</sup> ) | (147 <sup>(3)</sup> )    |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                        | 2.500       | 11,31                    | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 39 m² |                         |                          |
| Warmwasser und Heizung                                  | 2.669       | 12,08                    |                                                                                                                                                       |                         |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 221 m² |             |                          |                                                                                                                                                       |                         |                          |
| Gesamt                                                  | 5.555 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                | 5.614 kWh/a             |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

DaCapo Schwabenhaus in der Fertighauswelt in Wuppertal  
(Quelle: SCHWABENHAUS GmbH & Co KG)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

Forschungsinitiative »Zukunft Bau« – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima – [www.ibp.fraunhofer.de/eer](http://www.ibp.fraunhofer.de/eer)

KfW Bankengruppe – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## Isabella GUSSEK HAUS



| »Effizienzhaus Plus GUSSEK Isabella« |                                                                                       |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                            | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 19), 42279 Wuppertal-Oberbarmen |
| Bauherr und Ansprechpartner:         | GUSSEK HAUS, Euregiostraße 7, 48527 Nordhorn<br>Herr Thomas Bernsen                   |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 265 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 206 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 773 m <sup>3</sup>   |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,72 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss:.          | 595 kWh/a*           |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von 3.500 km (17kWh/100km)



Südost-Ansicht Effizienzhaus Plus Isabella

### Projektübersicht

Das Musterhaus Isabella wurde 2013 in der FertighausWelt in Wuppertal erbaut. Es ist nach dem Effizienzhaus Plus Ansatz geplant und erzeugt mehr Energie als die Bewohner verbrauchen. Der Überschuss kann in das öffentliche Netz eingespeist oder für ein Elektroauto oder einen Elektroroller verwendet werden.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

Kostengruppe KG 300: 171.944,-- €

Kostengruppe KG 400: 94.033,-- €

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architekt: Franz Gussek GmbH & Co. KG, Nordhorn [www.gussek-haus.de](http://www.gussek-haus.de)
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: Franz Gussek GmbH & Co. KG

## Literatur, Quellenangaben

- [1] GUSSEK, <http://www.gussek-haus.de/>
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

## Abbildungsnachweis

- Fotos und Grundrisse: Franz Gussek GmbH & Co. KG
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

**Architektur**

Der langgezogene Baukörper mit flachgeneigtem Satteldach zeichnet sich durch wechselnde Oberflächen im Fassadenbereich aus. Ein bunter Klinker, im wilden Verband gemauert, steht im Kontrast zu den weißen Putzflächen im Obergeschoss.

Im Innern des Hauses wurde ein geradliniger Grundriss umgesetzt. Über eine großzügige Diele, vorbei an einem Gäste- bzw. Arbeitszimmer, führt der Weg in den L-förmigen offenen Koch-/Wohn-/Essbereich. Bodentiefe Fenster und ein vorgesetzter Wintergarten sorgen für viel Transparenz. Das seitlich verlängerte Pultdach des Wintergartens überspannt die sich anschließende schattige Veranda. Das Dachgeschoss ist bis in den First geöffnet und bietet einen Elternschlaftrakt mit separater Ankleide und großzügigem Bad. Für die beiden gleichgroßen Kinderzimmer steht ein eigenes Duschbad zur Verfügung. Durch den 190 cm hohen Drempel ist die Wohnfläche im Obergeschoss nahezu ohne Kopfhöhen-Einschränkungen nutzbar.



Erdgeschoss-Grundriss



Dachgeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Das Gebäude ist mit einer gut gedämmten Außenhülle ausgestattet und in einer wärmebrückenreduzierten Bauweise ausgeführt.

Die Außenwände bestehen aus einer Holzrahmenkonstruktion, die mit Mineralwolledämmung der Stärke 15 cm gefüllt ist. Außenseitig ist ein hinterlüftetes Verblendmauerwerk mit einer 10 cm dicken Dämmschicht angeordnet. Der U-Wert der Wandkonstruktion beträgt 0,14 W/m²K.

Die Fenster wurden mit einer 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung ausgeführt und weisen einen  $U_w$ -Wert von 1,0 W/m²K auf.

Das Dach ist zwischen den Sparren mit einer 24 cm dicken Mineralwolledämmung versehen. Die Dachkonstruktion hat einen U-Wert von 0,17 W/m²K.

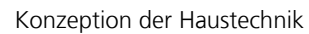
Die 20 cm dicke Bodenplatte liegt auf einer 12 cm dicken Perimeterdämmung auf. Oberseitig ist die Sohle mit einer 5,5 cm dicken Dämmschicht, einem Fußbodenheizungssystem und einem Estrich mit Gehbelag versehen. Der U-Wert der Konstruktion beträgt 0,18 W/m²K.

Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

| Bauteil                              | Aufbau / Material                                           | Dicke [mm] | U-Wert [W/m²K] |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------|----------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)  | Gipskartonplatte                                            | 9,5        | 0,14           |
|                                      | Dampfsperre                                                 | -          |                |
|                                      | Spanplatte                                                  | 13         |                |
|                                      | Holzrahmenkonstruktion mit Mineralwolledämmung WLG 035      | 150        |                |
|                                      | Polystyrol-Dämmung WLG 035 Spanplatte                       | 100        |                |
|                                      | Luftschicht                                                 | 40         |                |
|                                      | Klinker                                                     | 105        |                |
| Fenster                              | Fenster mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung (g-Wert: 0,48) | -          | 1,0            |
| Dach<br>(von oben nach unten)        | Dachstein                                                   | -          | 0,17           |
|                                      | Traglattung                                                 | 30         |                |
|                                      | Konterlattung                                               | 30         |                |
|                                      | Diffusionsoffene Unterspannbahn                             | -          |                |
|                                      | Mineralwolledämmung WLG 035 zwischen Sparren                | 240        |                |
|                                      | Spanplatte                                                  | 13         |                |
|                                      | Gipskartonplatte                                            | 9,5        |                |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten) | Oberbelag                                                   | 10         | 0,18           |
|                                      | Zement-Estrich                                              | 65         |                |
|                                      | Fußbodenheizungssystem                                      | 30         |                |
|                                      | EPS-Dämmung WLG 040                                         | 55         |                |
|                                      | Betonplatte                                                 | 200        |                |
|                                      | Perimeterdämmung WLG 035                                    | 120        |                |

Das Gebäude wird über eine Luft/Wasser Wärmepumpe mit Wärme zum Heizen und zur Trinkwarmwasserbereitung versorgt. In der Wärmepumpe ist ein Trinkwarmwasserspeicher mit einem Fassungsvermögen von 750 l integriert. Die Wärmeübertragung an die Räume erfolgt über Flächenheizungen.

Die Photovoltaikanlage mit einer Größe von 47 m<sup>2</sup> ist auf der nach Südosten ausgerichteten Dachhälfte mit Modulen aus polykristallinen Solarzellen angeordnet. Mit einer Leistung von 7,5 kW<sub>peak</sub> soll die Anlage 7.535 kWh Strom im Jahr erzeugen.





**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                  |             |                          | Deckung                                                                                                                                               |                         |                          |
|---------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Komponente                                              | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                            | Stromertrag             |                          |
|                                                         | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                       | [kWh/a]                 | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung und Warmwasser                 | 809         | 3,26                     | PV-Dach                                                                                                                                               | 7.535 <sup>(2)</sup>    | 160 <sup>(2)</sup>       |
|                                                         |             |                          |                                                                                                                                                       | (7.289 <sup>(3)</sup> ) | (155 <sup>(3)</sup> )    |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung,                        | 2.500       | 10,08                    | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 47 m² |                         |                          |
| Warmwasser, Heizung und Kühlung                         | 3.631       | 14,64                    |                                                                                                                                                       |                         |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 248 m² |             |                          |                                                                                                                                                       |                         |                          |
| Gesamt                                                  | 6.940 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                | 7.535 kWh/a             |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

Isabella GUSSEK HAUS in der FertighausWelt in Wuppertal  
(Quelle: GUSSEK HAUS)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit** – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

**Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung** – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

**Forschungsinitiative »Zukunft Bau«** – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

**Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima** – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

**KfW Bankengruppe** – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

**Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)** – [www.dena.de](http://www.dena.de)



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus Plus

## Adelby Danhaus



| »Effizienzhaus Plus Adelby Danhaus « |                                                                                       |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Standort:                            | FertighausWelt Wuppertal, Schmiedestraße 59 (Parzelle 20), 42279 Wuppertal-Oberbarmen |
| Bauherr und Ansprechpartner:         | Danhaus GmbH, Heideland-Ost 7, 24976 Flensburg-Handewitt<br>Herr Boris Erben          |

### Allgemeine Daten

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Baujahr:                   | 2013                 |
| Bruttogrundfläche:         | 186 m <sup>2</sup>   |
| Beheizte Nettogrundfläche: | 153 m <sup>2</sup>   |
| Beheiztes Gebäudevolumen:  | 574 m <sup>3</sup>   |
| Hüllflächenfaktor A/V:     | 0,68 m <sup>-1</sup> |
| Stromüberschuss:.          | 573 kWh/a*           |

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von ca. 3.400 km (17kWh/100km)



Ost-Ansicht Effizienzhaus Plus Adelby

### Projektübersicht

Das 1,5-geschossige Danhaus Adelby wurde als Musterhaus in der FertighausWelt Wuppertal 2013 erbaut. Die Kombination einer hoch wärmegeämmten Außenhülle mit einer intelligenten Haustechnik sorgt für einen äußerst geringen Heizendenergieverbrauch und mit massivem Außenmauerwerk für guten Schallschutz. Das Ergebnis ist das förderfähige „1 Liter-Haus“, das in Verbindung mit der Außenluft-Wärmepumpe-Direktheizung nur 10,9 kWh pro m<sup>2</sup>/Jahr verbraucht, umgerechnet entsprechend ca. 1 Liter Öl. Durch den Einbau einer Photovoltaikanlage mit eigenem Speichersystem wird das Gebäude zu einem Effizienzhaus Plus, das mehr Energie und Wärme aus der Außenluft erzeugt, als es selbst verbraucht. Die Leistung der Photovoltaikanlage ist tagesaktuell unter dem Link <http://www.danhaus.de/solarstrom/live-report-adelby.html> einsehbar.

**Lage**

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Breitengrad:                                 | 51,32 °N                |
| Längengrad:                                  | 7,25 °O                 |
| Höhenlage:                                   | 318 m über NN           |
| Mittlere Jahrestemperatur:                   | 10,28°C                 |
| Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): | 6,2 °C                  |
| TRY - Klimazone / Referenzstation:           | Klimazone TRY 05, Essen |

**Kosten für die Realisierung**

|                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| Baukosten                     | 295.000,-- € |
| Mehrkosten Effizienzhaus Plus | 49.000,-- €  |

**Zusätzliche Informationen**

## Projektpartner

- Architekt: Danhaus GmbH, [www.danhaus.de](http://www.danhaus.de)
- Monitoring: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima, [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)
- Technische Gebäudeausrüstung: Danhaus GmbH

## Literatur, Quellenangaben

- [1] Danhaus, <http://www.danhaus.de>
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

## Abbildungsnachweis

- Fotos und Grundrisse: Danhaus GmbH
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima - [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

**Architektur**

Architektonisch wird die traditionelle Architektur Norddeutschlands dargestellt: Außen runden sich der grau gedämpfte Klinker, die dunkle Dacheindeckung und die weißen Holzelemente zu einem eleganten Erscheinungsbild. Ein weiteres Element ist der giebelseitig integrierte, vorgezogene Carport mit zusätzlichem Abstellraum, der für eine Ladestation für ein E-Mobil genutzt werden könnte. Das Hausinnere ist gekennzeichnet durch Offenheit und Transparenz. Die Küche geht in einen großzügigen Wohn-Essbereich über. Ein Technikraum erlaubt das Bauen ohne Keller, Büro und Dusch-WC das barrierefreie Wohnen im Alter. Das Obergeschoss verfügt über weitere drei Schlafzimmer und ein Bad.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss

**Bauteile**

Das Gebäude ist mit einer hochgedämmten Außenhülle ausgestattet und in einer wärmebrückenreduzierten Bauweise ausgeführt.

Die Außenwände bestehen aus einer Holzrahmenkonstruktion, die mit Mineralwolledämmung der Stärke 14 cm gefüllt ist. Im Erdgeschoss ist das Gebäude mit einer weiteren Mineralwolledämmschicht von 12 cm einer Luftschicht und einem Verblendmauerwerk versehen. Im Obergeschoss ist eine Holzverkleidung angeordnet. Der U-Wert der Wandkonstruktion beträgt 0,14 W/m²K.

Die Kunststofffenster wurden mit einer 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung ausgeführt und weisen U<sub>w</sub>-Werte von 0,8 W/m²K bis 1,30 W/m²K auf.

Das geneigte Dach ist zwischen den Sparren mit einer 24 cm dicken Mineralwolledämmung versehen. In einer darunter befindlichen Konstruktionsebene der Stärke 6 cm ist eine weitere Mineralwolledämmschicht angeordnet. Die Dachkonstruktion hat einen U-Wert von 0,14 W/m²K.

Die 12 cm dicke Bodenplatte ist mit einer Abdichtung versehen, auf der eine 19 cm dicke Dämmschicht kombiniert aus Wärme- und Trittschalldämmung aufliegt. Darauf ist ein Zementestrich mit Bodenbelag angeordnet. Der U-Wert der Konstruktion beträgt 0,18 W/m²K.

## Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

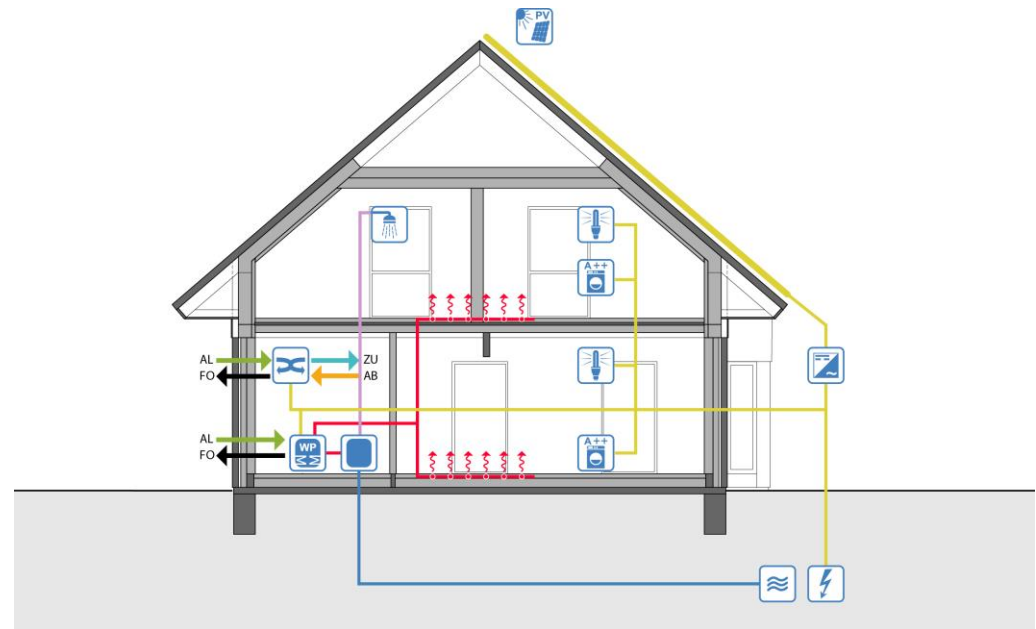
| Bauteil                              | Aufbau / Material                                      | Dicke [mm] | U-Wert [W/m²K] |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------|----------------|
| Außenwand<br>(von innen nach außen)  | Gipsfaserplatte                                        | 20         | 0,14           |
|                                      | PE-Folie                                               | -          |                |
|                                      | Holzrahmenkonstruktion mit Mineralwolledämmung WLG 040 | 140        |                |
|                                      | Holzfaserdämmung WLG 056                               | 12,5       |                |
|                                      | Mineralwolledämmung WLG 035                            | 120        |                |
|                                      | Luftschicht belüftet                                   | 40         |                |
|                                      | Klinker                                                | 115        |                |
| Fenster                              | Kunststoffrahmen mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung  | -          | 0,8 - 1,30     |
| Dach<br>(von oben nach unten)        | Dacheindeckung                                         | -          | 0,12           |
|                                      | Traglattung                                            | 30         |                |
|                                      | Konterlattung                                          | 30         |                |
|                                      | PE-Folie                                               | -          |                |
|                                      | Mineralwolledämmung WLG 035 zwischen Sparren           | 240        |                |
|                                      | PE-Folie                                               | -          |                |
|                                      | Mineralwolledämmung WLG 040 zwischen Unterkonstruktion | 60         |                |
| Bodenplatte<br>(von oben nach unten) | Gipsfaserplatte                                        | 10         | 0,18           |
|                                      | Oberbelag                                              | 10         |                |
|                                      | Zementestrich                                          | 70         |                |
|                                      | Polystyrol-Dämmung WLG 040                             | 30         |                |
|                                      | Polystyrol-Dämmung WLG 035                             | 160        |                |
|                                      | Abdichtung                                             | -          |                |
|                                      | Betonplatte                                            | 120        |                |

**Anlagentechnik**

Das Gebäude wird über eine Luftwärmepumpe mit Direktkondensation mit Wärme für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung versorgt. Die sogenannte Direktwärmepumpe ist eine Luft-Kältemittel-Wärmepumpe, die das Kältemittel direkt in den Heizkreislauf einspeist. Die Wärme wird über eine Fußbodenheizung übertragen, die in allen beheizten Räumen verlegt ist. Im Sommer kann die Wärmepumpe zu Kühlzwecken genutzt werden. Zur Trinkwarmwasserversorgung ist in der Wärmepumpe ein Trinkwasserspeicher mit einem Fassungsvermögen von 200 l integriert. Sowohl der Verdampfer, als auch die Zentraleinheit der Wärmepumpe sind aufgrund der kompakten Bauweise im Außenbereich aufgestellt.

Das Gebäude ist zusätzlich mit einer zentralen Lüftungsanlage ausgestattet, für die bei der kontrollierten Be- und Entlüftung verbrauchte Luft aus den Innenräumen abgesaugt und nach außen geführt wird. Parallel dazu wird frische Außenluft angesaugt, gefiltert, erwärmt und wieder an den Wohnraum abgegeben. Dies führt zu einer stetigen Erneuerung der Raumluft, bei der bis zu 85% der Wärme aus der Abluft zur Erwärmung der frischen Zuluft wieder verwendet wird.

Die Energiegewinnung wird durch eine Photovoltaik-Anlage unterstützt. Auf einer Fläche von 59 m<sup>2</sup> sind Photovoltaikmodule mit monokristallinen Solarzellen verbaut. Die Leistung der Anlage beträgt 9,44 kW<sub>p</sub>.



Konzeption der Haustechnik



**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhaus Plus**

| Bedarf                                                    |             |                          | Deckung (geplant)                                                                                                                                     |                         |                          |
|-----------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Komponente                                                | Strombedarf |                          | Komponente                                                                                                                                            | Stromertrag             |                          |
|                                                           | [kWh/a]     | [kWh/m²a] <sup>(1)</sup> |                                                                                                                                                       | [kWh/a]                 | [kWh/m²a] <sup>(4)</sup> |
| Hilfsenergie für Heizung, Kühlung, Warmwasser und Lüftung | 2.369       | 12,88                    | PV-Dach                                                                                                                                               | 8.950 <sup>(2)</sup>    | 152 <sup>(2)</sup>       |
| Elektrische Geräte, Beleuchtung                           | 2.500       | 13,59                    |                                                                                                                                                       | (8.495 <sup>(3)</sup> ) | (144 <sup>(3)</sup> )    |
| Warmwasser und Heizung                                    | 3.508       | 19,07                    |                                                                                                                                                       |                         |                          |
| <sup>(1)</sup> bezogen auf die Gebäudenutzfläche 184 m²   |             |                          | <sup>(2)</sup> Herstellerangaben<br><sup>(3)</sup> Berechnet für Potsdam nach DIN V 18599<br><sup>(4)</sup> bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 59 m² |                         |                          |
| Gesamt                                                    | 8.377 kWh/a |                          | Gesamt                                                                                                                                                | 8.950 kWh/a             |                          |

# Impressum

## Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Stresemannstraße 128-130  
10117 Berlin

## Ansprechpartner / Projektleitung

Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

März 2018

## Verfasser und Gestaltung

Antje Bergmann, Hans Erhorn, Johann Reiß, Irmgard Haug  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

## Titelbild

Adelby Danhaus in der FertighausWelt in Wuppertal  
(Quelle: Danhaus GmbH)

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – [www.bmub.de](http://www.bmub.de)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung – [www.bbr.bund.de](http://www.bbr.bund.de)

Forschungsinitiative »Zukunft Bau« – [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima – [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

KfW Bankengruppe – [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – [www.dena.de](http://www.dena.de)

## Bildverzeichnis (ohne A.3)

|                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 1: Luftbild FertighausWelt Köln.                                                                                                                                                                     | 11 |
| Bild 2: Luftbild FertighausWelt Wuppertal.                                                                                                                                                                | 11 |
| Bild 3: Siedlungsstruktur FertighausWelt Wuppertal.                                                                                                                                                       | 12 |
| Bild 4: Beheizte Wohnfläche und deren Mittelwert der Effizienzhäuser Plus der FertighausWelt in Wuppertal sowie Mittelwert der Gebäude in Köln.                                                           | 13 |
| Bild 5: Gebäudenutzfläche $A_N$ nach Energieeinsparverordnung und deren Mittelwert der Effizienzhäuser Plus der FertighausWelt in Wuppertal sowie Mittelwert der Gebäude in Köln.                         | 14 |
| Bild 6: Beheiztes Gebäudevolumen und dessen Mittelwert der Effizienzhäuser Plus der FertighausWelt in Wuppertal und der Mittelwert der Gebäude in Köln.                                                   | 15 |
| Bild 7: Gebäudehüllfläche und deren Mittelwert nach Energieeinsparverordnung der Effizienzhäuser Plus der FertighausWelt in Wuppertal und der Mittelwert der Gebäude in Köln.                             | 16 |
| Bild 8: Verhältnis $A/V$ und dessen Mittelwert der Effizienzhäuser Plus der FertighausWelt in Wuppertal sowie der Mittelwert der Gebäude in Köln.                                                         | 17 |
| Bild 9: U-Wert der Dachkonstruktion der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard und EnEV-Referenzwert.                                                                                      | 18 |
| Bild 10: U-Wert der Außenwandkonstruktion der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.                                                                                                      | 19 |
| Bild 11: U-Wert der Fensterkonstruktion der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.                                                                                                        | 20 |
| Bild 12: U-Wert der Bodenplattenkonstruktion der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.                                                                                                   | 21 |
| Bild 13: Bandbreite der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) einzelner Bauteile der Effizienzhäuser Plus Wuppertal im Vergleich zu den Vorgabewerten des Referenzgebäudes der Energieeinsparverordnung. | 22 |
| Bild 14: Transmissionswärmeverlust $H_T$ der Musterhäuser der FertighausWelt in Wuppertal mit Angabe der zulässigen Größen nach der EnEV.                                                                 | 23 |
| Bild 15: Prozentuale Verteilung der Wärmequelle der Wärmepumpen der Musterhäuser der FertighausWelt in Wuppertal.                                                                                         | 24 |
| Bild 16: Prozentuale Verteilung des Lüftungsanlagentyps der Musterhäuser der FertighausWelt in Wuppertal.                                                                                                 | 25 |

|                                                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 17: Art und Verteilung der Photovoltaik-Zellen der Musterhäuser der FertighausWelt in Wuppertal.                                                                                    | 25 |
| Bild 18: Verhältnis Photovoltaikfläche zur beheizten Wohnfläche der Musterhäuser der FertighausWelt Wuppertal.                                                                           | 26 |
| Bild 19: Aufbau und Funktion der Vanadium Redox Flow Batterie (Quelle: Betriebshandbuch CellCube FB 10/20/30; Gildemeister Energy Solutions).                                            | 27 |
| Bild 20: Messschema Elektroversorgung.                                                                                                                                                   | 46 |
| Bild 21: Stromzähler mit Display und Datenschnittstelle (links: Hauszähler, rechts Zähler zur Erfassung der Einzelverbraucher einphasig).                                                | 47 |
| Bild 22: Beispielhaftes Messschema Wärmeversorgung und Lüftungsanlage.                                                                                                                   | 47 |
| Bild 23: Wärmemengenzähler zur Erfassung des Warmwasserverbrauchs und der Zirkulationswärmeverluste (links) bzw. Volumenstrom- und Temperatursensoren in den Lüftungsleitungen (rechts). | 48 |
| Bild 24: Raumtemperaturerfassung; links mittels Raumthermostaten, rechts durch Nachrüstung von Funksensoren, z.B. über den Lichtschaltern.                                               | 48 |
| Bild 25: Ringzähler mit Datenschnittstelle und Display (links) und Abrechnungszähler der Stadtwerke Wuppertal (rechts).                                                                  | 50 |
| Bild 26: Wetterstation auf dem Dach des 07_HUF HAUS-Gebäudes.                                                                                                                            | 53 |
| Bild 27: Funktionsschema der Datenkommunikation.                                                                                                                                         | 54 |
| Bild 28: Webbasiertes com.tom Portal der Fa. Beck IPC.                                                                                                                                   | 54 |
| Bild 29: Imedas™-Konfigurationsoberfläche.                                                                                                                                               | 55 |
| Bild 30: Imedas™-Auswerteoberfläche.                                                                                                                                                     | 55 |
| Bild 31: Monatsmittel der solaren Einstrahlung in Messperiode 1.                                                                                                                         | 58 |
| Bild 32: Monatsmittel der solaren Einstrahlung in Messperiode 2.                                                                                                                         | 58 |
| Bild 33: Monatsmittel der solaren Einstrahlung in Messperiode 3.                                                                                                                         | 59 |
| Bild 34: Monatsmittel der Außenlufttemperatur in Messperiode 1.                                                                                                                          | 60 |
| Bild 35: Monatsmittel der Außenlufttemperatur in Messperiode 2.                                                                                                                          | 60 |
| Bild 36: Monatsmittel der Außenlufttemperatur in Messperiode 3.                                                                                                                          | 61 |
| Bild 37: Verhältnis installierter PV-Fläche zu Gebäudenutzfläche $A_N$ nach EnEV (FertighausWelt Köln).                                                                                  | 62 |
| Bild 38: Verhältnis installierter PV-Fläche zu Gebäudenutzfläche $A_N$ nach EnEV (FertighausWelt Wuppertal).                                                                             | 63 |

|                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 39: Gegenüberstellung des gemessenen spez. PV-Ertrags zu den Prognosewerten, bezogen auf die Gebäudenutzfläche $A_{N \text{ nach EnEV}}$ (FertighausWelt Köln).                                                                      | 64 |
| Bild 40: Gegenüberstellung des gemessenen spez. PV-Ertrags zu den Prognosewerten, bezogen auf die Gebäudenutzfläche $A_{N \text{ nach EnEV}}$ (FertighausWelt Wuppertal).                                                                 | 65 |
| Bild 41: Gegenüberstellung der gemessenen Hausverbräuche zu den Bedarfsberechnungen, bezogen auf die Gebäudenutzfläche $A_{N \text{ nach EnEV}}$ (FertighausWelt Köln).                                                                   | 66 |
| Bild 42: Gegenüberstellung der gemessenen Hausverbräuche zu den Bedarfsberechnungen, bezogen auf die Gebäudenutzfläche $A_{N \text{ nach EnEV}}$ (FertighausWelt Wuppertal).                                                              | 67 |
| Bild 43: Aufschlüsselung der Hausverbräuche auf die Teilbereiche „Heizen, Trinkwarmwasser und Hilfsenergie“ und „Beleuchtung und Haushaltsstrom“, bezogen auf die Gebäudenutzfläche $A_{N \text{ nach EnEV}}$ (FertighausWelt Köln).      | 68 |
| Bild 44: Aufschlüsselung der Hausverbräuche auf die Teilbereiche „Heizen, Trinkwarmwasser und Hilfsenergie“ und „Beleuchtung und Haushaltsstrom“, bezogen auf die Gebäudenutzfläche $A_{N \text{ nach EnEV}}$ (FertighausWelt Wuppertal). | 69 |
| Bild 45: Plusenergiebilanz der Einzelhäuser, bezogen auf die Gebäudenutzfläche $A_{N \text{ nach EnEV}}$ (FertighausWelt Köln).                                                                                                           | 71 |
| Bild 46: Plusenergiebilanz der Einzelhäuser, bezogen auf die Gebäudenutzfläche $A_{N \text{ nach EnEV}}$ (FertighausWelt Wuppertal).                                                                                                      | 72 |
| Bild 47: Eigenverbrauch des erzeugten PV-Stroms innerhalb der einzelnen Gebäude; FertighausWelt Köln.                                                                                                                                     | 73 |
| Bild 48: Eigenverbrauch des erzeugten PV-Stroms innerhalb der einzelnen Gebäude; FertighausWelt Wuppertal. (schraffierte Fläche: PV-Prognose Messjahr 1).                                                                                 | 75 |
| Bild 49: Autarkiegrad der einzelnen Gebäude (FertighausWelt Köln).                                                                                                                                                                        | 76 |
| Bild 50: Autarkiegrad der einzelnen Gebäude (FertighausWelt Wuppertal).                                                                                                                                                                   | 77 |
| Bild 51: Bilanzräume zur Bestimmung der Jahresarbeitszahl.                                                                                                                                                                                | 78 |
| Bild 52: Spezifischer Stromverbrauch für die Beleuchtung der Ausstellungsgebäude, bezogen auf die Gebäudenutzfläche $A_{N \text{ nach EnEV}}$ (FertighausWelt Wuppertal).                                                                 | 82 |
| Bild 53: Stromverschiebung zwischen den einzelnen Gebäuden des Ausstellungsgeländes (FertighausWelt Wuppertal); Zeitraum August 2016 bis Juli 2017.                                                                                       | 84 |
| Bild 54: Stromverschiebung zwischen den einzelnen Gebäuden des Ausstellungsgeländes (FertighausWelt Wuppertal); Zeitraum Juli 2017 bis Juni 2018.                                                                                         | 85 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Bild 55: Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Eigenverbrauch für die Einzelhäuser und das Ausstellungsgelände (FertighausWelt Wuppertal); Zeitraum August 2016 bis Juli 2017.                                                                                      | 86  |
| Bild 56: Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Eigenverbrauch für die Einzelhäuser und das Ausstellungsgelände (FertighausWelt Wuppertal); Zeitraum Juli 2017 bis Juni 2018.                                                                                        | 88  |
| Bild 57: „Erhaltungsladung“ des entleerten Batteriespeichers an einem trüben Novembertag (FertighausWelt Wuppertal).                                                                                                                                                   | 90  |
| Bild 58: Lastverlauf des Ausstellungsgeländes und des Batteriespeichers an einem sonnigen Beispieltag (FertighausWelt Wuppertal).                                                                                                                                      | 91  |
| Bild 59: FertighausWelt Wuppertal.                                                                                                                                                                                                                                     | 94  |
| Bild 60: Informationsstehle im Eingangsbereich der FertighausWelt Wuppertal.                                                                                                                                                                                           | 95  |
| Bild 61: Interview mit dem Geschäftsführers des Bundesverband Deutscher Fertigung e.V.                                                                                                                                                                                 | 96  |
| Bild 62: Interaktive Visualisierung des Living Lab.                                                                                                                                                                                                                    | 96  |
| Bild 63: Videoproduktion der EnergieAgentur NRW, zur Darstellung der Potenziale des Effizienzhauses Plus am Beispiel der FertighausWelt Wuppertal.                                                                                                                     | 97  |
| Bild 64 Darstellung der Einzelprofile für die 8 gemessenen real bewohnten Einfamilienhäuser (graue Linien) für den Verbraucher Beleuchtung für den Typtag Werktag in der Verbrauchsperiode Winter. Der resultierende Mittelwert aller Gebäude ist in grün dargestellt. | 107 |
| Bild 65: Darstellung der Effizienzhaus Plus-Lastprofile für die unterschiedlichen, nicht temperaturabhängigen Verbraucher für den Typtag Werktag in der Verbrauchsperiode Winter.                                                                                      | 108 |
| Bild 66: Gegenüberstellung des H0-Lastprofils des BDEW und des Effizienzhaus Plus-Gesamtlastprofils für den Typtag Werktag und die Verbrauchsperiode Winter.                                                                                                           | 109 |
| Bild 67: Gegenüberstellung des H0-Lastprofils des BDEW und des Effizienzhaus Plus-Gesamtlastprofils für alle Typtage und Verbrauchsperioden.                                                                                                                           | 111 |
| Bild 68: Verlauf des Effizienzhaus Plus-Wärmepumpen-Lastprofils bei unterschiedlichen Tagesmitteltemperaturen der Außenluft.                                                                                                                                           | 114 |
| Bild 69: Verlauf des Effizienzhaus Plus-Wärmepumpen-Lastprofils bei unterschiedlichen Tagesmitteltemperaturen der Außenluft.                                                                                                                                           | 115 |
| Bild 70: Verlauf des stündlichen Strombedarfs der Wärmepumpe berechnet aus dem Effizienzhaus Plus-Wärmepumpen-Lastprofil für ein Musterhaus im Living Lab Wuppertal und                                                                                                |     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Darstellung der dazugehörigen Außentemperatur ( $T_{AMB}$ ) des TRY 04.                                                                                                                                                                                                                                          | 117 |
| Bild 71: Stündlicher Verlauf der einzelnen Verbraucher für ein Musterhaus im Living Lab Wuppertal als Summenkurven in der Jahresübersicht.                                                                                                                                                                       | 118 |
| Bild 72: Stündlicher Verlauf der einzelnen Verbraucher für ein Musterhaus im Living Lab Wuppertal als Summenkurven an verschiedenen Tagen. Die deutlichen Unterschiede zwischen den Tagen sind hauptsächlich auf den Strombedarf der Wärmepumpe aufgrund der unterschiedlichen Außentemperaturen zurückzuführen. | 118 |
| Bild 73: Unterschiedliche Arten der Batteriesystemkopplung mit den wesentlichen Systemkomponenten [13].                                                                                                                                                                                                          | 121 |
| Bild 74: Darstellung der Batterie-Wechselrichterwirkungsgrade verschiedener Batteriesysteme in Abhängigkeit der Auslastung mit Angabe des Mittelwertes und der darauf basierenden polynomischen Regression.                                                                                                      | 122 |
| Bild 75: Darstellung der Nennleistung des Batterie-Wechselrichters verschiedener Batteriesysteme in Abhängigkeit der nutzbaren Batteriekapazität mit Angabe der linearen Regression.                                                                                                                             | 122 |
| Bild 76: Darstellung der Leistungsaufnahme verschiedener Batteriesysteme im Standby bzw. Leerlauf in Abhängigkeit der nutzbaren Batteriekapazität mit Angabe der linearen Regression.                                                                                                                            | 123 |
| Bild 77: Darstellung des Typgebäudes Einfamilienhaus [14].                                                                                                                                                                                                                                                       | 124 |
| Bild 78: Topographie und Netzabschnitte des angesetzten Nahwärmenetzes im Living Lab Wuppertal.                                                                                                                                                                                                                  | 125 |
| Bild 79: Darstellung der wirtschaftlichen Strömungsgeschwindigkeit [m/s] in Nahwärmenetzen in Abhängigkeit der Massenstroms [t/h] [16].                                                                                                                                                                          | 127 |

## Tabellenverzeichnis (ohne A.3)

|                                                                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Größe des Areal und Anzahl der Häuser der FertighausWelten in Wuppertal und Köln.                                                                                                                   | 11 |
| Tabelle 2: Größe des Areal und Anzahl der Häuser der FertighausWelten in Wuppertal und Köln.                                                                                                                   | 22 |
| Tabelle 3: Berechnungsergebnisse der Variante V0 (Referenzvariante) über alle Musterhäuser im Living Lab Wuppertal.                                                                                            | 30 |
| Tabelle 4: Berechnungsergebnisse der Versorgungsvariante V1 mit den Untervarianten V1.1, V1.2 und V1.3.                                                                                                        | 31 |
| Tabelle 5: Berechnungsergebnisse der Versorgungsvariante V2, welche neben den 19 Plusenergie-Musterhäusern noch das Info-Zentrum der FertighausWelt Wuppertal in ein Quartiersnetz integriert.                 | 31 |
| Tabelle 6: Berechnungsergebnisse der Versorgungsvariante V3, welche die Musterhäusern und das Info-Zentrum enthält. Diese sind über ein Quartiersnetz untereinander und mit einer Quartiersbatterie verbunden. | 32 |
| Tabelle 7: Auflistung der Untervarianten für die Versorgungsvariante V4.                                                                                                                                       | 33 |
| Tabelle 8: Ergebnisse der Untervarianten für die Versorgungsvariante V4.                                                                                                                                       | 34 |
| Tabelle 9: Berechnungsergebnisse der Versorgungsvarianten V5.                                                                                                                                                  | 35 |
| Tabelle 10: Berechnungsergebnisse der Versorgungsvarianten V5.2.1 bis V5.2.3.                                                                                                                                  | 36 |
| Tabelle 11: Ergebnisse der Untervarianten für die Versorgungsvariante V1 (Batteriekosten 2015).                                                                                                                | 37 |
| Tabelle 12: Ergebnisse der Untervarianten für die Versorgungsvariante V1 (Batteriekosten Ende 2018).                                                                                                           | 37 |
| Tabelle 13: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit der Untervarianten für die Versorgungsvariante V2 (aktuelle Gesetzeslage des EEG).                                                                               | 38 |
| Tabelle 14: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit der Untervarianten für die Versorgungsvariante V2 (PV-Anlagen im Quartiersstromnetz werden vom EEG wie einzelne, dezentrale Anlagen bewertet).                   | 39 |
| Tabelle 15: Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V3 (aktuelle Gesetzeslage des EEG).                                                                                                                     | 39 |
| Tabelle 16: Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvariante V3 (PV-Anlagen im Quartiersstromnetz werden vom EEG wie einzelne, dezentrale Anlagen bewertet).                                                         | 40 |



|                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 17: Zusätzliche Brutto-Investitionskosten pro weiterem Verbrauchergebäude für die Eigenschließung des Areals.                                                                                                            | 40  |
| Tabelle 18: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit der Untervarianten für die Versorgungsvariante V4 (aktuelle Gesetzeslage des EEG).                                                                                                 | 41  |
| Tabelle 19: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit der Untervarianten für die Versorgungsvariante V4 mit Lithium-Ionen-Akkumulator (PV-Anlagen im Quartiersstromnetz werden vom EEG wie einzelne, dezentrale Anlagen bewertet).       | 41  |
| Tabelle 20: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit der Untervarianten für die Versorgungsvariante V5 (aktuelle Gesetzeslage des EEG).                                                                                                 | 42  |
| Tabelle 21: Geforderte elektrische Energiezähler.                                                                                                                                                                                | 45  |
| Tabelle 22: Geforderte thermische Energiezähler.                                                                                                                                                                                 | 45  |
| Tabelle 23: Geforderte raumklimatische Messgrößen.                                                                                                                                                                               | 46  |
| Tabelle 24: Messtechnische Ausstattung der Ausstellungsgebäude (Stand Juni 2018).                                                                                                                                                | 49  |
| Tabelle 25: Anschlusspunkt der einzelnen Ausstellungsgebäude ans Stromnetz der FertighausWelt Wuppertal.                                                                                                                         | 52  |
| Tabelle 26: Systemische Jahresarbeitszahl ausgewählter Ausstellungsgebäude während der drei Messperioden MP 1 bis MP 3.                                                                                                          | 79  |
| Tabelle 27: Stromverbrauch der Lüftungsanlage für ausgewählte Gebäude.                                                                                                                                                           | 81  |
| Tabelle 28: Auswerteziträume des Siedlungsnetzes und des zentralen Batteriespeichers.                                                                                                                                            | 83  |
| Tabelle 29: Tabellarische Zusammenfassung der elektrischen Energiemengen innerhalb des Ausstellungsgeländes in Wuppertal; Zeitraum August 2016 bis Juli 2017.                                                                    | 87  |
| Tabelle 30: Tabellarische Zusammenfassung der elektrischen Energiemengen innerhalb des Ausstellungsgeländes in Wuppertal; Zeitraum Juli 2017 bis Juni 2018.                                                                      | 88  |
| Tabelle 31: Monatlich in den zentralen Speicher ein- bzw. ausgespeicherte Energiemengen.                                                                                                                                         | 89  |
| Tabelle 32: Tabellarische Zusammenfassung der Stromverläufe auf dem Ausstellungsgelände Wuppertal.(Zeitraum 1. September 2017 und 18. Januar 2018).                                                                              | 92  |
| Tabelle 33: Ergebnisse der DIN V 18599-Berechnungen für die 19 Wuppertaler Musterhäuser. Bei dem dargestellten Energiebedarf handelt es sich um Endenergie bzw. Strom, da dieser für alle Gebäude der einzige Energieträger ist. | 104 |
| Tabelle 34: Aufteilung des Nutzerstroms nach Verbrauchern gemäß den Vorgaben der Effizienzhaus Plus-Initiative.                                                                                                                  | 104 |

|                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 35: Datenbasis für die verfügbaren Messdaten der 8 Effizienzhaus Plus Einfamilienhäuser aus denen die verbraucherscharfen Lastprofile abgeleitet werden.                             | 105 |
| Tabelle 36: Definition der Verbrauchsperioden für die Standardlastprofile des BDEW.                                                                                                          | 107 |
| Tabelle 37: Anteil der einzelnen Verbraucher am normierten Effizienzhaus Plus-Gesamtlastprofil.                                                                                              | 109 |
| Tabelle 38: Ergebnisse der PV-Ertragsmodellierung für die 19 Wuppertaler Musterhäuser sowie Angaben zur installierten Leistung.                                                              | 119 |
| Tabelle 39: Feste Einspeisevergütung für PV-Anlagen mit Inbetriebnahme ab 1.1.2017 nach [11].                                                                                                | 120 |
| Tabelle 40: Erlösbergrenzen des Marktprämienmodells für PV-Anlagen mit Inbetriebnahme ab 1.1.2017 nach [11]. Die angegebene Erlösbergrenze beinhaltet die Managementprämie von 0,4 Cent/kWh. | 120 |
| Tabelle 41: Energierrelevante Eigenschaften des Typgebäudes Einfamilienhaus.                                                                                                                 | 124 |
| Tabelle 42: Ergebnisse der Endenergiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 für das Typgebäude Einfamilienhaus nach Schrade Velux [14] mit verschiedenen Wärmeerzeugern.                         | 125 |
| Tabelle 43: Ergebnisse der Rohrnennweitenbestimmung der einzelnen Nahwärmenetzabschnitte.                                                                                                    | 127 |
| Tabelle 44: Eingangsdaten und Ergebnisse der Druckverlustberechnung der einzelnen Nahwärmenetzabschnitte.                                                                                    | 128 |
| Tabelle 45: Eingangsdaten und Ergebnisse der Wärmeverlustberechnung der einzelnen Nahwärmenetzabschnitte.                                                                                    | 130 |
| Tabelle 46: Eingangsdaten und Ergebnisse der Berechnung des Verhältniswertes zwischen Endenergiebedarf Fernwärme und Wärmepumpe für die Beheizung bzw. Trinkwarmwassererzeugung.             | 131 |
| Tabelle 47: Ergebnisse der Endenergiebedarfs-Berechnung für die Wärmeerzeugung durch Fernwärme.                                                                                              | 132 |
| Tabelle 48: Brutto-Investitionskosten für die Eigenschließung des Areals mit einem Quartiersstromnetz im Vergleich zur Erschließung durch das EVU.                                           | 134 |
| Tabelle 49: Lebensdauer der Anlagenkomponenten für die Eigenschließung des Areals mit einem Quartiersstromnetz und zur Erschließung durch das EVU.                                           | 134 |
| Tabelle 50: Investitionskosten für verschiedene Komponenten.                                                                                                                                 | 135 |
| Tabelle 51: Betriebsgebundene Kosten für verschiedene Komponenten. Prozentangaben beziehen sich auf die Erstinvestitionskosten                                                               | 136 |

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 52: Verbrauchskosten für verschiedene Energieträger. | 136 |
| Tabelle 53: Lebensdauer für verschiedene Komponenten.        | 137 |