

IBP-Bericht WB 175/2015

Energieeffizienter Neubau von Wohngebäuden - Begleitforschung und Querauswertung von Modellvorhaben (Phase 2)

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

Hans Erhorn
Antje Bergmann

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

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht WB 175/2015


Energieeffizienter Neubau von Wohngebäuden - Begleitforschung und Querauswertung von Mo- dellvorhaben (Phase 2)

Durchgeführt im Auftrag
des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumfor-
schung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und
Raumordnung (BBR)

Der Bericht umfasst
79 Seiten Text
15 Tabellen
59 Abbildungen


Hans Erhorn
Antje Bergmann

Stuttgart, 19. Mai 2015

Institutsleiter

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Klaus Peter Sedlbauer

Abteilungsleiter

Dipl.-Ing.
Hans Erhorn

Bearbeiter

Dipl.-Ing.
Antje Bergmann

Inhalt

1	Kurzfassung	3
2	Summary	6
3	Hintergrund und Aufgabenstellung	9
4	Projektübersicht	10
5	Effizienzhaus Plus	17
5.1	Definition und Bewertungsmethode	17
5.2	Rechenhilfe	19
5.3	Leitfaden für das Monitoring	20
6	Querauswertung	21
6.1	Geometrische Kennwerte	21
6.2	Kennwerte des baulichen Wärmeschutzes	26
6.3	Anlagentechnischen Kennwerte	33
6.4	Ergebnisse Monitoring	39
6.4.1	Meteorologische Randbedingungen	42
6.4.2	Erträge aus Photovoltaikanlagen	45
6.4.3	Endenergieverbrauch der Gebäude	54
6.4.4	Endenergieüberschuss	67
6.4.5	Anlagenperformance	68
6.4.6	Problemstellungen während des Monitorings	69
6.4.7	Kosten und Wirtschaftlichkeit	70
6.5	Empfehlungen für die Normung und KfW Förderprogramme	73
7	Zusammenfassung und Ausblick	76
8	Literaturverzeichnis	78

1 Kurzfassung

Als Beitrag zum Klimaschutz und angesichts zunehmender Ressourcenverknappung bei fossilen Energieträgern werden energieeffizientere Modelle für eine zukunftsfähige Energieversorgung unter verstärkter Einbeziehung regenerativer Energiequellen erprobt. Der Bausektor steht dabei mit seinem hohen Energiebedarf im Fokus des Interesses. Während Häuser bisher fast ausschließlich als Energieverbraucher in Erscheinung treten, können sie unter Nutzung moderner Energiegewinnungstechnologien bereits heute zu Energieerzeugern werden. Durch den gezielten Einsatz von regenerativen Energiequellen im und am Gebäude – wie z. B. die Nutzbarmachung von Sonnenenergie oder Erdwärme – werden Häuser zu Plus-Energie-Häusern. Der Nachweis, dass dies an gebauten Beispielen möglich ist soll im Rahmen des vom ehemaligen Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) aufgelegten und vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) fortgeführten Förderprogramms „Modellprojekte im Effizienzhaus Plus Standard“ geführt werden. Mit dem Projekt werden Bauherren unterstützt, die Gebäude errichten, die deutlich mehr Energie produzieren, als für den Betrieb notwendig ist. Die Modellprojekte sollen einzeln evaluiert und zusätzlich im Rahmen eines wissenschaftlichen Begleitprogramms querausgewertet werden. Hierbei wurde mit den beteiligten Unternehmen im Rahmen eines Netzwerkes eine Plattform für den Informationsaustausch entwickelt. Das BMUB hat im Rahmen dieses Netzwerkes ein eigenes zukunftsweisendes Projekt (Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität) in der Fasanenstraße 87 a in Berlin errichtet. Die anderen in diesem Modelvorhaben untersuchten Projekte befinden sich über ganz Deutschland verteilt. Fünf davon sind als Musterhäuser in der Fertighauswelt in Köln-Frechen errichtet. Bis Dezember 2014 waren 33 Projekte annähernd fertiggestellt wovon 27 als Ein- bis Zweifamilienhaus konzipiert sind und 6 als Mehrfamilienhaus mit 6 bis 74 Wohneinheiten geplant wurden. Gegenstand dieses Berichts ist die Auswertung und der Vergleich aller Vorhaben in Bezug auf ihre planerischen Kennwerte zur Erlangung des Effizienzhaus Plus Standards sowie die Auswertung der realen Gebäudeperformance auf Basis der aufgezeichneten Messwerte.

Ein Internetportal, das seit Herbst 2012 auf der Internetseite des ehemaligen BMVBS mit Namen „Effizienzhaus Plus“ aufgebaut wurde, wurde 2015 auf der Internetseite der Forschungsinitiative Zukunft Bau (www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/) neu gelauncht und informiert über die Modellvorhaben. Jedes Projekt ist in Form eines Steckbriefs mit Beschreibung zu den Themen Architektur, Baukonstruktion, Haustechnik, Kosten, Energiebilanzierung sowie reale Meßdaten dokumentiert. Zur Überprüfung der Einhaltung der Anforderungen des Effizienzhaus Plus Standards auch im bewohnten Zustand werden die Gebäude des Netzwerkes durch ein Monitoring Programm begleitet. Ziel des Monitorings ist die Validierung der Gebäude im bewohnten Zustand, um zu überprüfen, ob das Gebäude auch in der Praxis tatsächlich mehr erneuerbare Energie erzeugt als zum Hausgebrauch erforderlich ist. Zusammen mit den Projektpartnern wurde ein Messkonzept für die einzelnen Modellvorhaben entwickelt, das die zu messenden Energieverbräuche erlaubt vergleichend zu bewerten.

Als Bewertungsmethode für das Effizienzhaus Plus gilt ein erweiterter EnEV-Nachweis. Hierzu wird der Nachweis in Anlehnung an die Energieeinsparverordnung (EnEV) nach der DIN V 18599 geführt. In Ergänzung zum Nachweis müssen die End- und Primärenergiebedarfswerte für die Wohnungsbeleuchtung und die Haushaltsgeräte und –prozesse mit berücksichtigt werden. Es wird ein pauschaler Wert von 20 kWh/m²a jedoch maximal 2.500kWh/a je Wohneinheit angesetzt. Unter Berücksichtigung des durch die Photovoltaik- und kleine Windkraftanlagen erzeugten Stroms, verfügen alle Projekte über einen rechnerischen End- und Primärenergieüberschuss. Damit erreichen die Modellvorhaben den Effizienzhaus Plus Standard. Eine Ausnahme bildet ein Projekt in Tübingen, das aufgrund des Anschlusszwangs an primärenergetisch hocheffizientes Nahwärmenetz zwar einen Primärenergie- aber keinen Endenergieüberschuss nachweisen kann und ein Projekt in Frankfurt, dessen Bilanzierung des eingesetzten BHKWs nach der bis zum Gültigkeitsbeginn der EnEV 2014 referenzierte Fassung der DIN V 18599 einen positiven End- und Primärenergiebedarf auswies, nach der seit Gültigkeit der EnEV 2014 überarbeiteten Fassung der DIN V 18599 jedoch keine negative Endenergiebilanz mehr aufweist. Hier wurde die Definition des Effizienzhaus Plus Standards vom Fördergeber objektspezifisch angepasst. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein Rechentool zum Nachweis des Effizienzhaus Plus Standards entwickelt und steht im Internet zur kostenfreien Nutzung zur Verfügung (www.effizienzhaus-plus-rechner.de).

Die Modellvorhaben sind überwiegend in einer kompakten Form mit energetisch optimierten Baukonstruktionen erstellt. Die mittlere Gebäudenutzfläche A_N nach EnEV der Ein- bis Zweifamilienhäuser hat eine Größe von 284 m². Im Vergleich zur durchschnittlichen Wohnfläche von 135 m² von Ein- bis Zweifamilienhäusern in Deutschland ist die mittlere Wohnfläche mit 200 m² relativ groß. Die Wohnfläche der Wohneinheiten der Mehrfamilienhäuser schwankt zwischen 40 m² und 100 m² und ist im Vergleich zum Bundesdurchschnitt von 67 m² auch relativ groß. Aufgrund der wärmetechnisch hochwertigen Hüllflächenbauteile liegt der Transmissionswärmeverlust H_T aller Gebäude zwischen 0,13 W/(m²K) und 0,40 W/(m²K) und unterschreitet die Anforderung der EnEV im Mittel um 50 %. Damit bewegt sich die mittlere energetische Qualität der Gebäudehülle zwischen den KfW-Förderstufen (Effizienzhaus 40 und 70) mit einem Schwerpunkt in Richtung KfW-Effizienzhaus 55.

Die Wärmeerzeugung und Trinkwarmwassererwärmung erfolgt überwiegend mit elektrisch betriebenen Wärmepumpen, die auf unterschiedliche Wärmequellen zurückgreifen. 57 % der Projekte verfügen über einen elektrochemischen Speicher mit Bruttospeicherkapazitäten von 3,5 kWh bis 40 kWh im Einfamilienhausbereich und bis zu 250 kWh für ein Mehrfamilienhaus. Die solare Stromerzeugung der Gebäude wird überwiegend mit Photovoltaikmodulen bestehend aus monokristallinen Solarzellen erzeugt. Diese werden in Aufdach- oder Indachmontage installiert. Etwa 25 % der Projekte erhalten zusätzliche Photovoltaikmodule, die integriert in den vertikalen Fassaden angeordnet werden. Für Ein- bis Zweifamilienhäuser werden in etwa 0,48 m² Photovoltaikfläche je m² Wohnfläche benötigt um den Effizienzhaus Plus Standard zu erreichen. Für Mehrfamilienhäuser sollten im Mittel 0,34 m² Photovoltaikfläche je m² Wohnfläche zur Verfügung stehen.

Jedes Gebäude wird über einen Zeitraum von zwei Jahren messtechnisch begleitet. Dazu werden die zugeführten Energiemengen und die vom Gebäude ins Netz eingespeisten Energiemengen kontinuierlich erfasst. Ferner werden die äußeren und inneren Klimabedingungen und die nutzerspezifischen Verbräuche gemessen. Die Messergebnisse zeigen, dass die gemessenen Erträge der Photovoltaikanlagen bis auf wenige Ausnahmen gut mit den vorherberechneten Daten korrespondieren. Der Eigennutzungsanteil des PV-Stroms über die 2-jährige Monitoringphase liegt für Gebäude ohne Stromspeicher im Mittel bei 28 % und kann für Gebäude mit Stromspeicher auf bis zu 60 % erhöht werden. Je nach Dimensionierung der PV-Anlagen liegt der Autarkiegrad, das Verhältnis des eigenverbrauchten PV-Stroms zum Gesamtstrombedarf des Gebäudes, für Gebäude ohne Stromspeicher im Mittel bei ca. 36 % und kann bei Nutzung einer Batterie auf im Mittel 50 % erhöht werden. Auf Basis der Messergebnisse, die teilweise von umfangreichen Ausfallzeiten der Batterien geprägt waren, lassen sich jedoch noch keine allgemeingültigen Dimensionierungsparameter für PV-Stromspeicher ableiten.

Der Endenergieverbrauch überwiegend aller Gebäude ist höher als vorherberechnet. Dabei zeigten sich sowohl Mehrverbräuche durch Ineffizienzen für den Betrieb der Anlagentechnik zur Bereitstellung der Heizwärme, Trinkwarmwasserbereitung und Lüftung als auch erhöhte Verbräuche für den Haushaltsstrom und die Beleuchtung. Im Jahr 2013 lag der Mehrverbrauch im Mittel bei 46 %, im Jahr 2014 konnte er durch Optimierungen am Gebäude und den günstigen Klimaverhältnissen auf 23 % Mehrverbrauch reduziert werden. Für den pauschalen Ansatz des Effizienzhaus Plus Standards wird empfohlen den Endenergiebedarf für Beleuchtung, Haushaltsgeräte und Haushaltsprozesse um ca. 20% auf 25 kWh/m²a und die Maximalgrenze je Haushalt auf 3.500 kWh/a zu erhöhen.

Der Endenergieüberschuss der Gebäude, der sich aus der Differenz des PV-Ertrags und des Endenergieverbrauchs ergibt, war nach dem 1. Messjahr noch bei 4 Projekten negativ und konnte im 2. Messjahr durch Optimierung der Anlagen- und Messtechnik bis auf ein Projekt mit einer positiven Bilanz abschließen und den Effizienzhaus Plus Standard erreichen. Dabei wurden die vorherberechneten Werte nur bei einem Objekt erreicht und übertroffen, für alle anderen Gebäude fiel der Überschuss geringer aus als geplant. Bei der Dimensionierung der Photovoltaikanlage sollte daher eine 10 bis 20 %ige Überdimensionierung zum Ausgleich einer nicht optimalen Gebäudeperformance durchgeführt werden.

Es hat sich gezeigt, dass zur Erlangung des Effizienzhaus Plus Standards ein Mindestmonitoring in einer Einregulierungsphase von ca. 2 Jahren erforderlich ist. Dabei ist eine frühzeitige Kommunikation unter den Projektpartnern und eine intensive Pflege der Messsensorik und Messdaten in der Monitoringphase zwingend erforderlich.

Zu den Kosten der einzelnen Projekte wurden unterschiedlich ausführliche Angaben gemacht. Eine Analyse der derzeit fertig gestellten Projekte zeigt Bruttokosten für die Kostengruppen KG 300 und KG 400 in einer Größenordnung von 1.100 €/m²_{Nutzfläche} und 2.000 €/m²_{Nutzfläche}.

2 Summary

In view of dwindling fossil fuel resources and with the aim of contributing to climate protection, new models for a sustainable energy supply are currently being tested, with a focus on renewable sources of energy. In this context, the building sector with its high energy demand is in the centre of interest. While buildings so far have mainly been known as energy consumers, they can now be turned into energy producers by using modern energy generation technologies - already today. The appropriate use of regenerative sources of energy in and around buildings – like solar energy or geothermal heat, for instance – allows to turn buildings into plus-energy buildings. In the scope of the funding programme 'Model projects in the Efficiency House Plus standard' [Modellprojekte im Effizienzhaus-Plus-Standard] which was launched by the former German Federal Ministry of Transport, Building and Urban Affairs (BMVBS) - now German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB) - demonstration buildings will prove that this is possible. This project supports builders who raise houses that produce significantly more energy than they require. Each model project will be individually evaluated; in the scope of a research-accompanying programme, additional monitoring and analyses are included. Within this framework, BMUB has realized its own sustainable project, the so-called 'Efficiency House Plus with electro-mobility' ('Effizienz-Haus Plus mit Elektromobilität') which was built in Berlin at Fasanenstrasse 87a. The other buildings are spread all over Germany with five model projects located in a Cologne prefab-house centre, at Köln-Frechen Fertighauswelt. Until December 2014, all in all 33 projects were almost finished, 27 of which are one- to two-family houses; 6 are multifamily houses including 6 up to 74 dwelling units. The present report focuses on the evaluation and the comparison of all projects with regard to their design parameters to achieve the Efficiency House Plus Standard and on the analysis of the actual building performance on the basis of the recorded data.

An Internet portal entitled 'Effizienzhaus Plus' (Efficiency House Plus), which was installed at the BMVBS website in fall 2012 is, has now been moved to the website of the research initiative 'Future of Building' (www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/). This requires a detailed description of the project with regard to architecture, building construction, building services and energy balances in the form of a building summary/ property profile. To ensure that the requirements characterising the Efficiency House Plus standard are still complied with after the building has been occupied, all network buildings are subjected to an ongoing monitoring programme. The monitoring is designed to validate whether the occupied buildings are actually generating more energy than they need to be operated. The project partners cooperated to develop a measurement concept for the various model projects which describes the shares of the energy consumption that are to be measured.

The evaluation method for rating the Efficiency House Plus/ Effizienzhaus Plus is provided by the extended EnEV-certificate as specified in the German Energy Saving Ordinance (EnEV), according to German standard DIN V 18599. To this end, the certification procedure follows the German Energy Saving Ordinance (EnEV)

according to DIN V 18599. In addition to the certificate, the characteristic values of the delivered and primary energy need for residential lighting, domestic appliances and processes must also be considered. A blanket value of 20 kWh/m²a with a maximum of 2,500 kWh/a per residential unit is assumed. Taking self-generated photovoltaic (and small-scale wind power) electricity into account, which is allowed to be included according to EnEV §5, all projects are distinguished by a calculated delivered and primary energy surplus. With this, the model projects achieve the Efficiency-House-Plus standard. An exception was made for two projects, namely (1) for a project at Tübingen, for which - due to the compulsory connection to the local heat - an energy surplus could be verified only with regard to primary energy use, but not for delivered energy and (2) for a project at Frankfurt, which failed to reach the required performance due to a modification in the revised 2014 EnEV version. In the latter case, the definition of the efficiency house plus standard was modified by the funding body to suit the specificities. A calculation tool allowing to document the Efficiency-House-Plus standard was developed in the scope of this research project, which is available for free download at www.effizienzhaus-plus-rechner.de.

Most model projects built have a compact form, featuring energy optimised building constructions. The mean building net area A_N acc. to EnEV of the single/ dual-family houses is equal to 284 m². Compared to an average living space of 135 m² in single/ dual family homes in Germany, the mean living space of 200 m² is relatively large. In the dwelling units of the multi-family apartment houses, the living space ranges from 40 m² to 100 m², which is also rather large compared with the German average of 67 m². Due to the high-quality thermal envelope components, the overall transmission heat loss H_T of all buildings varies between 0.13 W/(m²K) and 0.40 W/(m²K), which means it is on average by 50 % better than specified in the EnEV requirements. With this, the mean energy performance of the building envelope ranges between the KfW levels of subsidy (efficiency houses 40 and 70) with a focus towards KfW efficiency house 55.

Heat generation and DHW heating is mainly supplied by electrically driven heat pumps, which use different heat sources. In 57 % of the projects an electro-chemical storage system is available: with a gross storage capacity of 3.5 kWh to 40 kWh in single-family homes and up to 250 kWh for a multi-family building. Solar electricity for the buildings is mainly generated using photovoltaic modules made of monocrystalline solar cells, which are installed as roof-top solutions or fitted as in-roof installations. About 25 % of the projects are provided with additional photovoltaic modules, which are integrated into the vertical building façades. To achieve Efficiency House Plus standard in single to dual family homes, a PV area of about 0.48 m² is required for every square metre of living space. For multi-family houses, an average area of 0.34 m² photovoltaic modules per m² living space should be available.

Every building will be monitored for a period of two years. During this phase, the amounts of supplied energy and the volumes of energy that are fed into the grid from the building will be continuously recorded. Besides, indoor and outdoor climate conditions and user-specific consumptions will be measured. The measured

data prove that the measured yields of the photovoltaic systems are in good agreement with the predicted data, apart from a few minor exceptions. For buildings without electricity storage facility the degree of self-use of PV-generated electricity during the 2-year monitoring phase is 28 % on average, which can be raised up to 60 % for buildings using energy storages. Depending on the dimensions of the PV-systems, the degree of self-sufficiency (i.e. the ratio of the self-used PV electricity to the total electricity requirement of the building) amounts to an average of about 36 % in buildings without electricity storage facilities. When using a battery, this degree can be increased by 50 % on average. On the basis of these measured data, which were partially characterized by extensive downtime of the batteries, it is however not possible to derive any generally valid dimensioning parameters for PV-electricity storage devices.

The final energy consumption (delivered energy use) of most of all buildings is higher than predicted. This is associated with increased consumption due to inefficiencies when running the building services systems for supply of space heating, DHW and ventilation on the one hand and additional consumption for domestic electricity and lighting on the other. In 2013, additional consumption was 46 % on average; on account of building optimization and favourable climatic conditions, it could be reduced to 23 % in 2014. Regarding the general approach underlying the Efficiency House Plus Standard it is recommended to increase the final energy demand for lighting, domestic appliances and domestic processes by some 20 % to 25 kWh/m²a and to raise the maximum limit for each household to 3,500 kWh/a.

In 4 projects, the final energy surplus of the buildings (which results from the difference between the PV-yield and the final energy consumption) was still negative after the first year of measurements. With the exception of one project, these buildings could establish a positive balance in the second year of measurements (following optimization of building services systems and measurement equipment) to achieve the Efficiency House Plus Standard. The predicted values were achieved (and surpassed) only by one building, for all other buildings the surplus turned out to be less than expected. In view of this experience, 10 -20 % of overdimensioning should be considered when designing the layout of the photovoltaic system, to compensate for suboptimal building performance.

It was found that minimum monitoring in an adjustment phase of about 2 years is necessary to achieve the Efficiency House Plus Standard. Equally important is that project partners communicate early in the process, that measurement sensors are carefully maintained, and measured data are meticulously managed during the monitoring phase.

Regarding the costs of the individual projects, information was more or less detailed. An analysis of the currently concluded projects suggests gross costs for cost groups KG 300 and KG 400 in an order of 1,100 €/m² _{UFA} and 2,000 €/m² _{UFA}.

3 Hintergrund und Aufgabenstellung

Die Bundesregierung hat im Energiekonzept vom 28. September 2010 beschlossen, die Treibhausgasemissionen in Deutschland bis zum Jahr 2020 um 40 %, bis zum Jahr 2030 um 55 %, bis zum Jahr 2040 um 70 % und bis zum Jahr 2050 um 80 – 95 % unter das Niveau von 1990 zu senken. Um diese Ziele zu erreichen, müssen in den nächsten Jahren alle gesellschaftlichen Akteure mobilisiert werden, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Nur so kann es gelingen, innerhalb von 40 Jahren ein Treibhausgasemissionsniveau nahe Null zu erreichen.

Die Nationale Klimaschutzinitiative setzt - ergänzend zu anderen Instrumenten – Anreize, um die Potenziale zur Emissionsminderung kosteneffizient und breitenwirksam zu erschließen. Unter dem Leitbild „100-Prozent-Klimaschutz“ verfolgt sie das Ziel, Hemmnisse und Informationsdefizite zu identifizieren und abzubauen, die Marktdurchdringung vorhandener, hocheffizienter Technologien zu unterstützen, zukunftsweisende Klimaschutztechnologien und -innovationen zu demonstrieren und diese öffentlichkeitswirksam zu verbreiten. Die Nationale Klimaschutzinitiative ist ein zentraler Baustein zur Umsetzung des Integrierten Energie- und Klimaschutzprogramms sowie der Klimaschutzziele des Energiekonzeptes.

Als Beitrag zum Klimaschutz und angesichts der zunehmenden Ressourcenverknappung bei fossilen Energieträgern werden in Deutschland und Europa neue Modelle für eine zukunftsfähige Energieversorgung unter verstärkter Einbeziehung regenerativer Energiequellen erprobt. Der Bausektor steht mit seinem hohen Energiebedarf (rund 40 Prozent des Energieverbrauchs entfallen auf Gebäude) im Fokus des Interesses. Da im Gebäudebereich in Punkto Energieeffizienz in den vergangenen Jahrzehnten bereits deutlich messbare Erfolge erzielt worden sind, werden hier auch in Gegenwart und Zukunft wesentliche Entwicklungen zur weiteren Reduzierung des Energiebedarfs – beispielsweise durch Plusenergiehauskonzepte – erwartet.

Während Häuser bisher fast ausschließlich als Energieverbraucher in Erscheinung treten, können sie unter Nutzung moderner Energiegewinnungstechnologien bereits heute zu Energieerzeugern werden. Durch den gezielten Einsatz von regenerativen Energiequellen im und am Gebäude – wie z. B. die Nutzbarmachung von Sonnenenergie oder Erdwärme – werden Häuser zu Plus-Energie-Häusern und damit zu Kleinkraftwerken. In der Jahressumme erzeugen sie mindestens die für die Wohnnutzung inklusiv des Betriebs von Haushaltsgeräten benötigte Energie und darüber hinaus ein „Plus“ d. h. einen Energieüberschuss, der für andere Zwecke bereitgestellt werden kann. Der Nachweis, dass dies technisch generell möglich ist, wurde an verschiedenen Modellen geführt. Bisher mangelt es aber an überzeugenden gebauten Beispielen mit Vorbildcharakter und dem notwendigen Markteinstieg. Ferner werden Erkenntnisse über die Leistungsfähigkeit, die Dauerhaftigkeit, die Nachhaltigkeit, die Effizienz und die Wirtschaftlichkeit von passiven und aktiven Technologien für die Energieeffizienz und die Energiegewinnung am Gebäude benötigt.

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), zwischenzeitlich übergegangen in das Bundesministerium für Umwelt, Bau, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMUB) hat das Förderprogramm „Modellprojekte im Effizienzhaus Plus Standard“ aufgelegt. Mit dem Projekt werden Bauherren unterstützt, die Gebäude errichten, die deutlich mehr Energie produzieren, als für den Betrieb notwendig ist. Diese Energie soll insbesondere für die Elektromobilität zur Verfügung stehen. Die Modellprojekte sollen einzeln evaluiert und zusätzlich im Rahmen eines wissenschaftlichen Begleitprogramms ausgewertet werden. Mit den gewonnenen Forschungsergebnissen soll das Energiemanagement von modernen Gebäuden verbessert und die notwendigen Komponenten für die effiziente Gebäudehülle und die Nutzung erneuerbarer Energien weiter entwickelt werden. Das BMUB hat im Rahmen dieses Netzwerks ein eigenes zukunftsweisendes Projekt (Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität) in der Fasanenstraße 87 a in Berlin errichtet. Für die Auswertung und den Vergleich aller Vorhaben wurde ein Begleitforschungsvorhaben zur wissenschaftlichen Unterstützung des BMUB und des Bundesinstituts für Bau-, Stadt-, - und Raumforschung (BBSR) eingerichtet. Das Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) wurde mit der Durchführung dieses Vorhabens beauftragt. Die durchzuführenden Arbeiten können in folgende Themenfelder eingeteilt werden:

- Zuarbeit zum Internetportal www.BMVBS.de (Effizienzhaus-Plus), während der Projektlaufzeit geändert in www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus
- Zusammenfassende projektübergreifende Auswertung der im Programm geförderten Vorhaben
- Durchführung von Workshops
- Durchführung von Aktivitäten zur Verbreitung und Umsetzung der Ergebnisse bei Projektpartnern, in der Berufspraxis und in Planungsbüros
- Beratung des BMVBS bei/BBSR

Bestandteil dieses Berichts ist die zusammenfassende, projektübergreifende Auswertung, der im Programm geförderten Vorhaben in Form einer Querauswertung. Die Arbeiten bauen auf den Ergebnissen der Phase 1 auf, die in [1] veröffentlicht wurden.

4 Projektübersicht

Das ehemalige Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung („ehemalig BMVBS“) hat 2011 ein Pilotgebäude in Berlin errichten lassen und darüber hinaus ein Forschungsförderprogramm für Modellhäuser aufgelegt, welche den sogenannten „Effizienzhaus Plus-Standard“ erfüllen. Mit dem Programm werden bundesweit vorerst 34 Bauherren unterstützt (2 zusätzliche Projekte nehmen als externe Partner am Programm teil), die Wohngebäude errichten, die deutlich mehr Energie produzieren, als für deren Betrieb notwendig ist. Die Gebäude werden unter realen, das heißt bewohnten, Bedingungen getestet und evaluiert. Bis Dezember 2014 sind 33 Objekte fertiggestellt bzw. stehen kurz vor der Bezugsreife, die restlichen 3 Vorhaben werden im Laufe des Jahres 2015 „ans Netz“ gehen. 12 Projekte haben bereits eine zweijährige Monitoringphase abgeschlossen, 8 Projek-

te durchlaufen das 2. Messjahr und die restlichen 16 Projekte haben mit dem Monitoring begonnen oder werden im Laufe des Jahres 2015 starten.

Unter den bisher realisierten Gebäuden befinden sich sowohl Ein- bis Zweifamilienhäuser als auch Mehrfamilienhäuser mit 6 bis 74 Wohneinheiten. Die Standorte der Demonstrationsgebäude innerhalb Deutschlands zeigt Bild 1.

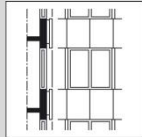
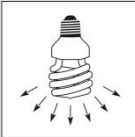

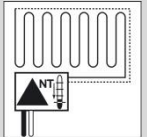

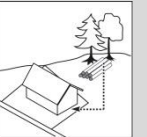
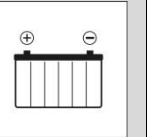
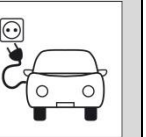










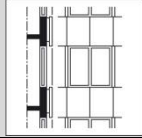


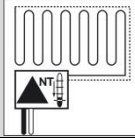
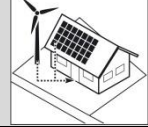
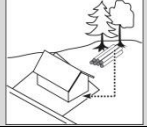
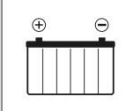
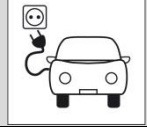









Bild 1:
Standorte der Demonstrationsgebäude des Förderprogramms „Effizienzhaus Plus“ des Bundes.

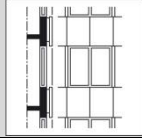
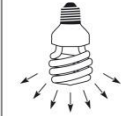

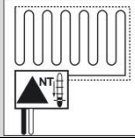
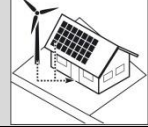
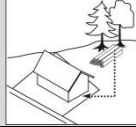
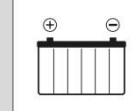
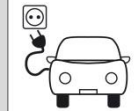









Die in den Modellvorhaben eingesetzten innovativen Technologien sind schwerpunktmäßig in Tabelle 1 in Form einer Matrix dargestellt.

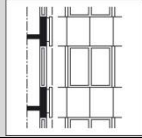
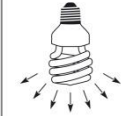

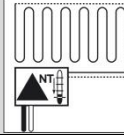
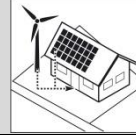
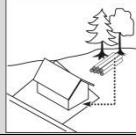
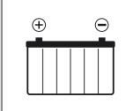
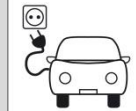





Tabelle 1:

Übersichtsmatrix mit eingesetzten innovativen Technologien der Effizienzhäuser Plus.

		Technologien								
		Innovative Fassade	Hoch-effiziente Beleuchtung	Energie-management	Nieder-temperatur-Heizsystem	Erneuerbare Energien am Standort	Biomasse extern zugeführt	Elektrizitätsspeicher	Elektro-Mobilität	
										
(0)	BMUB Haus, Berlin		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
(1)	Köln HUF HAUS		-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	-
(2)	Köln Schwörer Haus		-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	<input checked="" type="checkbox"/>
(3)	Köln Bien-Zenker		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
(4)	Köln WeberHaus		-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
(5)	Köln FingerHaus		-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	-
(6)	Münnerstadt		-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
(7)	Weifa		-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

		Technologien							
		Innovative Fassade	Hoch-effiziente Beleuchtung	Energie-management	Nieder-temperatur-Heizsystem	Erneuerbare Energien am Standort	Biomasse extern zugeführt	Elektrizitätsspeicher	Elektro-Mobilität
									
(8)	Stelzenberg 	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	-
(9)	Eußenheim 	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	<input checked="" type="checkbox"/>
(10)	Brieselang 	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
(11)	Unterkirnach 	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	-
(12)	Köln LuxHaus 	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	-
(13)	Lüneburg 	-	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	-
(14)	Alpenchic Baufritz 	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
(15)	Bremen-Oberneuland 	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	<input checked="" type="checkbox"/>
(17)	Schwabach 	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	<input checked="" type="checkbox"/>

		Technologien								
		Innovative Fassade	Hoch-effiziente Beleuchtung	Energie-management	Nieder-temperatur-Heizsystem	Erneuerbare Energien am Standort	Biomasse extern zugeführt	Elektrizitätsspeicher	Elektro-Mobilität	
										
(18)	Bad Homburg		-	☑	-	☑	☑	☑	-	-
(19)	Kassel		-	☑	☑	☑	☑	-	☑	☑
(20)	Burghausen		-	☑	☑	☑	☑	-	☑	☑
(21)	Aktiv Stadthaus, FfM		☑	☑	☑	☑	☑	-	☑	☑
(22)	Riedberg, FfM		☑	☑	☑	☑	☑	-	☑	☑
(23)	Darmstadt		-	☑	☑	☑	☑	-	-	☑
(24)	Tübingen		-	☑	-	☑	☑	-	☑	☑
(26)	Deggendorf		☑	☑	☑	☑	☑	-	☑	☑
(27)	Berlin, LaVidaVerde		-	☑	-	☑	☑	☑	-	-

		Technologien							
		Innovative Fassade	Hoch-effiziente Beleuchtung	Energie-management	Nieder-temperatur-Heizsystem	Erneuerbare Energien am Standort	Biomasse extern zugeführt	Elektrizitätsspeicher	Elektro-Mobilität
									
(28)	Bischofswiesen 	-	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
(29)	Buchen-Hollerbach 	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	-
(31)	Frankfurt, Codierstr. 	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
(101)	Leonberg 	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
(102)	Hamburg VELUX LichtAktiv Haus 	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	-

Für die Präsentation der Vorhaben im Internet, wurde eine einheitliche Darstellungsart in Form eines Steckbriefes entwickelt. Dieser beinhaltet eine Beschreibung der Architektur, Baukonstruktion und Anlagentechnik des Objekts mit unterstützender Einbindung von Fotos, Grundrisszeichnungen und Technikskizzen. Ferner werden Kostenangaben nach DIN 276 der Baukonstruktion (Kostengruppe 300) und der Anlagentechnik (Kostengruppe 400) gemacht. Am Ende des Steckbriefs wird der nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) auf der Grundlage der DIN V 18599 benötigte Endenergiebedarf und die geplante Endenergiedeckung, sowie die erwirtschaftete Überschussenergie bilanziert.

Die Steckbriefe sind auf der Internetseite der Forschungsinitiative Zukunft Bau unter dem folgenden Link <http://www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/netzwerk/> als pdf-Datei zum Herunterladen abgelegt.

5 Effizienzhaus Plus

5.1 Definition und Bewertungsmethode

Der Definition des Effizienzhaus Plus Standards ging in der ersten Projektphase ein Diskussionsprozess mit Stakeholdern voraus, in dem das Für und Wider unterschiedlicher Betrachtungsweisen diskutiert wurde. Mit einbezogen wurden dabei auch die europäischen Vorgaben der Novellierung der EU-Gebäude-richtlinie (EPBD) aus dem Jahr 2010, die für alle Neubauten in der Europäischen Union spätestens ab 2021 Niedrigstenergiehaus-Niveau (nearly zero energy buildings) fordert. Zur Diskussion stand, die pure Fortschreibung der EnEV mit der alleinigen Bewertungsgröße des „nicht erneuerbaren Anteils der Primärenergie“ für den Betrieb der Anlagentechnik als Minimalanforderung und dem gegenüber die Deckung aller Energieverbrauchsanteile eines Gebäudes, inklusive des Energieaufwands für Haushaltsprozesse und Beleuchtung, auf Basis des Endenergieverbrauchs. Die Konsultation der betroffenen Kreise ergab eine deutlich mehrheitliche Meinungsbildung hin zum Gesamtenergieverbrauch. Nach der Meinung der meisten Beteiligten muss ein Plusenergiehaus auch ein Plus auf der Energierechnung aufweisen und nicht nur eine positive Primärenergiebewertung für die eingesetzte Haustechnik. Um das „Plus“ im Effizienzhaus Plus realisieren zu können, müssen also erneuerbare Energiegewinnsysteme installiert werden, die einen Energieertrag sicherstellen, der größer ist als der Gesamtenergiebedarf aller Verbrauchseinrichtungen des Hauses. In der Erörterung wurde ferner eine Diskussion über eine mögliche Ausweitung der Bilanzgrenze geführt, wie sie durch die Definitionen in der EPBD grundsätzlich möglich erscheint (Erzeugung in der Nähe (nearby) oder auf dem Grundstück selbst (onsite)). Hierbei wurde die Definition des §5 der EnEV als sinnvoll und am einfachsten nachvollziehbar gewählt. Hiernach muss der anrechenbare Strom aus erneuerbaren Energien im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang zu dem Gebäude erzeugt und vorrangig im Gebäude selbst genutzt und nur die überschüssige Energiemenge in ein öffentliches Netz eingespeist werden. Die Grundstücksgrenze wurde hierbei als Bilanzgrenze fixiert.

Für die Modellvorhaben im Rahmen des Forschungsprojektes gilt:

Definition: Effizienzhaus Plus

Das Effizienzhaus Plus-Niveau ist erreicht, wenn sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf ($\sum Q_p < 0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf ($\sum Q_e < 0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) für das betrachtete Gebäude vorliegen. Alle sonstigen Bedingungen der Energieeinsparverordnung (EnEV), wie z. B. die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz, sind einzuhalten.

Bewertungsmethode: erweiterter EnEV-Nachweis nach DIN V 18599

Die Nachweise sind in Anlehnung an die Energieeinsparverordnung 2014 (EnEV) nach der DIN V 18599 zu führen. Für die Nachweisführung ist der mittlere Standort nach EnEV anzusetzen. Allerdings müssen in Ergänzung zur Nachweisprozedur der EnEV die End- und Primärenergiebedarfswerte für die Wohnungsbeleuchtung und für die Haushaltsgeräte und -prozesse in der Berechnung mitberücksichtigt werden. Dabei ist ein pauschaler Endenergiebedarf von $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (davon Beleuchtung: $3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$; Haushaltsgeräte: $10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$; Kochen: $3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$; Sonstiges: $4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) jedoch maximal $2\,500 \text{ kWh/a}$ je Wohneinheit anzunehmen.

Bilanzgrenze: Grundstücksgrenze

Als Bilanzgrenze (auch im Sinne der Einbeziehung der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien) ist das Grundstück, auf dem das Haus errichtet wird, anzusetzen. Im Einklang mit dem Bilanzraum der EnEV (unmittelbarer räumlicher Zusammenhang mit dem Gebäude) ist die Summe der auf dem Grundstück des zu bewertenden Gebäudes generierten Energie aus erneuerbaren Energiequellen anrechenbar („on-site Generation“). Die Grundstücksgrenze ist durch die dem Gebäude zugeordnete Gemarkungsgrenze im Grundbuch begrenzt. Sofern mehrere Gebäude auf einem Grundstück stehen, sind die „on-site“ generierten erneuerbaren Energiemengen nutzflächenanteilig den einzelnen Gebäuden zuzuordnen.

Nebenanforderung: Geräte mit höchstem Energieeffizienzlabel verwenden

Das zu fördernde Haus ist durchgängig mit Geräten des höchsten Energieeffizienzlabels (in der Regel Label A++ oder besser nach der Energieverbrauchs-kennzeichnungsverordnung vom 30. Oktober 1997 [BGBl. I S. 2616], zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 19. Februar 2004 [s. BGBl. I S. 311] –EnVKV–) und intelligenten Zählern auszustatten.

Auszuweisende Zusatzinformation: Eigennutzungsgrad der generierten erneuerbaren Energien

Ergänzend den Einzahlkennwerten „Jahres-Primärenergiebedarf und Jahres-Endenergiebedarf“ ist das Verhältnis von selbstgenutzter zu generierter, erneuerbarer Energie innerhalb der Bilanzgrenze auszuweisen.

5.2 Rechenhilfe

Zur standardisierten Berechnung eines Effizienzhauses Plus wurde im Projekt eine Bewertungssoftware entwickelt, die im Internet zur kostenfreien Nutzung zur Verfügung steht (www.effizienzhaus-plus-rechner.de). Neben dem Ergebnisausdruck liefert das Rechentool auch ein Zusatzinformationsblatt für den Energieausweis gemäß § 17 EnEV für Effizienzhäuser Plus. Auf der Grundlage der Bewertungsmethode des Effizienzhauses Plus, wurde das in Bild 2 dargestellte Informationsblatt entwickelt. Im oberen rechten Teil der Grafik werden der End- und Primärenergiebedarf des Gebäudes nach EnEV dargestellt. Der linke Teil der Grafik stellt den End- und Primärenergieüberschuss des Effizienzhaus Plus dar, der im Laufe eines Jahres unter Berücksichtigung der innerhalb der Bilanzgrenzen erzeugten regenerativen Energieüberschüsse produziert wird. Ferner wird die Endenergie im unteren Teil unterteilt in die einzelnen Prozessenergien für Heizung, Warmwasser, Hilfsenergie, Beleuchtung und Haushaltsgeräte.

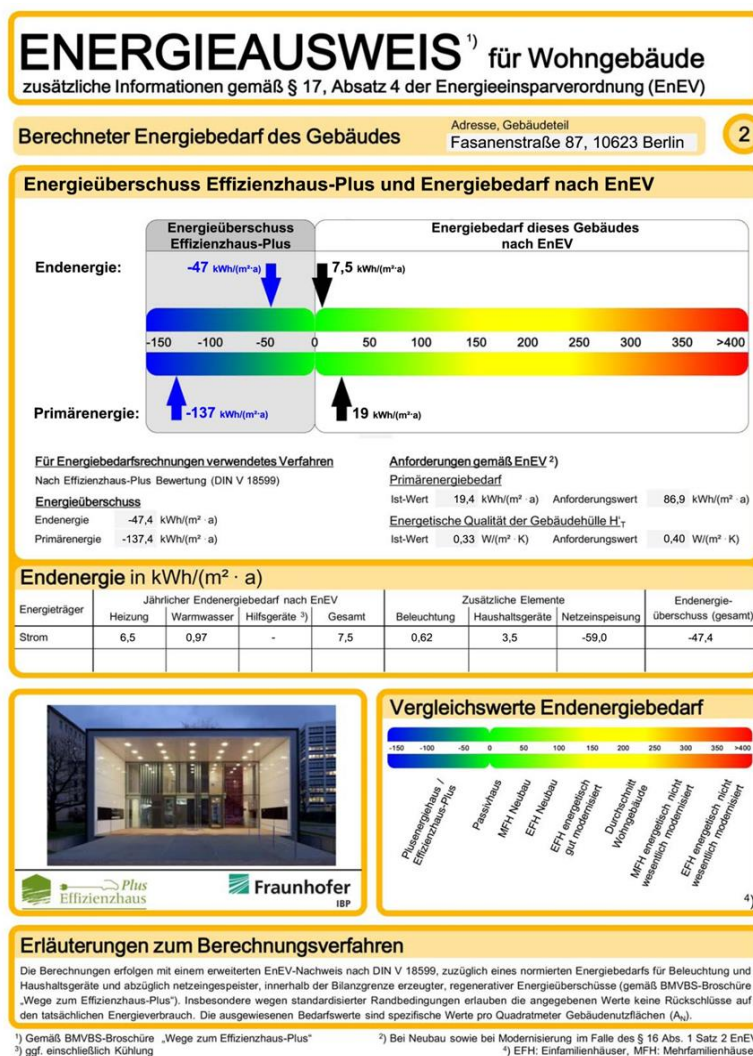


Bild 2: Zusatzinformationsblatt zum Energieausweis für Effizienzhäuser Plus gemäß § 17 der EnEV.

5.3 Leitfaden für das Monitoring

Neben der rechnerischen Bilanzierung ist zur Evaluierung des Effizienzhaus Plus Standards für die geförderten Modellvorhaben die Durchführung eines zweijährigen Monitorings erforderlich. Mit Hilfe des Monitorings soll im bewohnten Zustand überprüft werden, ob die Anforderungen auch in der Praxis erfüllt werden. Um die Bewertung vornehmen zu können, ist es notwendig, die dem Gebäude zugeführten Energiemengen getrennt nach Energieträgern (Strom, Gas, Öl, etc.) und die vom Gebäude ins Netz eingespeisten Energiemengen kontinuierlich zu erfassen. Ferner sind zur tieferen Analyse der Verbrauchsstruktur wesentliche Bilanzanteile, die auch bei der rechnerischen Bewertung ermittelt werden, aufzuzeichnen. Dazu gehören die äußeren und inneren Klimabedingungen und die nutzerspezifischen Verbräuche. Zu jedem Projekt wurde seitens des begleitenden Forschungsteams ein Messkonzept entwickelt, das in die Bereiche Verbrauchserfassung, Erfassung der Klimadaten und Erfassung des Nutzerverhaltens eingeteilt werden kann. Ein Beispiel für ein Messkonzept für die Elektroversorgung zeigt Bild 3 und eines für die Wärmeversorgung ist in Bild 4 dargestellt.

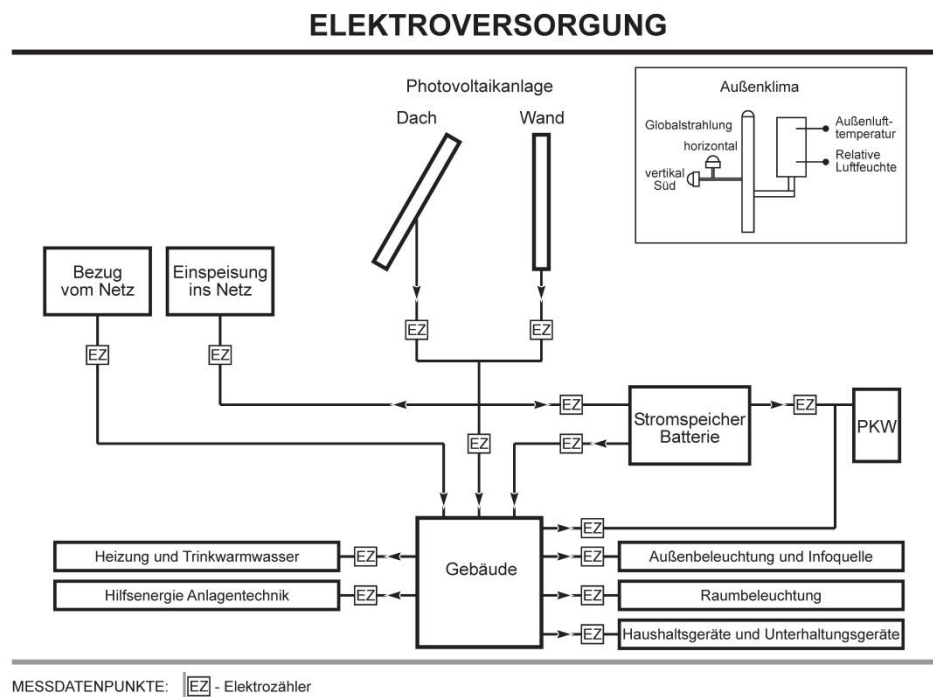


Bild 3:
Messkonzept für die Elektroversorgung am Beispiel Effizienzhaus Plus in Berlin.

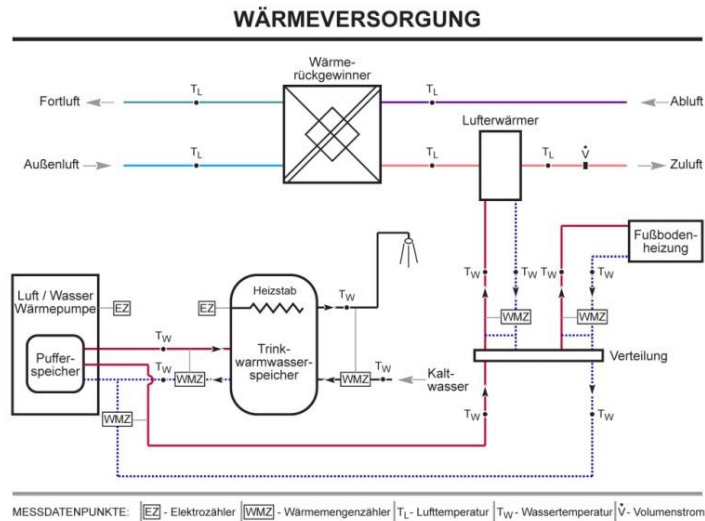


Bild 4:
Messkonzept für die Wärmeversorgung am Beispiel Effizienzhaus Plus in Berlin.

Der Leitfaden für das Monitoring ist unter dem Link <http://www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/foerderprogramm/> veröffentlicht.

6 Querauswertung

Bis Dezember 2014 waren 33 der 36 im Netzwerk befindlichen Modellvorhaben geplant und weitestgehend realisiert. Aufgrund ihrer individuellen Bezugs- termine befinden sich die Projekte in unterschiedlichen Stadien des Monitorings. Zusammenfassend ergibt sich der folgende Bau – und Monitoringstand:

- 36 Projekte sind geplant
- 33 Projekte sind weitestgehend realisiert.
- 31 Projekte sind bezogen.
- 12 Projekte haben die 2-jährige Monitoringphase beendet.
- 8 Projekte haben eine einjährige Monitoringphase beendet.
- 8 Projekte befinden sich im ersten Messjahr.
- 8 Projekte beginnen ihre Messphase im Laufe des Jahres 2015

Im Folgenden werden die geometrischem, baulichen und anlagentechnischen Kennwerte auf Basis der Planung für alle 33 fertiggestellten Projekte dargestellt. Die Ergebnisse des Monitorings werden für die Gebäude ausgewertet, die die mindestens eine einjährige Messphase beendet haben.

6.1 Geometrische Kennwerte

Die Gebäudenutzfläche A_N nach der Energieeinsparverordnung der 27 Ein- bis Zweifamilienhäuser zeigt Bild 5. Sie liegt zwischen 170 m² und 440 m² und beträgt im Mittel 284 m². Die mittlerer Wohnfläche hat eine Größe von 200 m².

Die Kennwerte zeigen im Vergleich zu den Analysen in [2] bei der eine mittlere Wohnfläche der Ein- und Zweifamilienhäuser in Deutschland von 135 m² ermittelt wurde, dass die Gebäude im Modellvorhaben relativ groß sind.

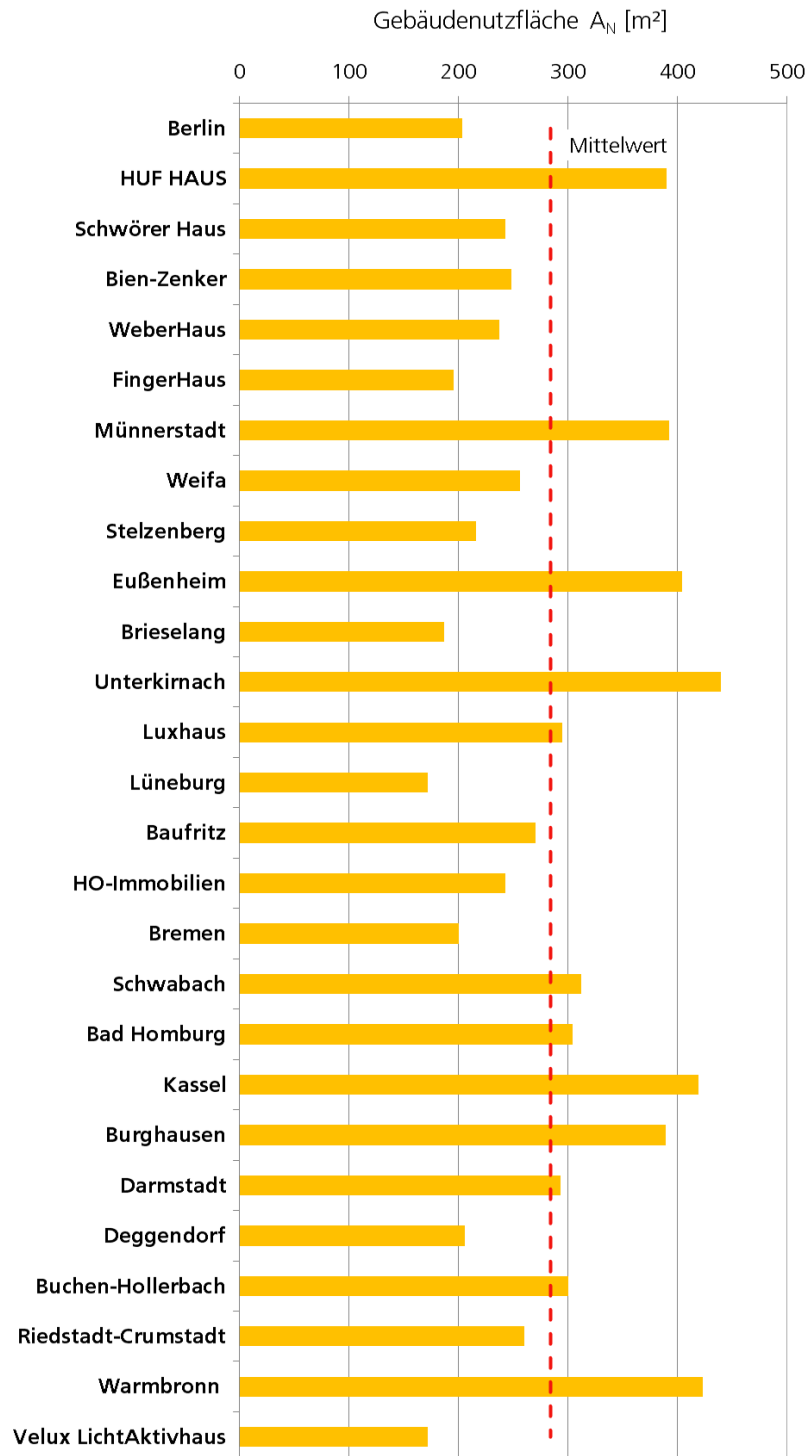


Bild 5:
Gebäudenutzfläche A_N nach Energieeinsparverordnung der Ein- und Zweifamilienhäuser der Demonstrationvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Die Gebäudenutzfläche nach EnEV der 6 Mehrfamilienhäuser, die über 6 bis 74 Wohneinheiten verfügen schwankt zwischen 280 m² und 8.800 m² und ist in Bild 6 gezeigt. Die Wohnfläche der einzelnen Wohneinheiten schwankt zwischen 40 m² und 100 m² und beträgt im Mittel 90 m². Auch diese sind im Vergleich zum Bundesdurchschnitt von 67 m² gemäß [2] für Wohneinheiten in Mehrfamilienhäusern relativ groß.

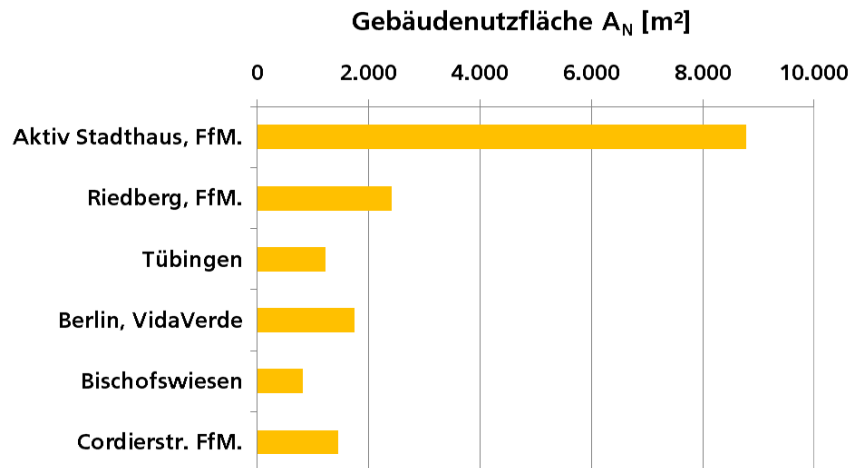


Bild 6:

Gebäudenutzfläche A_N nach Energieeinsparverordnung der Mehrfamilienhäuser der Demonstrationvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Das Verhältnis der Wohnfläche zur Nutzfläche der bisher realisierten Gebäude ist in Bild 7 gezeigt und beträgt im Mittel 0,73. Dies entspricht den Durchschnittskennwerten vergleichbarer Vorhaben.

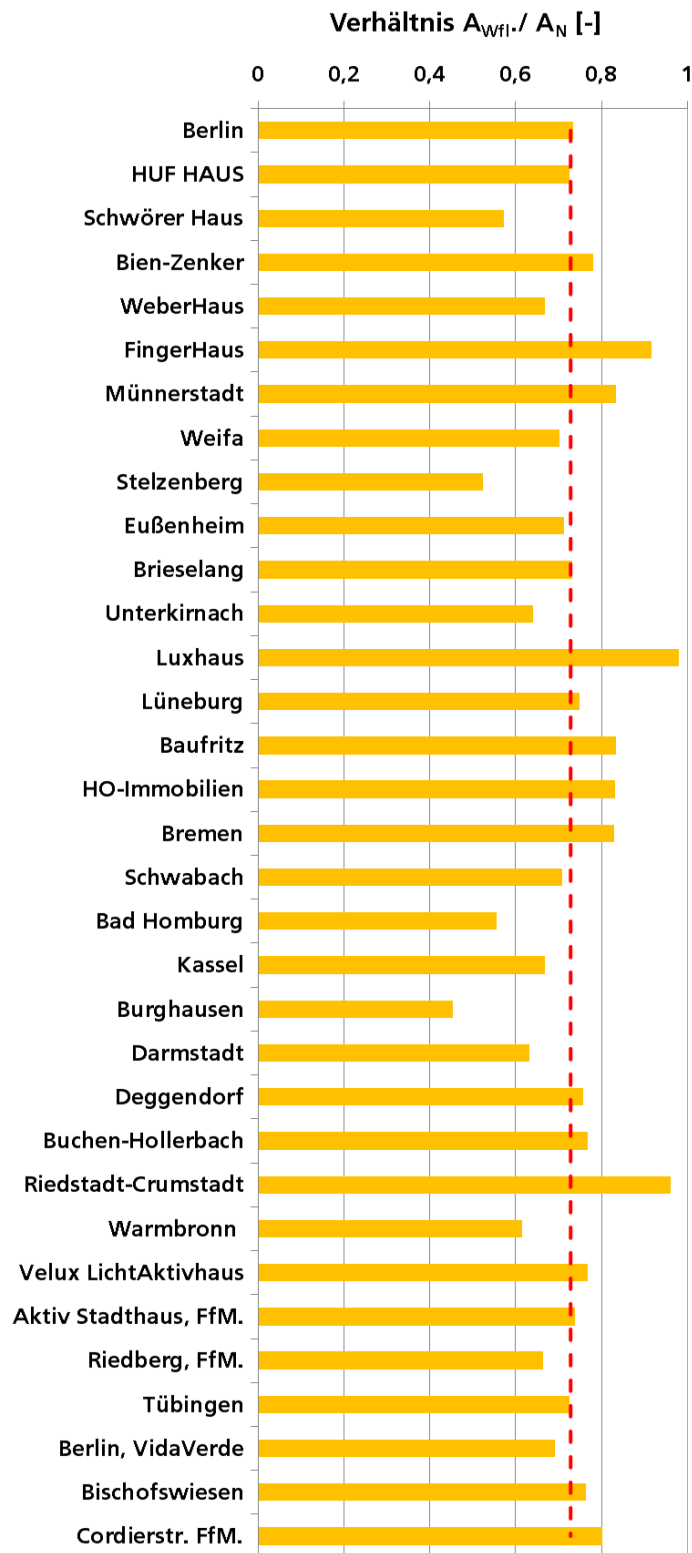


Bild 7:

Verhältnis Wohnfläche $A_{Wfl.}$ zu Gebäudenutzfläche A_N nach Energieeinsparverordnung der Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäuser der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Das beheizte Gebäudevolumen der Ein- bis Zweifamilienhäuser schwankt wie Bild 8 zeigt zwischen 540 m³ und 1.750 m³ und liegt im Mittel bei 920 m³. Auch dies ist im Vergleich zum Bundesdurchschnitt (515 m³) dieser Gebäudekategorie überdurchschnittlich.

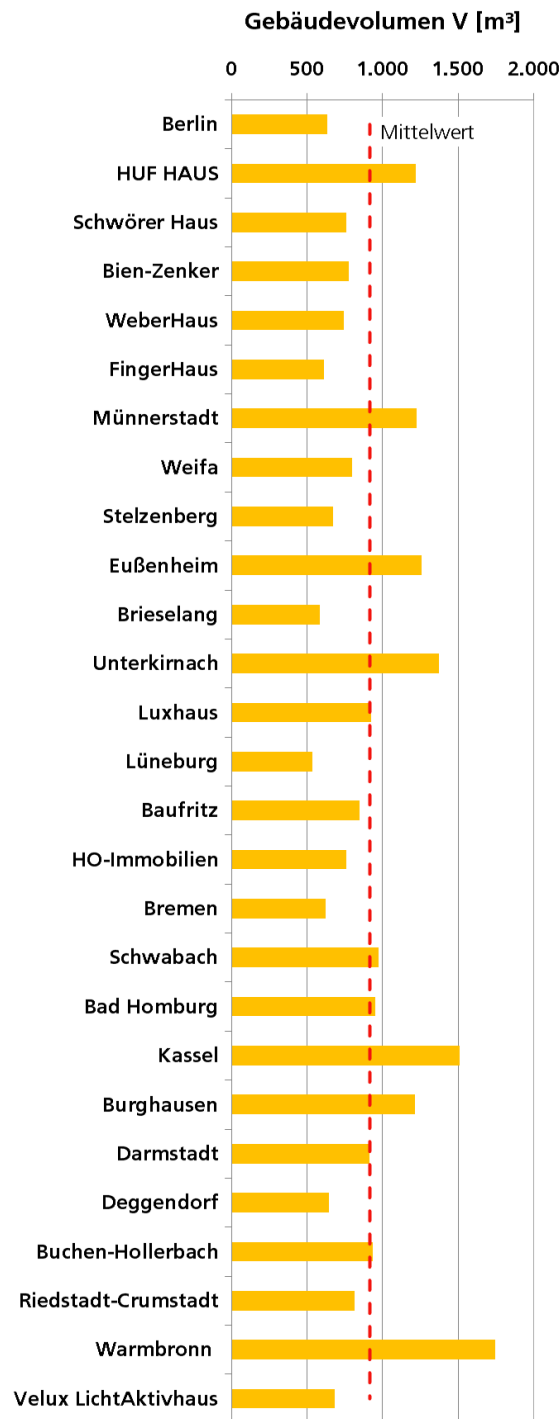


Bild 8:
beheiztes Gebäudevolumen nach Energieeinsparverordnung der Ein- bis Zweifamilienhäuser der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Bild 9 zeigt das beheizte Gebäudevolumen der Mehrfamilienhäuser, dieses liegt zwischen 2.500 m³ und ca. 31.000 m³.

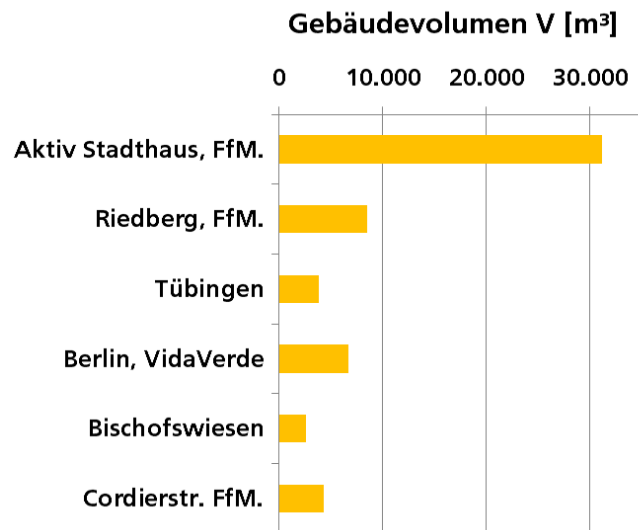


Bild 9:
beheiztes Gebäudevolumen der Mehrfamilienhäuser der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Tipp: Bei den untersuchten Modelgebäuden ist die nach EnEV ermittelte Gebäudenutzfläche A_N im Mittel 1/3 größer als deren beheizte Wohnfläche A_{Wfi}

6.2 Kennwerte des baulichen Wärmeschutzes

Die Gebäude sind überwiegend in einer kompakten Form mit energetisch optimierten Baukonstruktionen der Gebäudehülle errichtet.

Die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Dachkonstruktion der einzelnen Demonstrationsvorhaben sind in Bild 10 dargestellt. Dabei hat der kleinste U-Wert eine Größe von 0,08 W/(m²K) und der größte eine von 0,18 W/(m²K). Im Mittel beträgt er 0,12 W/(m²K) und liegt somit 40 % unterhalb des Wertes des EnEV-Referenzgebäudes dieses Bauteils von 0,20 W/(m²K).

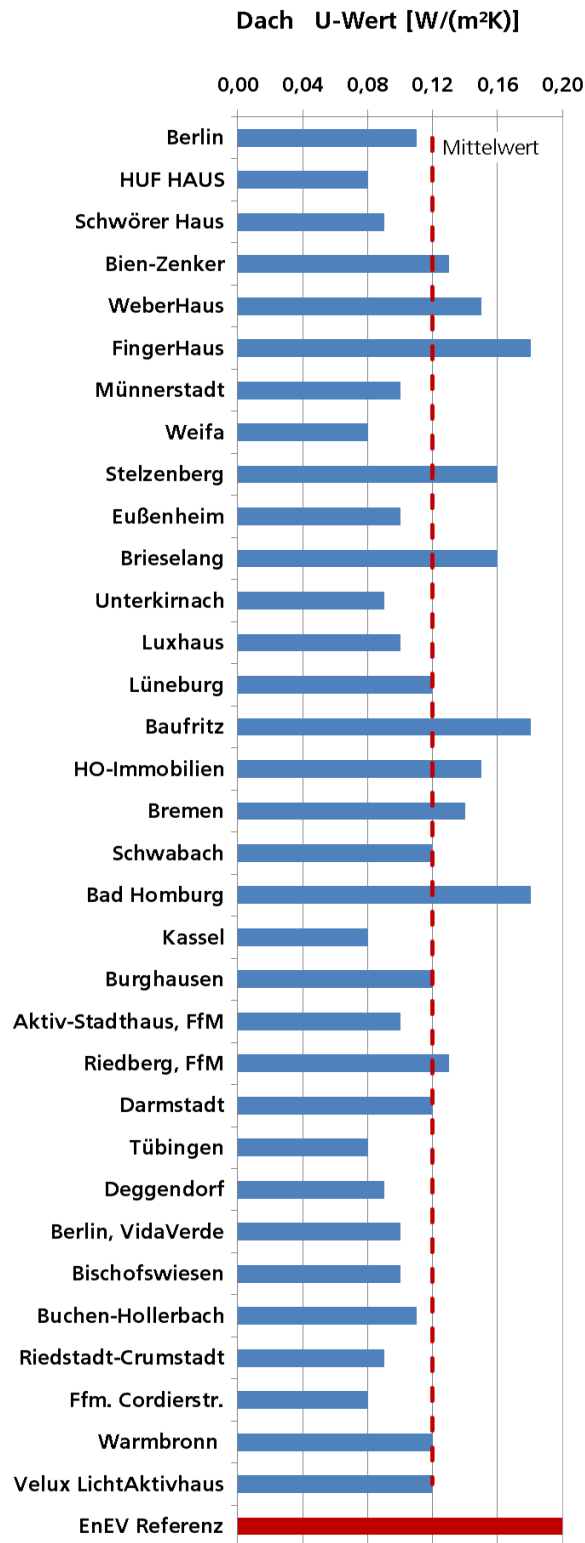


Bild 10:
U-Wert der Dachkonstruktion der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Die U-Werte der Wandkonstruktion der einzelnen Demonstrationsvorhaben sind in Bild 11 dargestellt. Der minimale U-Wert liegt für die Wandkonstruktion bei 0,10 W/(m²K) und maximal bei 0,20 W/(m²K). Im Mittel beträgt er 0,13 W/(m²K) und liegt somit mehr als 50 % unterhalb des Wertes des EnEV-Referenzgebäudes dieses Bauteils von 0,28 W/(m²K).

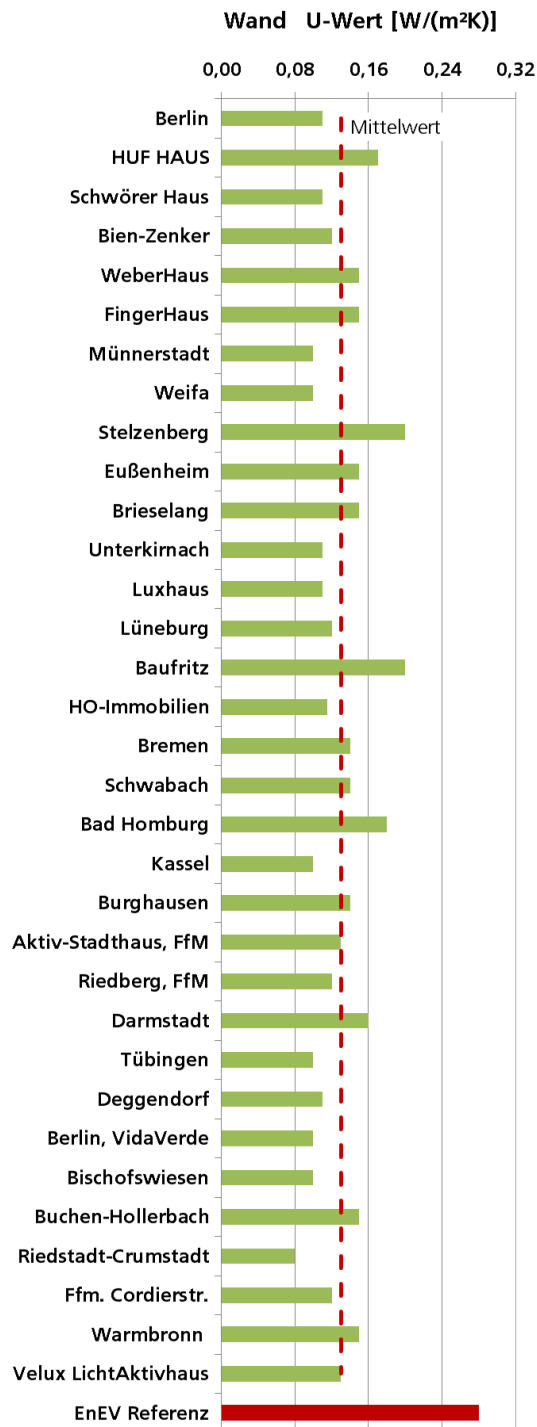


Bild 11:
U-Wert der Wandkonstruktion der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Die verbauten Fenster sind vorrangig dreifach-verglast, deren U-Werte U_w für das Gesamtbauteil Fenster zwischen minimal 0,60 W/(m²K) und maximal 1,00 W/(m²K) schwanken. Wie in Bild 12 zu sehen, liegt der U_w -Wert im Mittel bei 0,78 W/(m²K) und unterschreitet den Wert des EnEV-Referenzgebäudes dieses Bauteils von 1,30 W/(m²K) um 40 %.

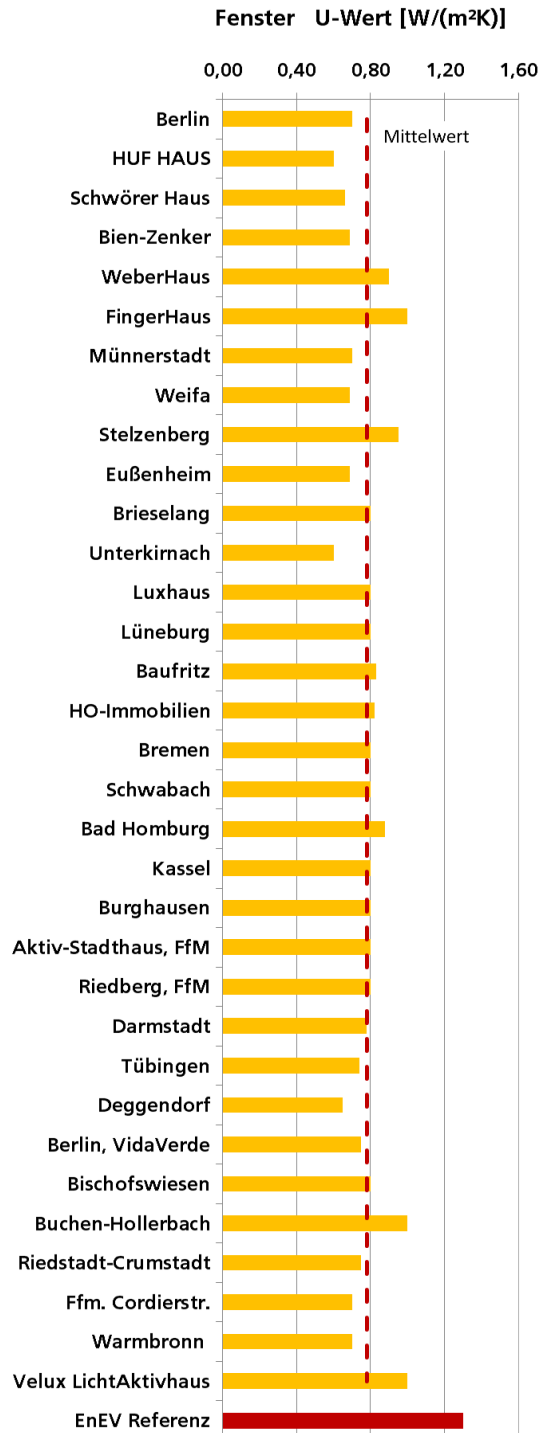


Bild 12:
 U_w -Wert der Fensterkonstruktion der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Im Bereich des unteren Gebäudeabschlusses des beheizten Volumens werden U-Werte der Bodenplatten bzw. Trenndeckenkonstruktionen nach Bild 13 von minimal 0,08 W/(m²K) und maximal 0,30 W/(m²K) erreicht. Im Mittel liegt der Wert bei 0,15 W/(m²K) und unterschreitet Wertes des EnEV-Referenzgebäudes dieses Bauteils von 0,35 W/(m²K) um 57%.

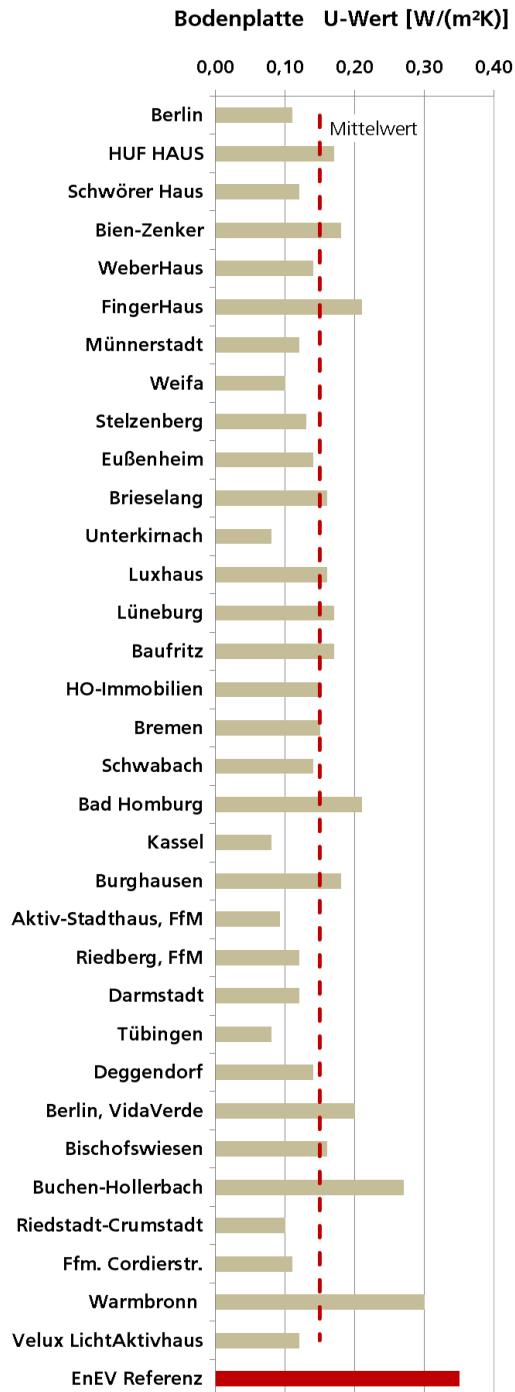


Bild 13:
U-Wert der Bodenplattenkonstruktion der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Zusammenfassend ist der deutlich bessere Wärmeschutz der wärmetauschenden Bauteile der bisher realisierten Gebäude im Vergleich zu den Werten des EnEV-Referenzgebäudes in Bild 14 dargestellt.

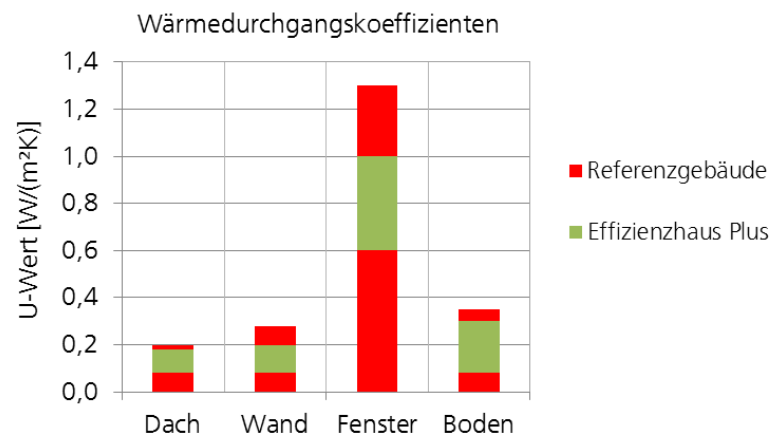


Bild 14:

Bandbreite der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) einzelner Bauteile der Effizienzhäuser Plus des Netzwerks (grüner Bereich) im Vergleich zu den Vorgabenwerten des Referenzgebäudes der Energieeinsparverordnung (roter Balken).

Der auf die Umfassungsflächen bezogene Transmissionswärmeverlust H_T ist für die Gebäude mit einer Nutzfläche nach EnEV, $A_N \leq 350 \text{ m}^2$ in Bild 15 und für Gebäude mit Nutzfläche nach EnEV, $A_N > 350 \text{ m}^2$ in Bild 16 dargestellt. Der jeweils zulässige Höchstwert des spezifischen Transmissionswärmeverlust nach EnEV ist im unteren Balken gezeigt.

Aufgrund der wärmetechnisch hochwertigen Hüllflächenbauteile bewegt sich der Transmissionswärmeverlust H_T aller Objekte zwischen $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Er unterschreitet die Anforderung der EnEV, wie an der rot hinterlegten Fläche gezeigt, für Gebäude mit $A_N \leq 350 \text{ m}^2$ um 18 bis 62 % (im Mittel 48 %) und für Gebäude mit $A_N > 350 \text{ m}^2$ um 20 bis 72 % (im Mittel 50 %). Damit bewegt sich die mittlere energetische Qualität der Gebäudehülle zwischen den KfW-Förderstufen (Effizienzhaus 40 und 70) mit einem Schwerpunkt in Richtung KfW-Effizienzhaus 55.

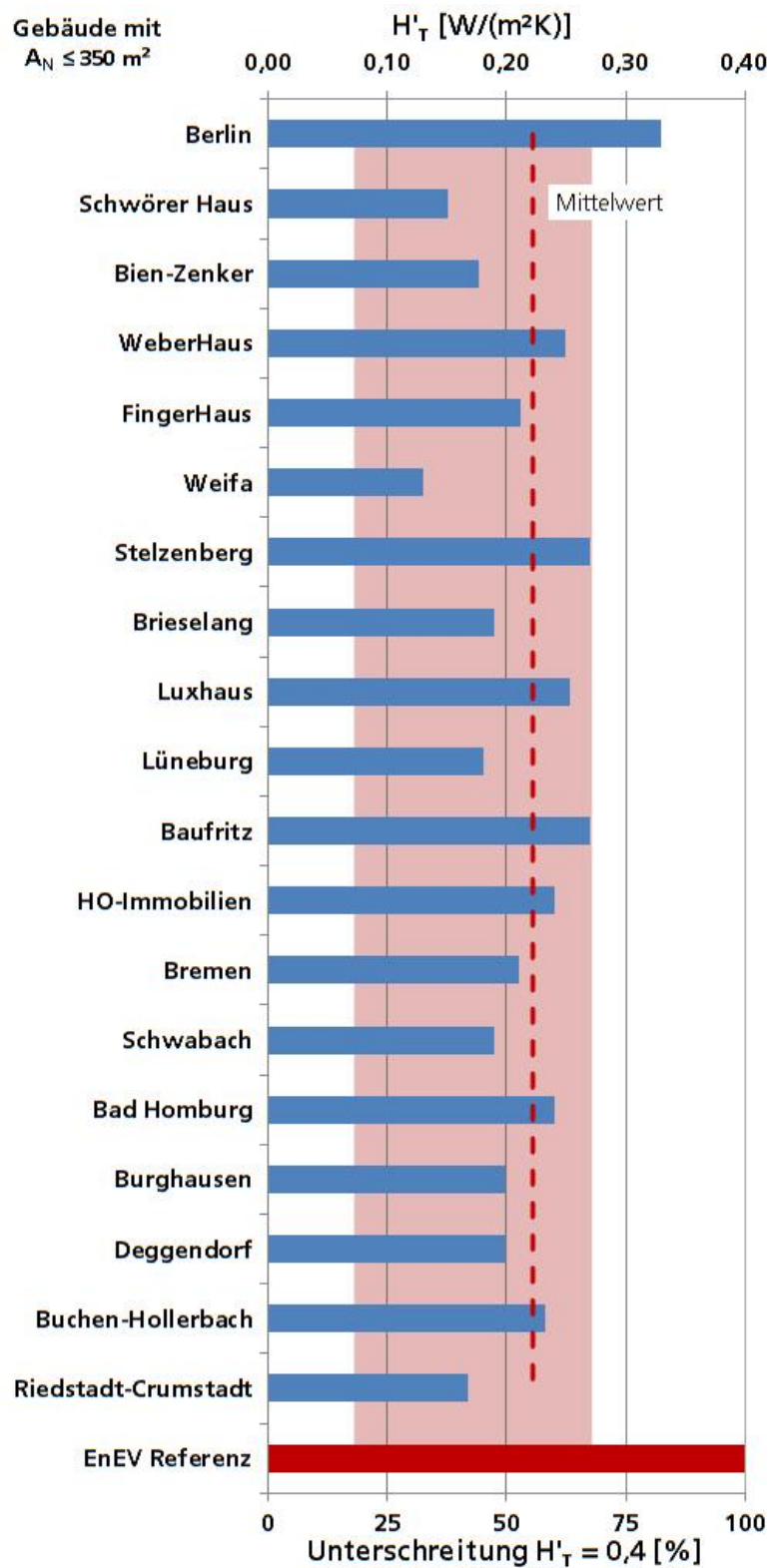


Bild 15:
spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T in [W/(m²K)] (blaue Balken) mit Darstellung des Bereichs der Unterschreitung von $H'_T = 0,4$ in [%] (rot hinterlegte Fläche), der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard mit einer Nutzfläche nach EnEV $A_N \leq 350 \text{ m}^2$.

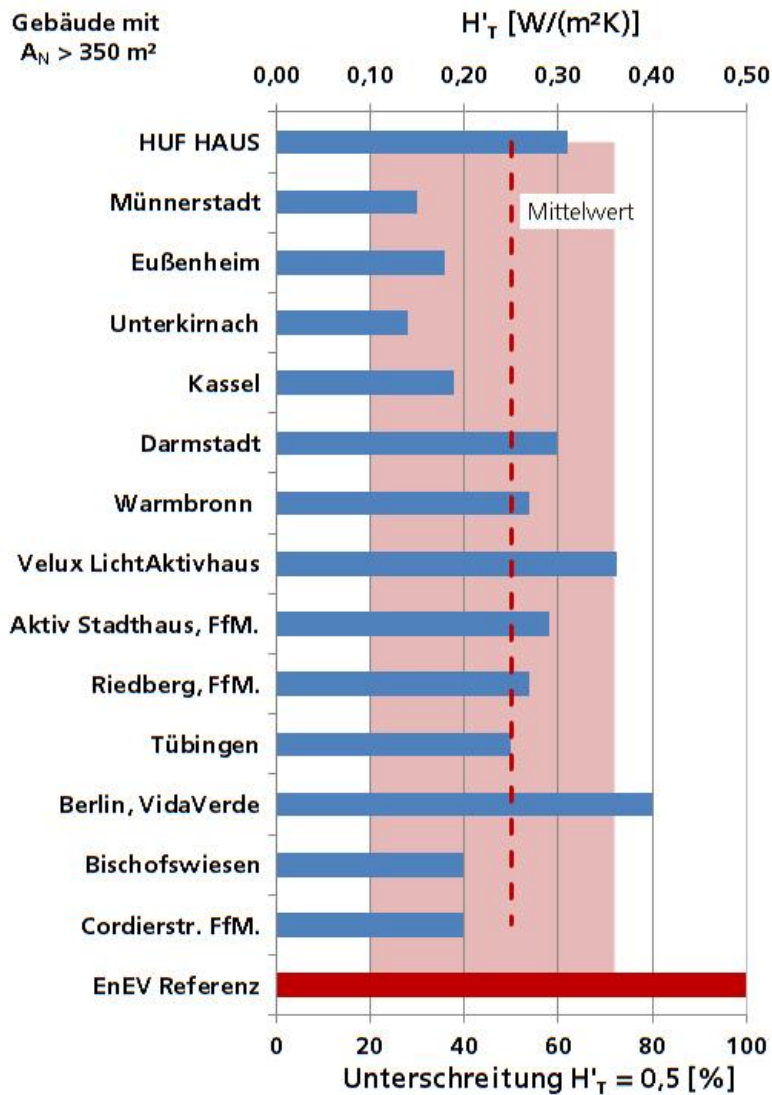


Bild 16:

spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T in [W/(m²K)] (blaue Balken) mit Darstellung des Bereichs der Unterschreitung von $H'_T = 0,5$ in [%] (rot hinterlegte Fläche), der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard mit einer Nutzfläche nach EnEV $A_N > 350 \text{ m}^2$.

Tipp: Ein Effizienzhaus Plus muss nicht zwingend über Bauteile im Passivhaus-Niveau verfügen. Eine Ausführung welche etwa 40 % unter dem energetischen Niveau des Referenzgebäudes der EnEV liegt, reicht häufig aus.

6.3 Anlagentechnische Kennwerte

Wärmeerzeuger

Zur Deckung des Nutzwärmebedarfs werden wie Bild 17 zeigt, vorzugsweise Wärmepumpen (84 %) mit unterschiedlichen Wärmequellen als Wärmeerzeuger eingesetzt. Daneben kommt u.a. ein BHKW, eine Brennstoffzelle, Fernwär-

me sowie eine elektrische Direktheizung und eine Solarthermieanlage mit saisonalen Speichern, zum Einsatz.

Das Gebäude mit dem BHKW bezieht für die Stromerzeugung Biomethan, das bei der Bilanzierung nach DIN V 18599:2007 beim Endenergiebedarf verrechnet werden durfte und so kein Endenergiebedarf für den Energieträger Biomethan übrig blieb. Nach der aktuell gültigen Norm DIN V 18599:2011 ist es nicht mehr möglich einen negativen Endenergiebedarf zu erreichen. Für das Projekt mit dem Anschlusszwang an das Nahwärmenetz wird keine negative Endenergiebilanz erreicht. Da die Anordnung einer Wärmepumpe nicht möglich war, konnte der vorhandene Endenergiebedarf nur mit einer Verdopplung der Photovoltaikflächen erreicht werden, das mit der vorliegenden Architektur nicht zu leisten war. Vom Zuwendungsgeber wurde daher für die Projekte mit dem BHKW und der Nahwärmenutzung die Definition des Effizienzhaus Plus objektspezifisch angepasst.

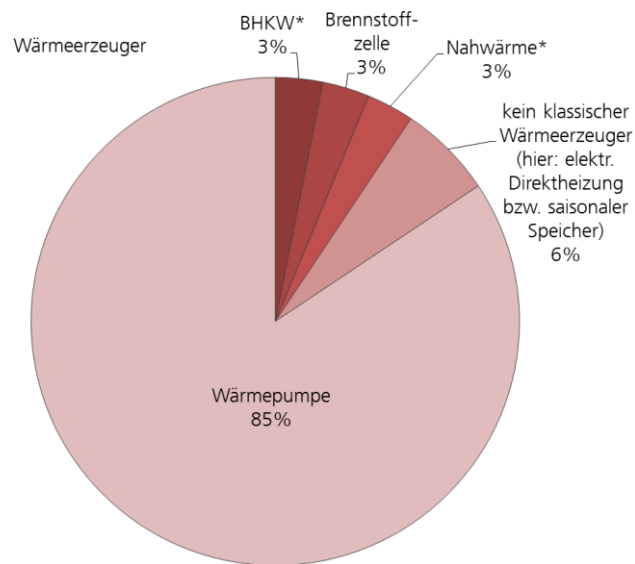


Bild 17:

Wärmeerzeuger der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard. BHKW*: Nach der aktuell gültigen Norm DIN V 18599:2011 wird kein negativer Endenergiebedarf erreicht. Fernwärme*: Aufgrund des Anschlusszwangs an das Nahwärmenetz wird keine negative Endenergiebilanz erreicht. Vom Zuwendungsgeber wurde für beide Projekte die Definition des Effizienzhaus Plus objektspezifisch angepasst.

Den überwiegenden Anteil der Wärmepumpen bilden mit 43 % Sole/Wasser-Wärmepumpen. Zu ungefähr 30 %, wie in Bild 18 zu sehen ist, kommen Luft/Wasser- Wärmepumpen zum Einsatz und zu gleichen Teilen wird die Wärme durch eine Kombination einer Wasser/Wasser- bzw. Luft/Luft-Wärmepumpe erzeugt. Als Wärmequelle stehen unterschiedlichste Medien zur Verfügung. Neben der Außenluft und Soleflüssigkeit, geführt durch Erdkollektoren

oder Erdsonden, werden Solarspeicher und Eisspeicher in verschiedenen Kombinationen genutzt. Weitere Wärmequellen bieten das Ab- und Grundwasser.

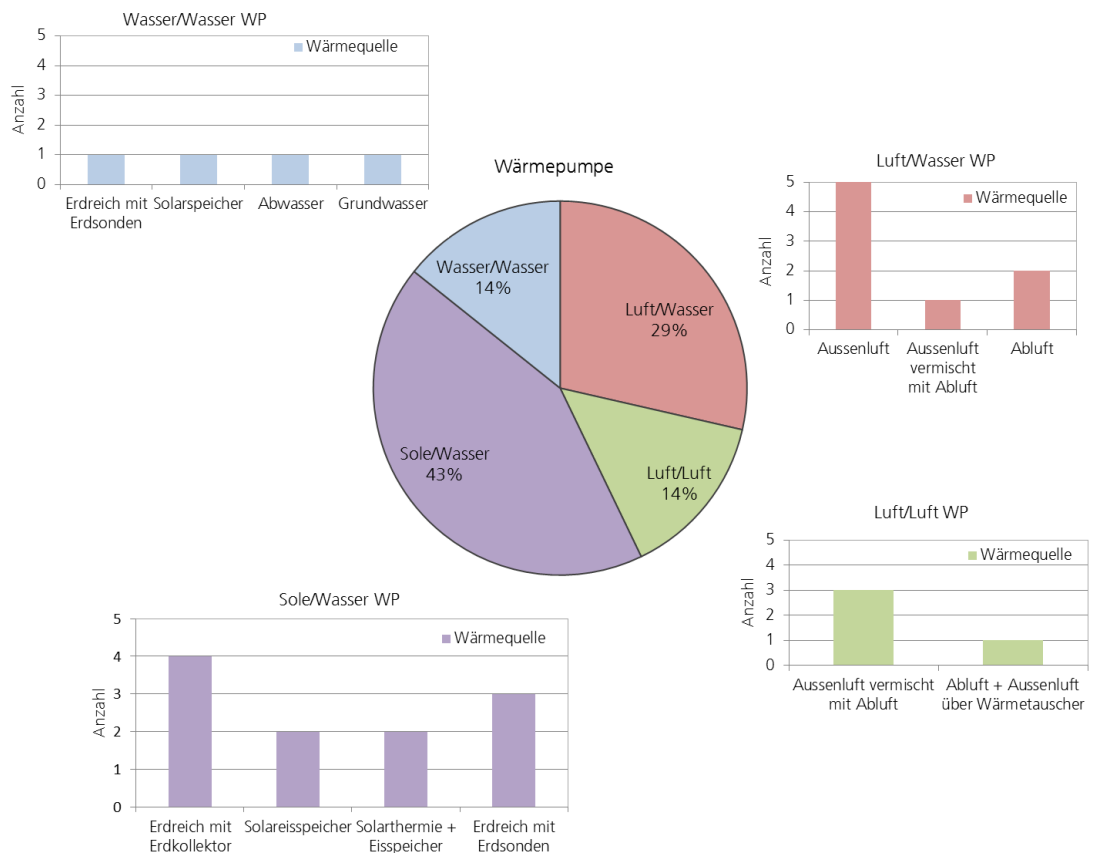


Bild 18:

prozentuale Verteilung der Wärmepumpen mit zugehöriger Angabe der Wärmequelle der Demonstrationvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Die Heizleistungen der installierten Anlagen bewegen sich zwischen 1,5 kW bis 20 kW im Einfamilienhausbereich und 7 kW bis 120 kW im Mehrfamilienhausbereich. Bezogen auf die Gebäudenutzfläche A_N sind das für die Ein- bis Zweifamilienhäuser 6 W/m^2_{AN} bis 48 W/m^2_{AN} .

Eine Tabelle mit allen haustechnischen Kennwerten der Gebäude ist im Anhang der Tabelle 5 zu entnehmen.

Elektrochemische Speicher

57 % der derzeit realisierten Projekte des Forschungsvorhabens verfügen über einen elektrochemischen Speicher. Dabei verwenden wie in Bild 19 zu sehen, ca. 15 % Blei bzw. Blei-Gel-Akkus und 18 % Lithium-Ionen bzw. 24 % Lithium-Eisen-Phosphat Speicher. Die Bruttospeicherkapazitäten liegen zwischen 3,5 kWh und 40 kWh im Einfamilienhausbereich und bei bis zu 250 kWh für ein Mehrfamilienhaus.

elektrochemische Speicher

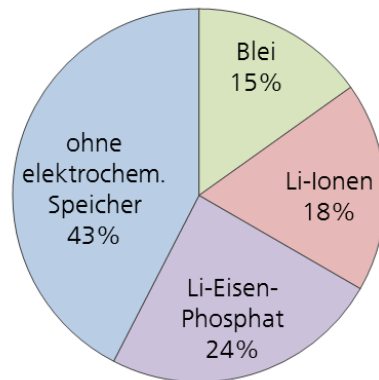


Bild 19:

Art und Verteilung der elektrochemischen Speicher der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Photovoltaikanlagen

Die solare Stromerzeugung der Gebäude wird mit unterschiedlichen Photovoltaikmodulen realisiert, die wie Bild 20 zeigt zu 64 % als Aufdach- und zu 36 % als Indachlösungen ausgeführt werden. Ergänzend dazu werden bei 25 % der Projekte Photovoltaikmodule integriert in die vertikalen Fassaden angeordnet. Im Dachbereich kommen zum überwiegenden Teil mit 65 % monokristalline Solarzellen zum Einsatz. Die polykristallinen Zellen werden zu 32 % verbaut. Bei einem Projekt werden CIGS-Module (Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid) im Dach installiert. Im Fassadenbereich werden überwiegend amorphe Dünnschichtmodule eingesetzt.

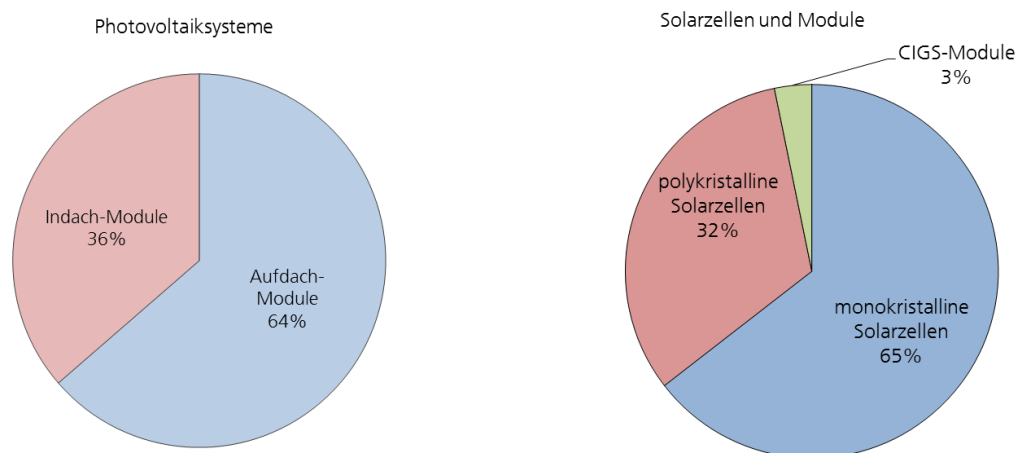


Bild 20:

Art und Verteilung der Photovoltaik-Module der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Ein Beispiel für eine Aufdachmontage der Photovoltaikmodule zeigt Bild 21.



Bild 21:
Anordnung der PV-Module als Aufdachlösung am Beispiel des Effizienzhauses Plus in Berlin.

Beispiele für die Anordnung der PV-Module integriert in das Dach zeigen Bild 22 und Bild 23.



Bild 22:
Anordnung der PV-Module als Indachlösung am Beispiel des Effizienzhauses Plus in Lüneburg.



Bild 23:
Anordnung der PV-Module als Indachlösung und vorgehängt vor die Fassade am Beispiel des Effizienzhauses Plus in Weifa.

Bei den im Netzwerk errichteten Ein- bis Zweifamilienhäusern beträgt die Photovoltaikfläche pro m^2 Nutzfläche nach EnEV wie Bild 24 zeigt im Mittel $0,34 m^2_{PV} / m^2_{Nutzfläche}$, bezogen auf die Wohnfläche beträgt die Photovoltaikfläche $0,48 m^2_{PV} / m^2_{Wfl.}$. Die installierte Leistung liegt im Mittel bei $48 W_p / m^2_{Nutzfläche}$.

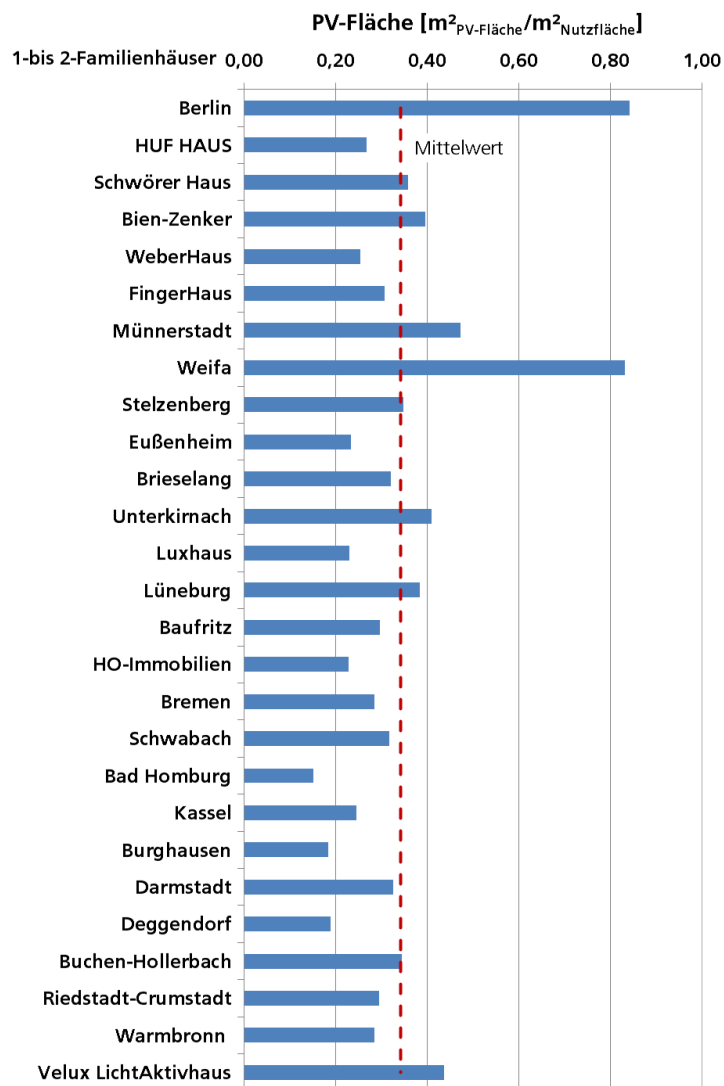


Bild 24:

Verhältnis Photovoltaikfläche zu Nutzfläche A_N nach EnEV der 1-bis 2-Familienhäuser im Effizienzhaus Plus Standard.

Für die Mehrfamilienhäuser ist das Verhältnis der installierten PV-Fläche zur Nutzfläche A_N nach EnEV in Bild 25 dargestellt. Aufgrund der geringen Dachfläche im Verhältnis zur Nutzfläche ist der Wert geringer als bei den Einfamilienhäusern und liegt im Mittel bei $0,25 m^2_{PV} / m^2_{Nutzfläche}$ bzw. $0,34 m^2_{PV} / m^2_{Wfl.}$. Die installierte Leistung beträgt im Mittel bei $40 W_p / m^2_{Nutzfläche}$.

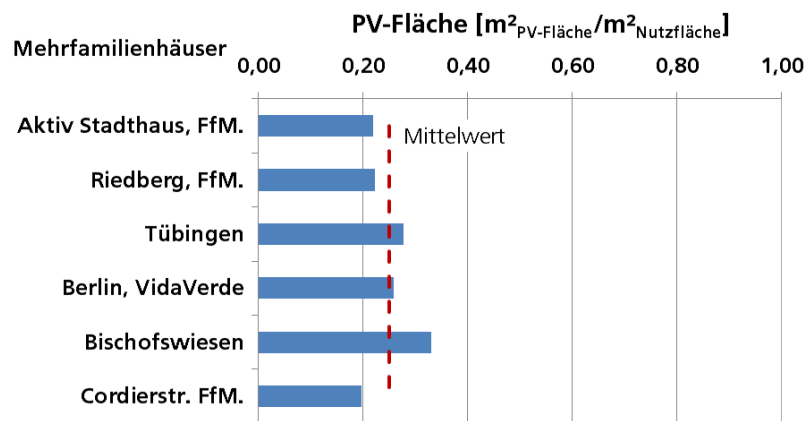


Bild 25:

Verhältnis Photovoltaikfläche zu Nutzfläche AN nach EnEV der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

TIPP: Für Ein- und Zwei- Familienhäuser wird in etwa 0,48 m² Photovoltaikfläche je m² Wohnfläche benötigt um den Effizienzhaus Plus Standard zu erreichen. Für Mehrfamilienhäuser sollten im Mittel 0,34 m² Photovoltaikfläche je m² Wohnfläche zur Verfügung stehen.

6.4 Ergebnisse Monitoring

Die Messergebnisse der einzelnen Modellvorhaben werden von den örtlichen Forschungsteams jeweils zu Beginn des Folgemonats an das Fraunhofer Institut für Bauphysik geliefert, hier für die Internetpräsenz aufbereitet und über einen Monitoringzeitraum von 2 Jahren ständig aktualisiert. Dabei werden die Energieverbräuche und die Erträge der erschlossenen Energiequellen monatsweise dargestellt. Des Weiteren werden in einer Jahresbilanz die Verbräuche und Erträge kumuliert aufgetragen. Eine beispielhafte Darstellung der Grafiken für das Modellvorhaben in Berlin ist in Bild 26 bis Bild 29 gezeigt und wurde monatsweise auf der Internetseite des Effizienzhaus Plus Auftritts aktualisiert.

Bild 26 zeigt den saisonal sehr ausgeprägten Verlauf der monatlichen Erträge aus der Photovoltaikanlage und den gegenläufigen Netzbezug. Die über die Batterie zusätzlich erschließbaren Strommengen sind übers Jahr relativ gleichmäßig ausgebildet.

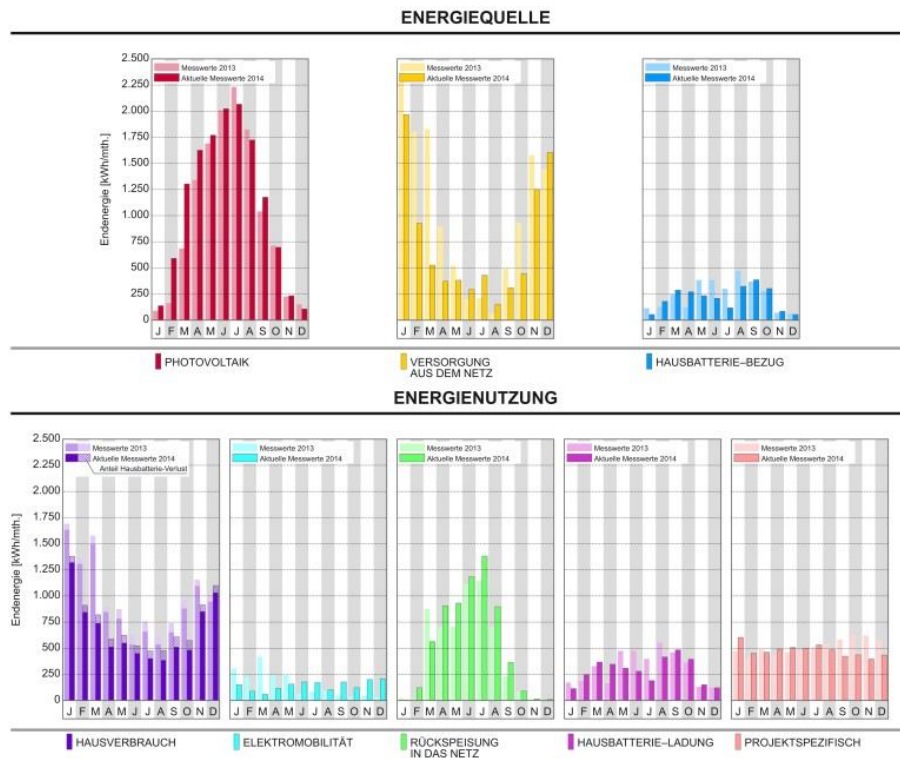


Bild 26:

Darstellung Energiequelle und Energienutzung am Beispiel des Demonstrationsvorhabens in Berlin.

Bei den Verbrauchern dominiert, wie Bild 27 zeigt, die Wärmepumpe, die auch einen saisonal extrem ausgebildeten Verlauf annimmt. Daneben sticht der Hilfsenergieverbrauch für die Anlagentechnik hervor. Deutlich untergeordnet ist der Stromverbrauch für die Haushaltsgeräte und die Beleuchtung. Die sonstigen Verbräuche (projektspezifisch und Elektromobilität) haben mit dem Gebäude nicht unmittelbar zu tun und sind daher von untergeordneter Bedeutung.

MONATLICHER ENDENERGIEVERBRAUCH

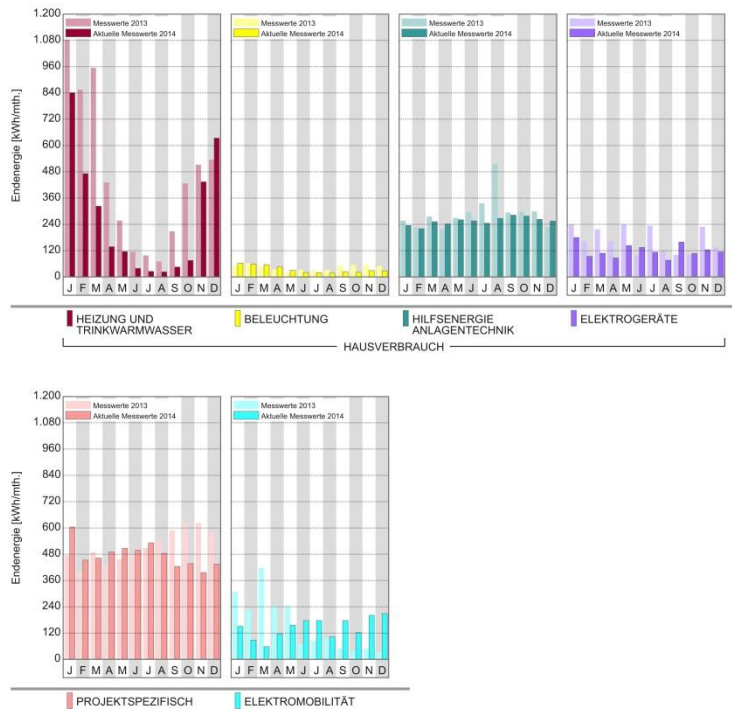


Bild 27:

Darstellung des monatlichen Endenergieverbrauchs am Beispiel des Demonstrationsvorhabens in Berlin.

Der Verlauf der kumulierten Kurven (rot: Stromgewinne; blau: Stromverbräuche) in Bild 28 zeigt, dass im zweiten Jahr ein deutlich höherer Überschuss erzielt werden konnte als im ersten Jahr. Dies ist typisch und durch die zwingend erforderliche Einregulierungsphase solch innovativer Systeme bedingt.

KUMULIERTE ENDENERGIE

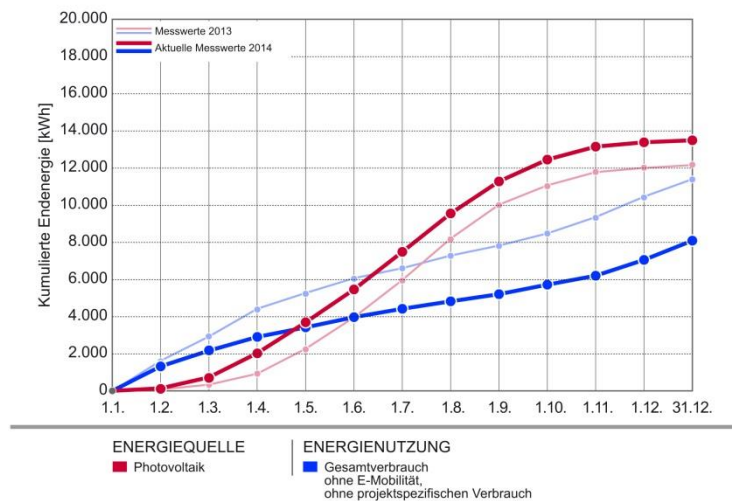


Bild 28:

Darstellung der kumulierten Endenergie am Beispiel des Demonstrationsvorhabens in Berlin.

Ferner zeigt sich in Bild 28, dass bereits nach 4 Monaten ein Überschuss erwirtschaftet werden konnte, der bis zum Jahresende auf über 5.000 kWh ausgebaut werden konnte. Der Verlauf der kumulierten Kurven zeigt ferner, dass die Gewinne sehr stark saisonal ausgeprägt sind und die Erträge sich im Wesentlichen auf etwa 6 Monate im Jahr (April bis September) beschränken. Die Verbräuche dagegen haben nur eine sehr geringe saisonale Ausprägung. Waren noch bei den Einzelverbrauchern zum Teil starke saisonale Schwankungen zu erkennen, ergibt sich für den Gesamtverbrauch eine nahezu jahreszeitlich unabhängige Steigung.

In Bild 29 zeigt sich eine ausgeprägte Grenzlinie des möglichen Eigenverbrauchs, die im ersten Jahr mit der schlechter einregulierten Anlagentechnik bei etwa 1.000 kWh pro Monat liegt und im zweiten Jahr auf etwa 750 kWh im Monat absinkt. Alle darüber hinausgehenden Gewinne können im Haus nicht verwertet werden und müssen ins Netz eingespeist werden.

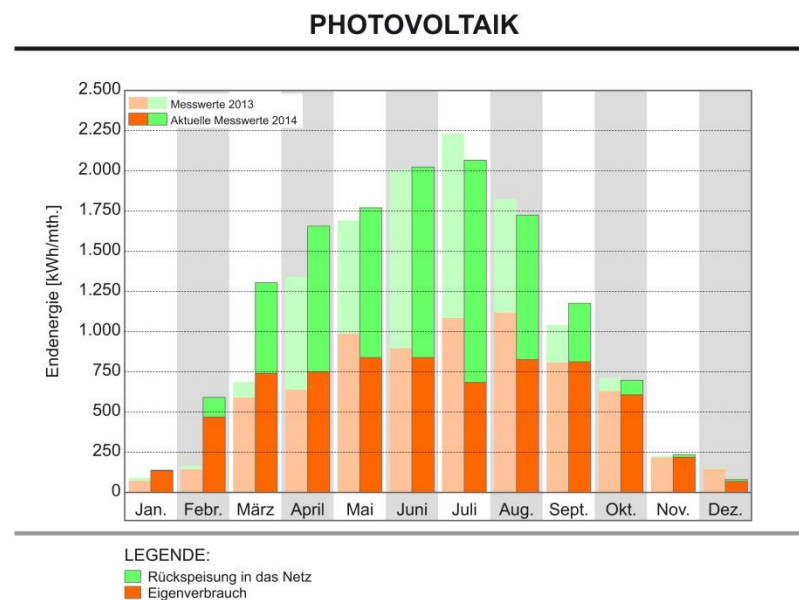


Bild 29: Darstellung des Photovoltaikertrags aufgeteilt in Eigenverbrauch und Rückspeisung in das Netz am Beispiel des Demonstrationsvorhabens in Berlin.

Ergänzend zu den vorangegangenen Einzelobjektbetrachtungen werden im Folgenden aus den Messdaten der gesamten Objekte Analysen im Vergleich der Projekte untereinander und im Vergleich zu der Vorherberechnung nach DIN V18599 dargestellt. Ferner werden hieraus Schlüsse abgeleitet, inwieweit die Bewertungsmethode angepasst werden sollte.

6.4.1 Meteorologische Randbedingungen

Messwerte sind stark vom lokalen und saisonalen Klima geprägt, das während der Messperiode vorherrscht. Daher ist zur besseren Vergleichbarkeit von messtechnisch ermittelten Verbräuchen mit Berechnung des Energiebedarfs nach

der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009), bei der ein mittleres Klima in Deutschland herangezogen wird (Referenzklima Deutschland), eine Klimakorrektur vorzunehmen. Im Rahmen der Erstellung von Energieausweisen werden dazu die gemessenen Heizenergieverbräuche auf mittlere deutsche Klimaverhältnisse normiert. Zur Klimakorrektur wird die Gradtagzahl verwendet, die das Produkt aus der Länge der Heizzeit (Tage) und der hierin aufgetretenen mittleren Temperaturdifferenz (Kelvin) zwischen beheiztem Bereich und Außenluft ist. Zur Heizzeit zählen alle Tage, an denen die mittlere Außenlufttemperatur unterhalb von 12 °C liegt.

Beispielhaft wird im Folgenden die Klimakorrektur für den Standort Köln-Frechen aufgezeigt, an dem 6 Effizienzhaus Plus Demonstrationsvorhaben realisiert wurden. Der Verlauf der Außenlufttemperatur für die Messjahre 2013 und 2014 sowie der Verlauf des Referenzklimas für Deutschland nach EnEV 2009 sind in Bild 30 gezeigt.

Die Jahresmitteltemperatur des EnEV-Referenzklimas beträgt 8,9 °C und ist damit um ca. 1 K bis 2 K niedriger als die Jahresmitteltemperatur am Standort Köln-Frechen im Jahr 2013 (10 °C) bzw. 2014 (11,3 °C).

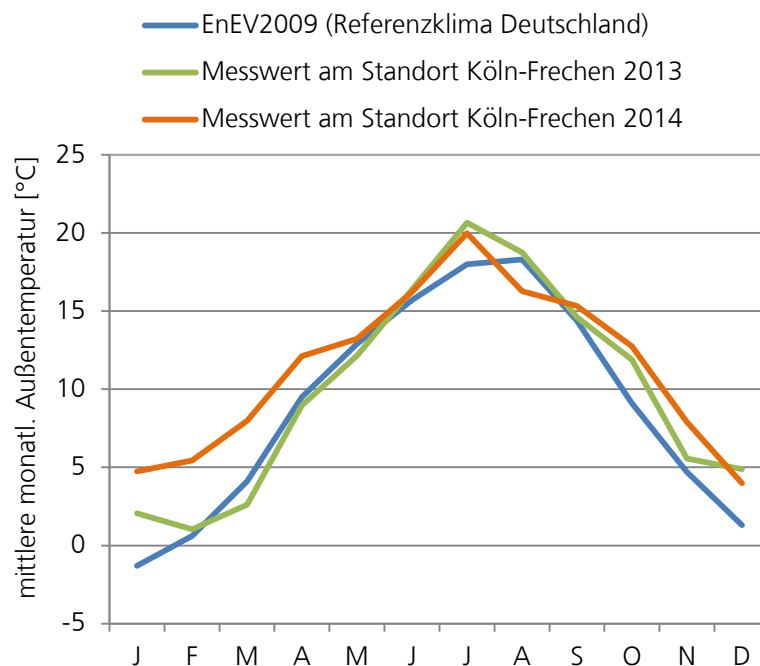


Bild 30: Am Standort Köln-Frechen gemessene und nach Referenzklima vorgegebene Außenlufttemperatur.

Die für das Kalenderjahr 2013 und 2014 ermittelten Gradtagzahlen für die Randbedingung G20/12 sind beispielhaft für den Standort Köln-Frechen in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2:

Gradtagzahlen für den Standort Köln-Frechen und Referenzklima Deutschland.

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G20/12 [Kd]
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen 1. Januar 2013 bis 31. Dezember 2013	3.044
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen 1. Januar 2014 bis 31. Dezember 2014	2.259
Gradtagzahl am Standort Köln-Frechen für das langjährige Mittel (1970 bis 2013)	2.901
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland	3.601

Das Wetter war während der 1. Messperiode in 2013 geringfügig kälter und während der 2. Messperiode im Jahr 2014 wärmer als am Standort Köln-Frechen im langjährigen Mittel, aber wesentlich wärmer als unter mittleren deutschen Klimaverhältnissen üblich. Es ergeben sich daraus beispielhaft für den Klimastandort Köln-Frechen folgende Klimafaktoren:

- Klimafaktor bezogen auf den Standort Köln-Frechen:
 $KF = 2.901 \text{ Kd} / 3.044 \text{ Kd} = 0,95$ (2013)
 $KF = 2.901 \text{ Kd} / 2.259 \text{ Kd} = 1,28$ (2014)
- Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima:
 $KF = 3.601 \text{ Kd} / 3.044 \text{ Kd} = 1,18$ (2013)
 $KF = 3.601 \text{ Kd} / 2.259 \text{ Kd} = 1,59$ (2014)

Der gemessene Heizenergieverbrauch müsste somit mit dem Klimafaktor 0,95 bzw. 1,28 multipliziert werden, um den klimabereinigten Heizenergieverbrauch am Standort Köln-Frechen zu erhalten. Bei Bezug auf das mittlere deutsche Normklima (wie bei der Ausstellung von Energieausweisen erforderlich) müsste der Heizenergieverbrauch mit dem Klimafaktor 1,18 bzw. 1,59 multipliziert werden.

Der Ertrag der Photovoltaikanlage ist maßgeblich von der Strahlungsintensität der Solarstrahlung abhängig. Die im Monitoringzeitraum 2013 und 2014 aufgezeichneten monatlichen Strahlungsintensitäten am Standort Köln-Frechen und die Werte des Referenzklimas nach EnEV 2009 sind in Bild 31 gezeigt. Die Jahreswerte der mittleren monatlichen Strahlungsintensität der beiden Messjahre unterscheiden sich nur geringfügig vom Referenzklima.

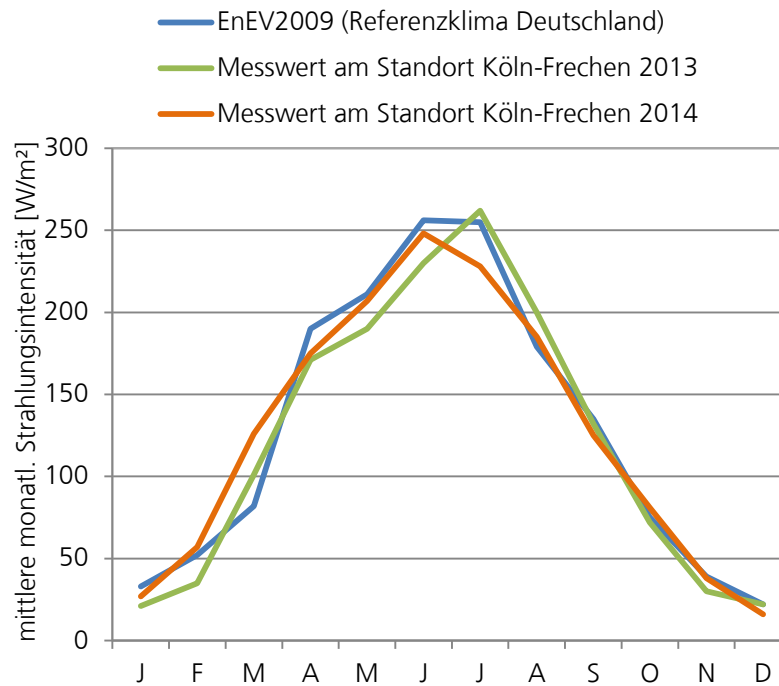


Bild 31:
am Standort Köln-Frechen gemessene und nach Referenzklima vorgegebene mittlere monatliche Strahlungsintensität.

6.4.2 Erträge aus Photovoltaikanlagen

In allen Projekten, die bisher eine ein- bis zweijährige Monitoringphase durchlaufen haben, werden die erneuerbaren Energien durch Photovoltaikmodule erzeugt. Wie Bild 32 und Bild 33 zeigen, auf denen jeweils die Vorherberechnung der Energieerträge der PV-Anlagen sowie die Messergebnisse für das Jahr 2013 und 2014 bzw. nur 2014 dargestellt sind, können die PV-Erträge durch die Berechnungsmethoden relativ gut vorhergesagt werden.

Bis auf das Gebäude in Berlin gibt es keine nennenswerten Unterschiede zwischen den durch Vorherberechnung prognostizierten und den real gemessenen Werten. Beim Berliner Haus werden die Unterschiede im Wesentlichen durch Verschattungseffekte eines angrenzenden Baumes verursacht.

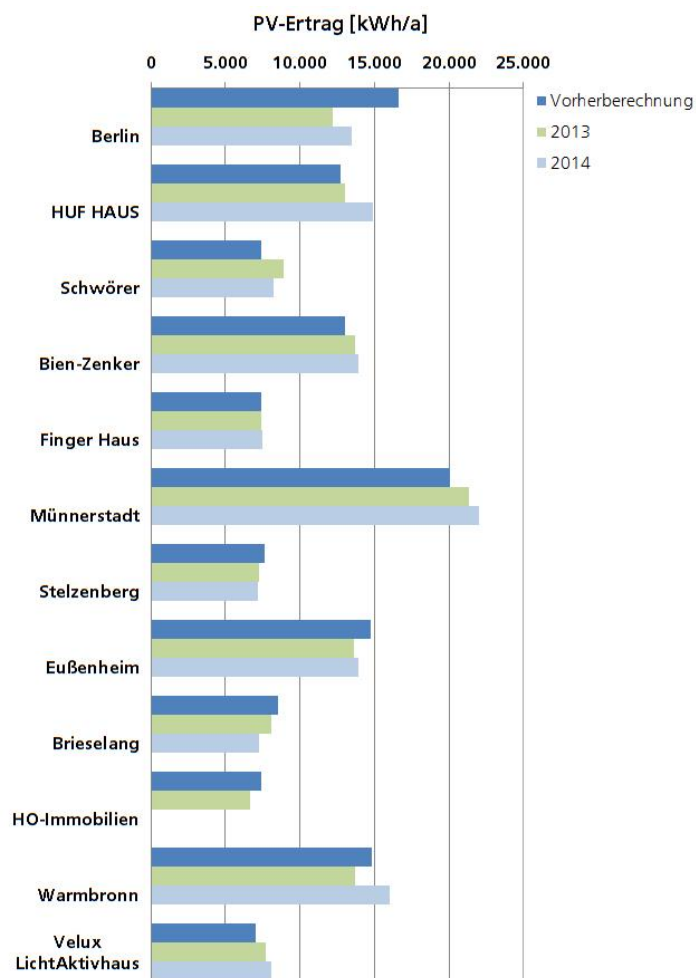


Bild 32: Vorherberechnung und Messung des PV-Ertrags für die Jahre 2013 und 2014.

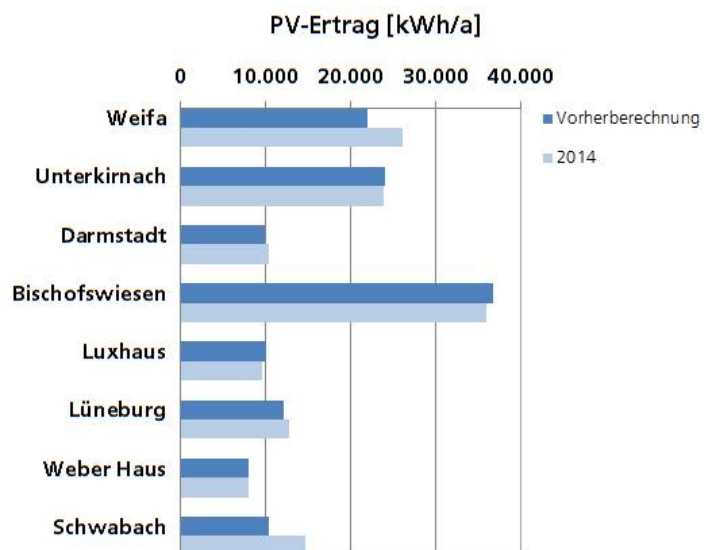


Bild 33: Vorherberechnung und Messung des PV-Ertrags für das Jahr 2014.

Wird der PV-Ertrag aufgeteilt in die Anteile des selbstgenutzten und des, in das öffentliche Netz eingespeisten Stroms wie in Bild 34 dargestellt, schwankt der Eigennutzungsgrad für das Jahr 2013 zwischen 13 % und 60 % und liegt im Mittel bei 32 %. Anlagen mit Batterien zeigen unterschiedliche Tendenzen. In Berlin wird der Eigennutzungsgrad durch die Batterie auf 60 % angehoben während er in Münsterstadt aufgrund der großdimensionierten PV-Anlage und der dazu relativ klein dimensionierten Batterie nur bei 16 % liegt.

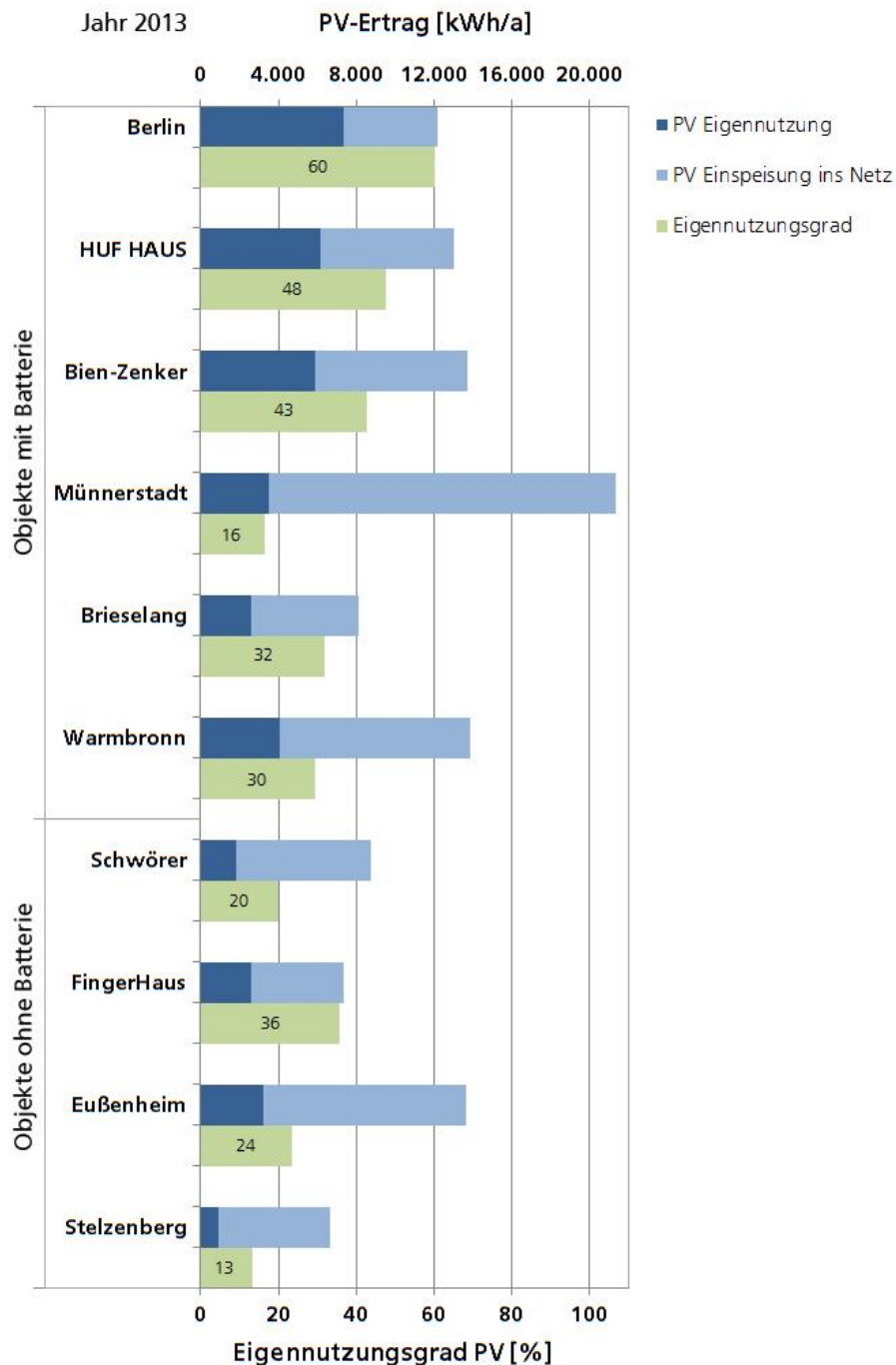


Bild 34:
Eigennutzung, Einspeisung und Eigennutzungsgrad des PV-Stroms für das Jahr 2013.

Der Autarkiegrad, der die Deckung des Endenergiebedarfs des Gebäudes durch den selbst generierten PV-Strom darstellt, zeigt Bild 35. Der Autarkiegrad schwankt für 2013 zwischen 24 % und 64 % und beträgt im Mittel 39%. Die Auswertung verdeutlicht, dass ohne Batterie etwa 28% des notwendigen Stroms durch die PV-Anlage direkt bereit gestellt werden kann, bei der Verwendung von Batterien kann dieser Anteil deutlich erhöht und bei gut dimensionierten Systemen auf über 50% gesteigert werden.

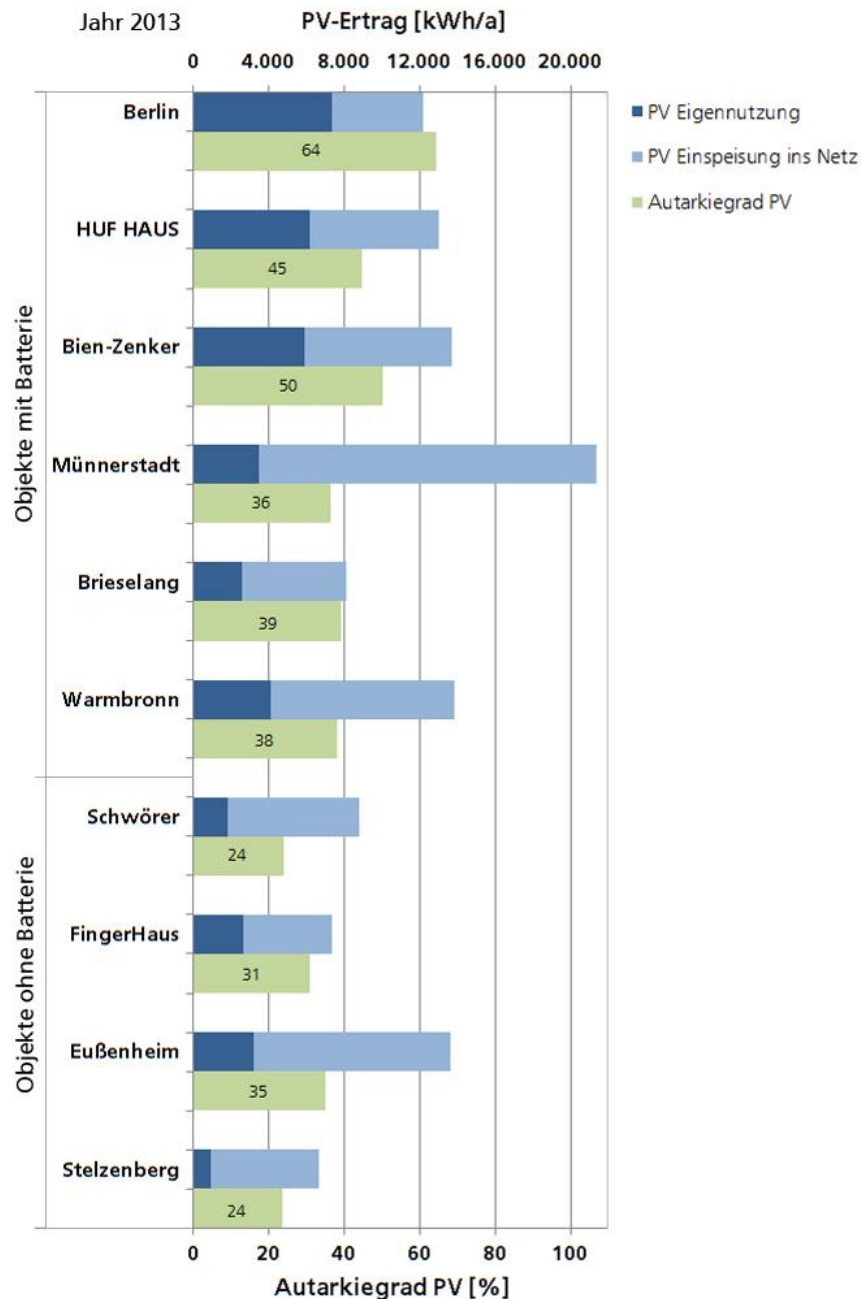


Bild 35:
Eigennutzung, Einspeisung und Autarkiegrad des PV-Stroms für das Jahr 2013.

Im Kalenderjahr 2014 haben 20 Projekte das Monitoring durchlaufen, 10 davon verfügen, wie Bild 36 zeigt, über einen elektrischen Stromspeicher. Hier liegt der Eigennutzungsgrad des PV-Stroms geringfügig höher als im Vorjahr im Mittel bei 34 %.

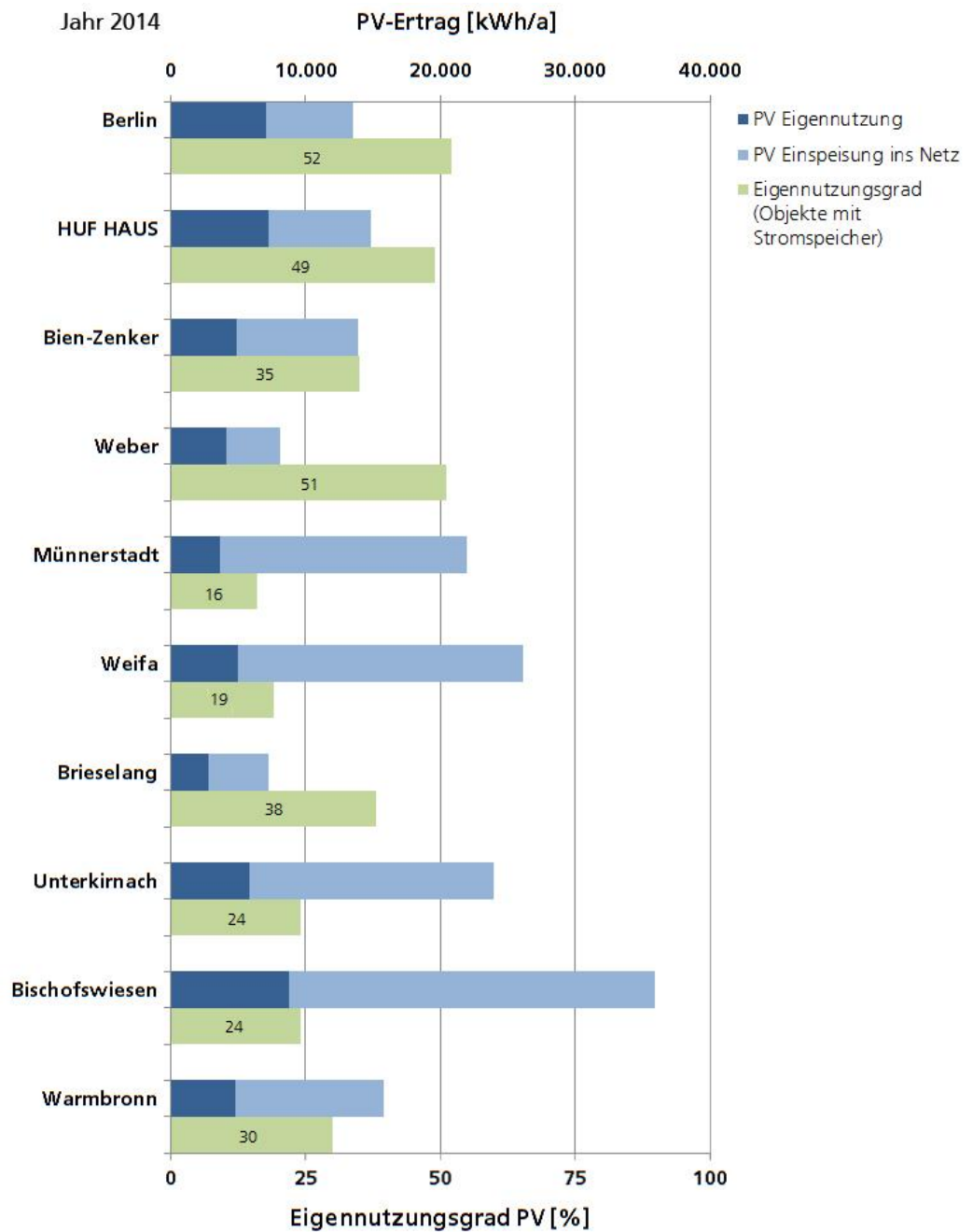


Bild 36:

Eigennutzung, Einspeisung und Eigennutzungsgrad des PV-Stroms für das Jahr 2014 für Projekte mit elektrischem Speicher.

Der Autarkiegrad durch selbst generierten PV-Stroms im Jahr 2014 ist in Bild 37 für Anlagen mit Batteriespeicher aufgetragen. Er beträgt im Mittel 52 % und konnte gegenüber dem Vorjahr bei den meisten Anlagen noch einmal gesteigert werden. Besonders positiv auffallend sind die hohen Autarkiegrade in Weifa (67 %) und Berlin (87%).

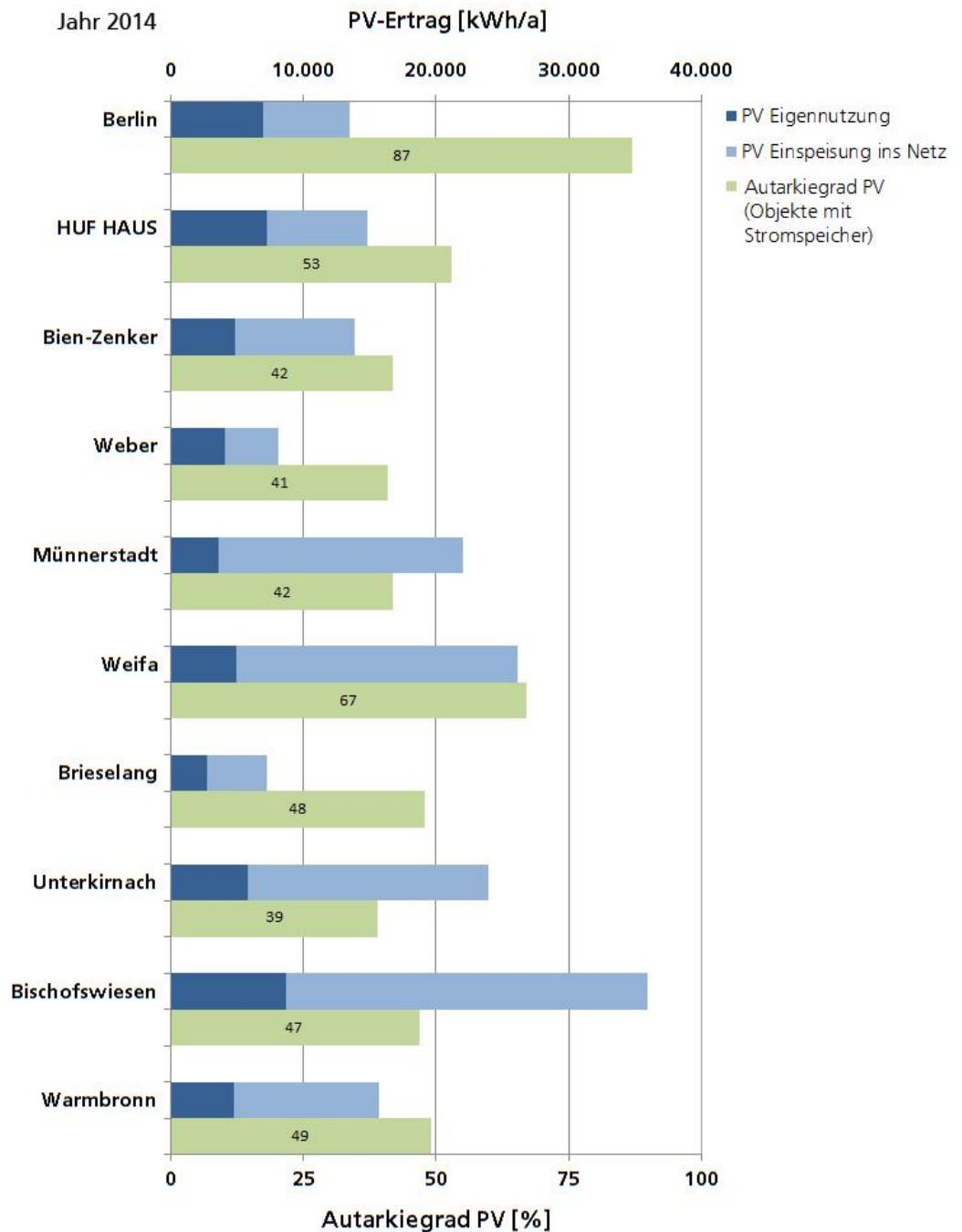


Bild 37: Eigennutzung, Einspeisung und Autarkiegrad des PV-Stroms für das Jahr 2014 für Projekte mit elektrischem Stromspeicher.

Der PV-Ertrag für 2014 und der daraus resultierende Eigennutzungsgrad für Projekte ohne Batterie zeigt Bild 38. Dieser liegt im Mittel bei 23 %.

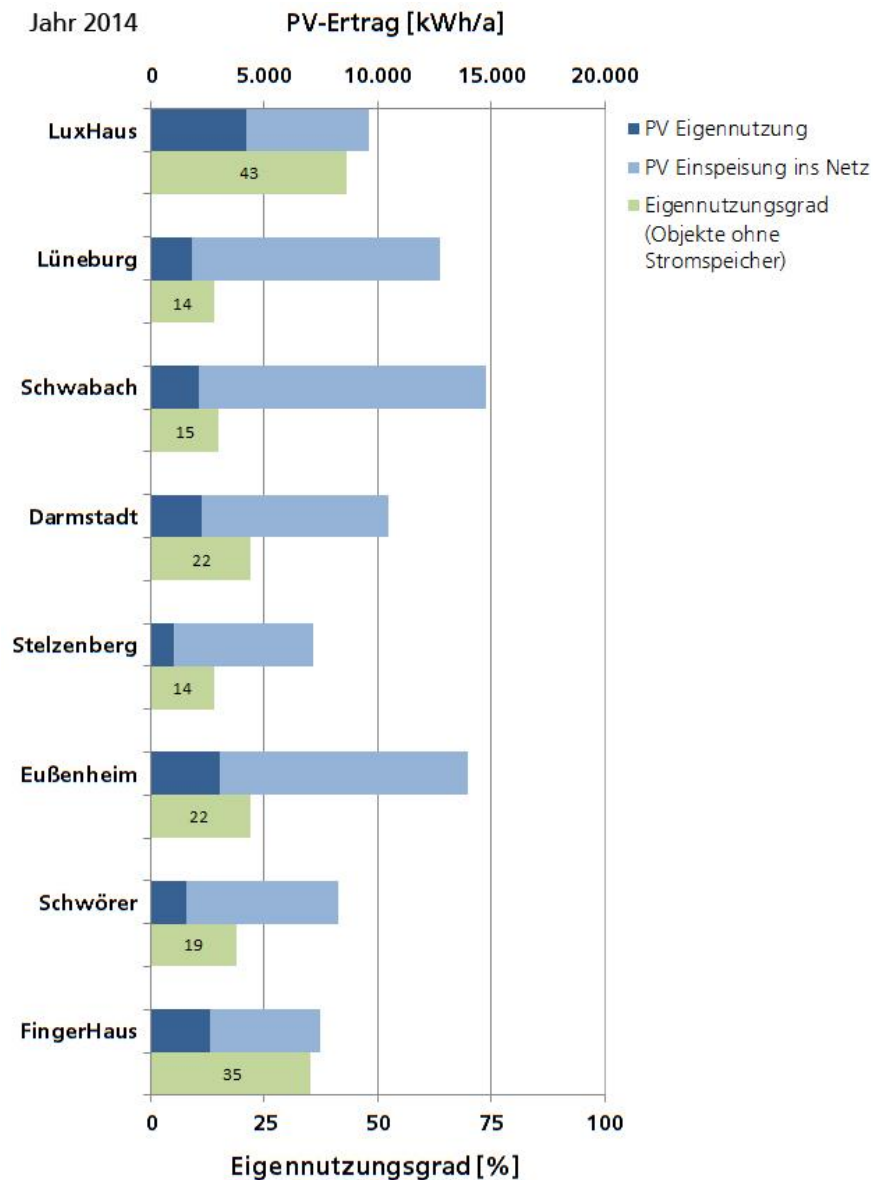


Bild 38:

Eigennutzung, Einspeisung und Eigennutzungsgrad des PV-Stroms für das Jahr 2014 für Projekte mit elektrischem Stromspeicher.

Der Autarkiegrad durch selbst generierten PV-Stroms im Jahr 2014 ist für Anlagen ohne Batteriespeicher in Bild 39 aufgetragen. Er beträgt im Mittel 32 %

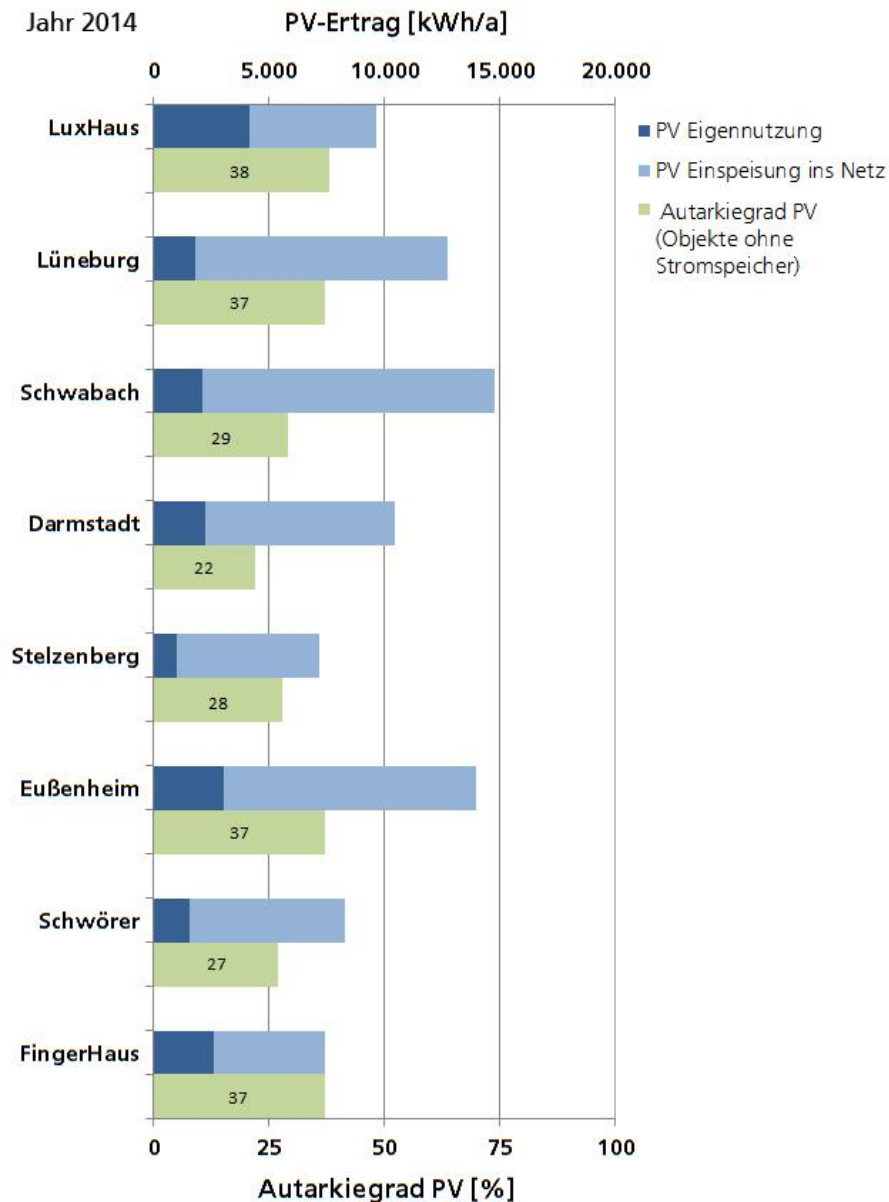


Bild 39:

Eigennutzung, Einspeisung und Eigennutzungsgrad des PV-Stroms für das Jahr 2014 für Projekte mit elektrischem Stromspeicher.

Die Dimensionierung der PV-Speichersysteme kann an der installierten Leistung der PV Anlage und dem strombasierten Endenergiebedarf des Hauses ausgerichtet werden. Die im Vorhaben verwendeten Batterien weisen die in Bild 40 dargestellten Relationen auf. Die meisten der Anlagen weisen eine Nennkapazität von 1h Peakleistung auf, d.h. eine Anlage mit einer Peakleistung von 20 kW erhält eine Batterie mit der Leistung von 20 kWh. Die größten Kapazitäten weisen Objekte aus, die eine Ladekapazität von 2 h besitzen.

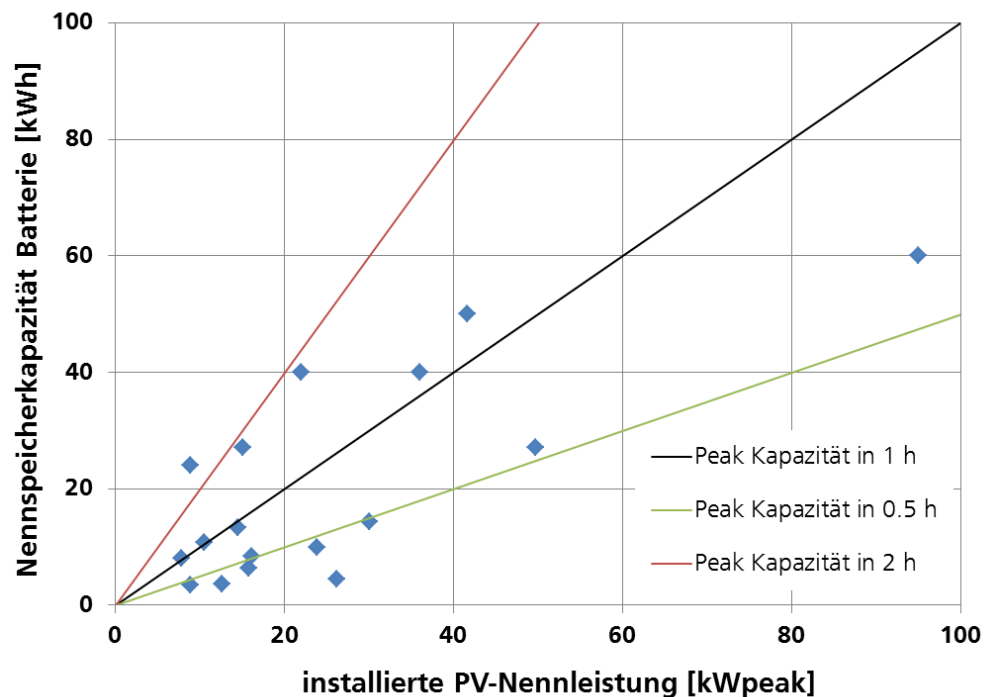


Bild 40:

Speicherkapazität in Abhängigkeit von der installierten PV Leistung für Projekte mit elektrischem Stromspeicher.

Bewertungsgrößen zur Systemauslegung sind der

$$\text{Eigenverbrauchsanteil} = \text{Eigenverbrauch PV-Strom} / \text{PV-Ertrag}$$

und der

$$\text{Autarkiegrad} = \text{Eigenverbrauch PV-Strom} / \text{Gesamtstromverbrauch}$$

Für die Demonstrationsvorhaben mit einem Batteriespeicher ergeben sich die in Bild 41 angegebenen Eigennutzungs- und Autarkiegrade des PV-Stroms. Auf Basis der Messergebnisse, die teilweise von umfangreichen Ausfallzeiten der Batterien geprägt waren, lassen sich jedoch noch keine allgemeingültigen Dimensionierungsparameter ableiten.

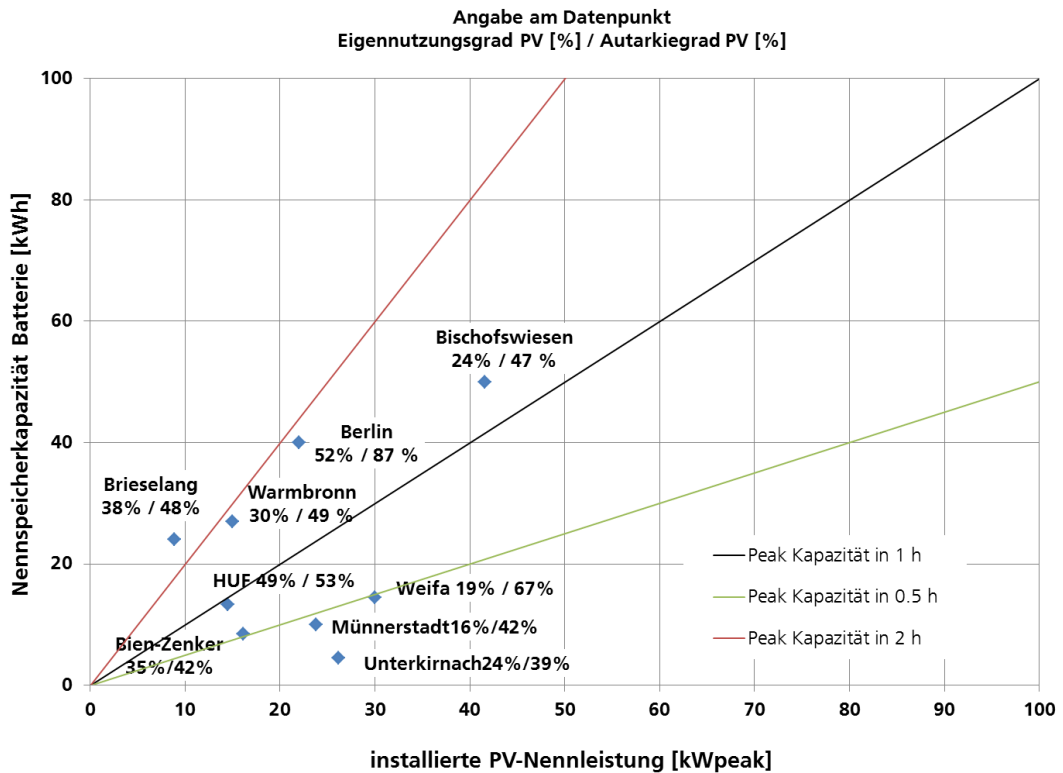


Bild 41:

Speicherkapazität in Abhängigkeit von der installierten PV Leistung für Projekte mit elektrischem Stromspeicher mit Angabe von Eigennutzungsgrad und Autarkiegrad in 2014.

6.4.3 Endenergieverbrauch der Gebäude

Den Endenergieverbrauch der Gebäude, die eine zweijährige Monitoringphase beendet haben, zeigt Bild 42. Überwiegend alle Gebäude verbrauchen mehr Endenergie als vorherberechnet wurde. Eine Ausnahme bildet das Projekt in Stelzenberg, das als Ferienhaus dient und damit nur vorübergehend genutzt wird. Im Jahr 2013 lag der Mehrverbrauch im Mittel bei 46 %, im Jahr 2014 konnte er durch Optimierungen am Gebäude und den günstigen Klimaverhältnissen auf 23 % Mehrverbrauch reduziert werden. Die Auswertung zeigt, dass die Bewertungsansätze noch einmal kritisch analysiert werden müssen, da mit den gewählten Ansätzen offensichtlich keine Performancegarantie ausgesprochen werden kann.

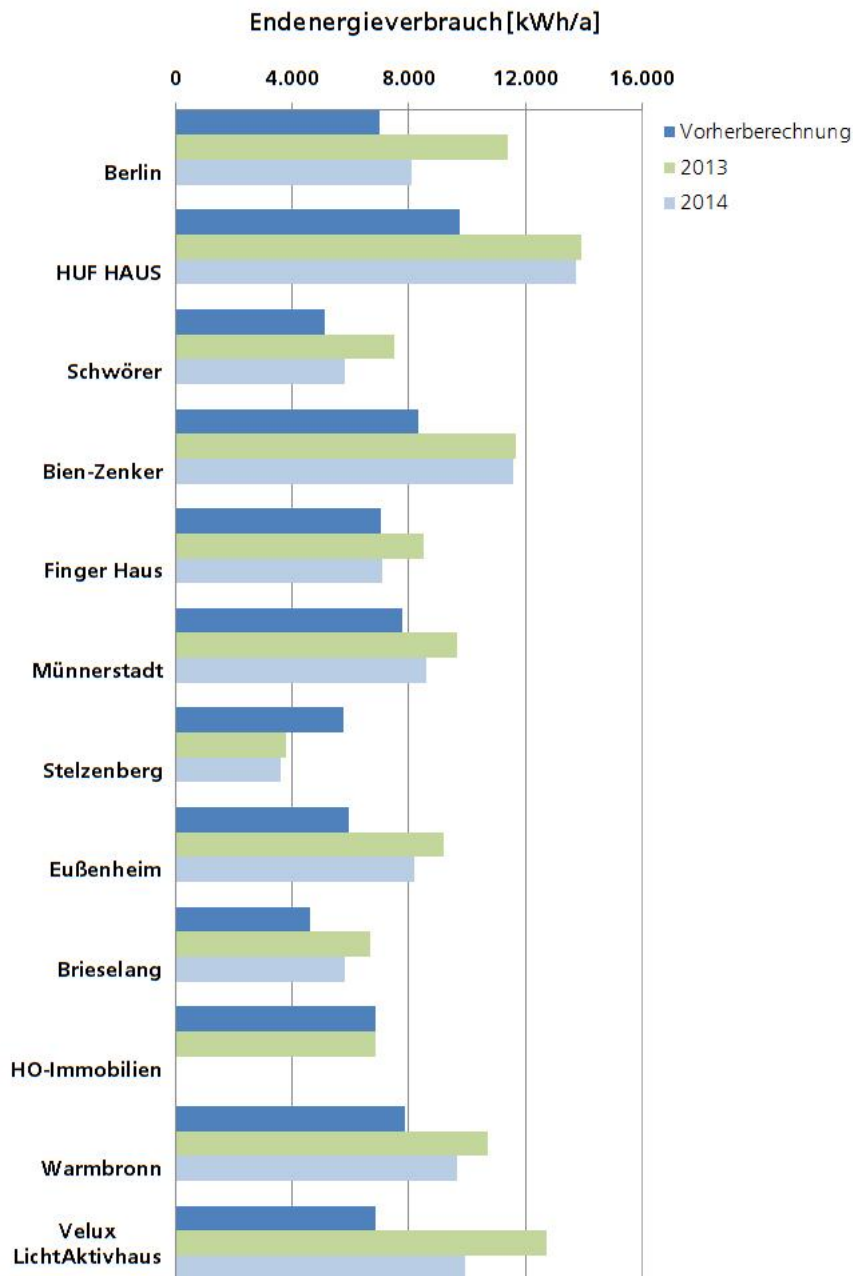


Bild 42:

Endenergieverbrauch Vorherberechnung und Messwerte der Jahre 2013 und 2014 der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Für die Gebäude, die bisher ein Jahr gemessen wurden ist der Endenergieverbrauch in Bild 43 dargestellt. Hier zeigen sich unterschiedliche Tendenzen, 2/3 der Projekte verbrauchen im Jahr 2014 mehr Energie (im Mittel 27%) als prognostiziert wurde. 1/3 der Projekte kommt mit im Mittel 30 % weniger Endenergie aus als vorherberechnet. Hier ist zu berücksichtigen, dass in Bischofs- wiesen 4 von 6 Wohneinheiten als Ferienwohnung genutzt werden und das Gebäude in Lüneburg nur von einem Einpersonenhaushalt bewohnt wird.

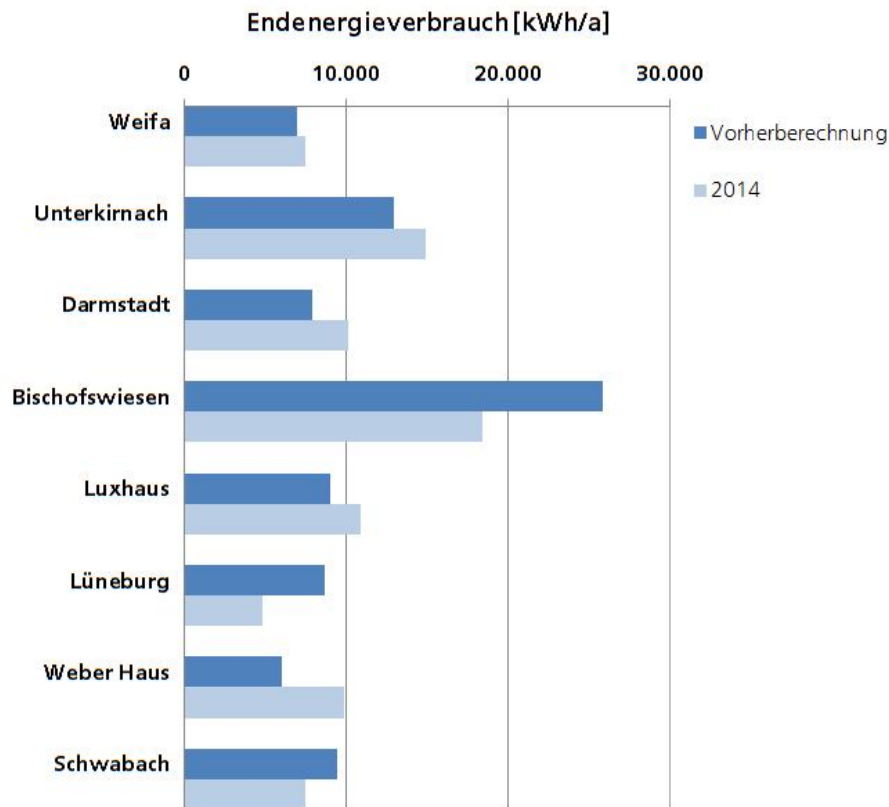


Bild 43:

Endenergieverbrauch Vorherberechnung und Messwerte des Jahres 2014 der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Zur vertiefenden Betrachtung wird der gesamte Endenergieverbrauch der Gebäude in die folgenden Verbrauchsanteile unterteilt:

- Heizung, Trinkwarmwasser, Hilfsenergie
- Beleuchtung, Haushaltsgeräte, -prozesse und sonstiges

Zum Vergleich von Messwerten und vorherberechneten Werten werden die vorherberechneten Werte für die Anteile Heizung, Trinkwarmwasser und Hilfsenergie den EnEV-Berechnungen nach der DIN V 18599 entnommen. Die prognostizierten Werte für die Beleuchtung und den Haushaltsstrom basieren auf den Vorgaben des Effizienzhaus Plus Standards.

Einen Vergleich der Messwerte aus 2013 mit der Vorherberechnung aufgeteilt in die Anteile Endenergie nach DIN V 18599 und Haushaltsstrom nach Effizienzhaus Plus Standard zeigt Bild 44. Die Analyse zeigt, dass die Mehrverbräuche sowohl im Bereich der Anlagentechnik als auch bei der Haushaltsstromnutzung auftreten. Im Bereich der Anlagentechnik weisen 4 der 12 Objekte deutliche Differenzen auf. Hier sind Ineffizienzen der Anlagentechnik in den Projekten in Berlin, bei Schwörer, Bien-Zenker und beim Velux LichtAktivhaus zu nennen. 2/3 der untersuchten Anlagen weisen zufriedenstellende Ergebnisse auf. Ähnliche Ergebnisse lassen sich für die Haushaltsverbräuche darstellen. Bei den

Projekten Huf, Finger, Münnerstadt und Brieselang sind deutlich höhere Verbräuche im Bereich des Haushaltsstroms und der Beleuchtung zu verzeichnen, die restlichen 66% der Objekte weisen eine gute Übereinstimmung zwischen Vorherberechnung und Validierungsmessung auf.

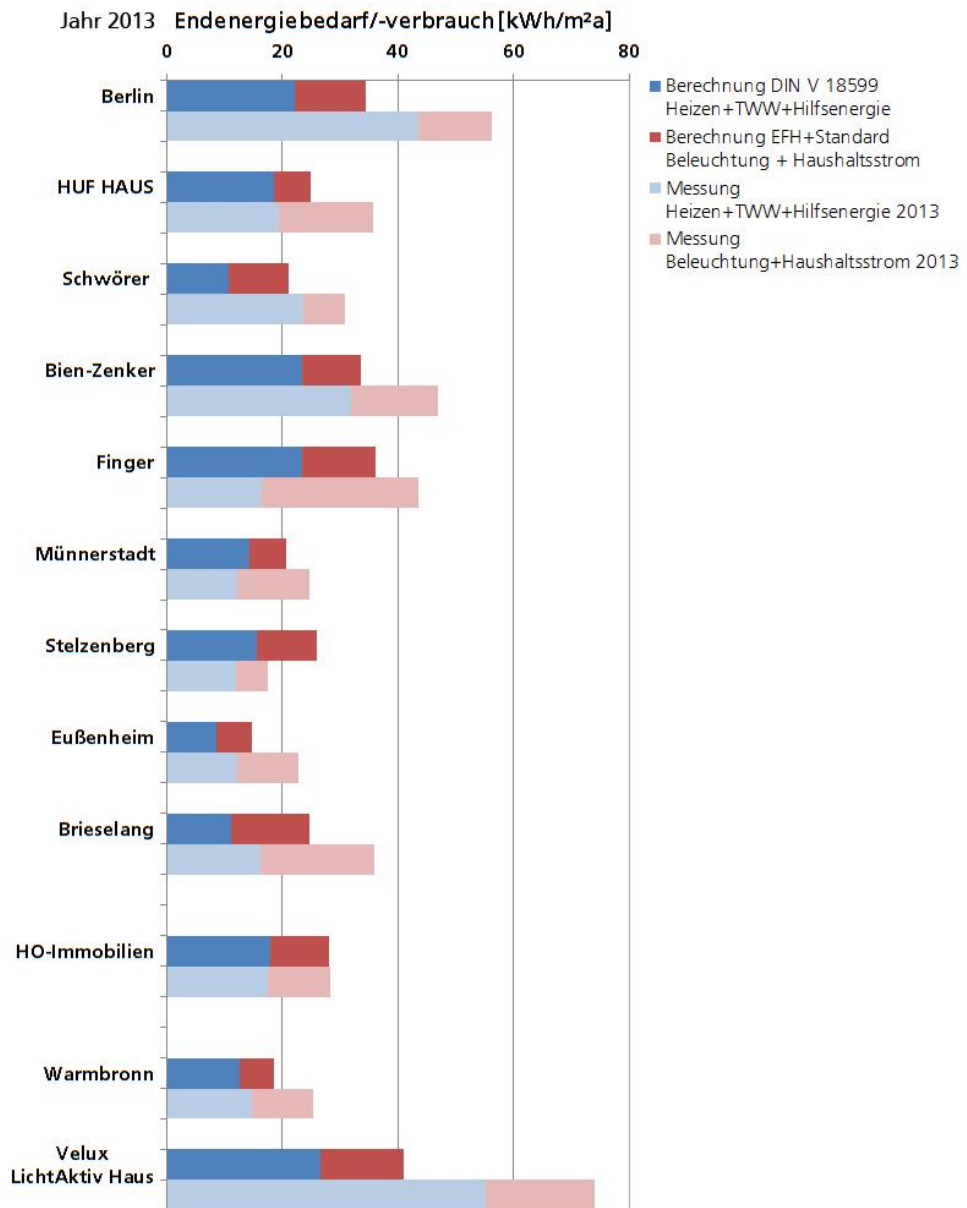


Bild 44:

Vergleich Endenergiebedarf nach DIN V 18599 und Haushaltsstrom nach Effizienzhaus Plus Standard mit Messwerten aus 2013 der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Der Vergleich der Messwerte der Endenergie mit der Vorherberechnung für das Jahr 2014 ist als Absolutwert in Bild 45 und bezogen auf die Nutzfläche A_N in Bild 46 dargestellt. Auch in 2014 treten sowohl Ineffizienzen im Bereich der Haustechnik als auch Mehrverbräuche beim Haushaltsstrom auf, allerdings sind diese nicht mehr so ausgeprägt wie im Vorjahr. Für Gebäude, die über eine

Gebäudeautomation verfügen und diese gesondert vermessen wird, beträgt der Energiebedarf für die Gebäudeautomation im Mittel 7 % des Gesamtstrombedarfs. Die Ergebnisse nach erfolgter Einregulierung können im Rahmen der erzielbaren Genauigkeit als sehr vertrauenswürdig eingestuft werden.

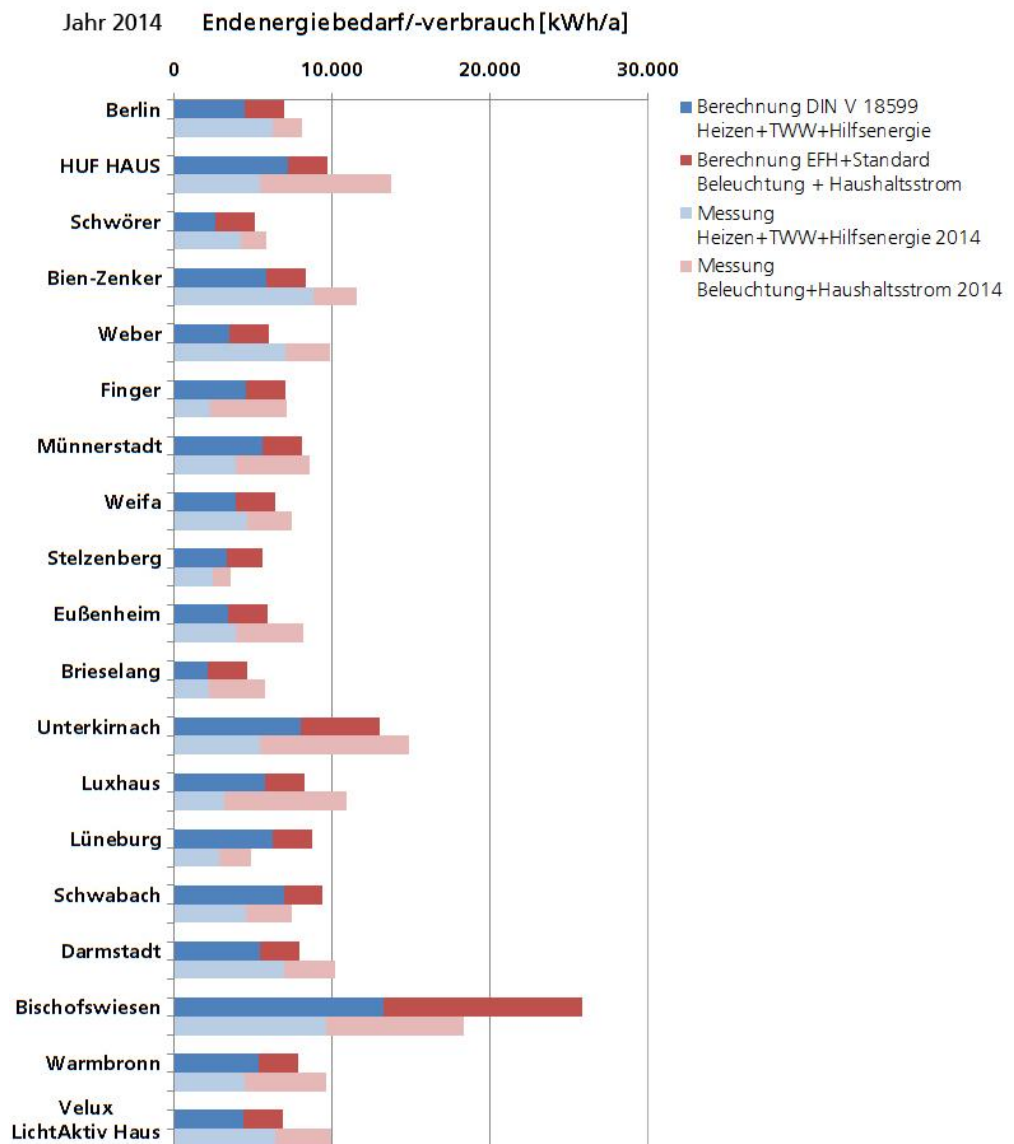


Bild 45: Vergleich Endenergiebedarf (Absolutwert) nach DIN V 18599 und Haushaltsstrom nach Effizienzhaus Plus Standard mit Messwerten aus 2014 der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

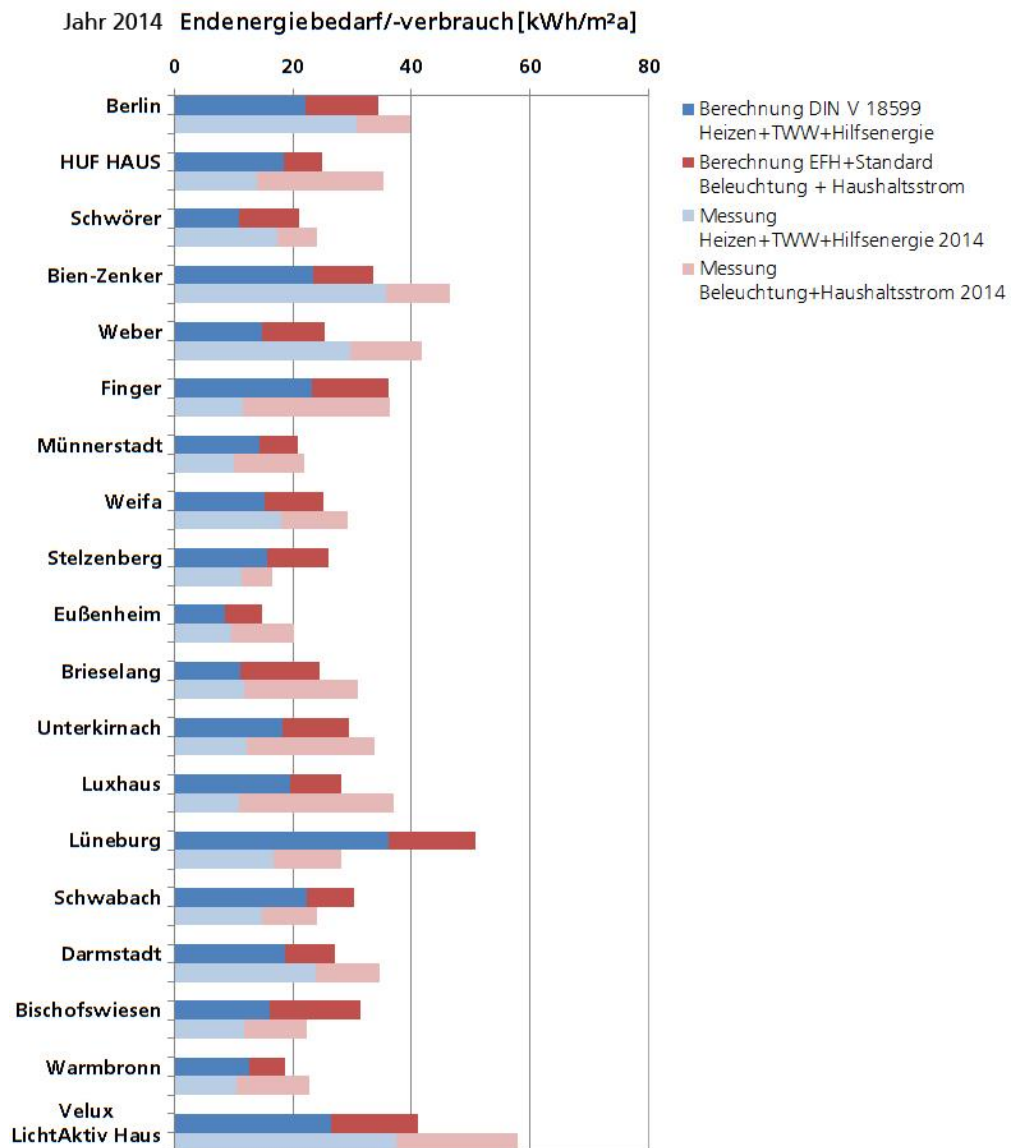


Bild 46:

Vergleich Endenergiebedarf (bezogen auf A_N) nach DIN V 18599 und Haushaltsstrom nach Effizienzhaus Plus Standard mit Messwerten aus 2014 der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Zur detaillierteren Betrachtung des Haushaltsstroms wird dieser gemäß Effizienzhaus Plus Standard in die Anteile Beleuchtung, Haushaltsgeräte und sonstiges unterteilt. Es wird dabei ein pauschaler Wert von 20 kWh/m²a jedoch maximal 2.500 kWh/a je Wohneinheit angesetzt. Die Verteilung des Pauschalwertes verdeutlicht Tabelle 3.

Tabelle 3:

Anzusetzende pauschale Größe für Beleuchtung, Haushaltsgeräte, Kochen und sonstiges nach Effizienzhaus Plus Standard.

Effizienzhaus Plus Standard	Pauschal [kWh/m ² a]		Maximum je Wohneinheit [kWh/a]
Beleuchtung	3		375
Haushaltsgeräte	10	17	1.250
Kochen	3		375
Sonstiges	4		500
Summe	20		2.500

Für den Vergleich der Gebäude untereinander in Bezug auf den Endenergieverbrauch für die Beleuchtung wird eine differenzierte Betrachtung durchgeführt. Im Laufe des Monitorings hat sich gezeigt, dass die Musterhäuser, die in Köln-Frechen in der FertighausWelt durch die Firmen HUF HAUS, Bien-Zenker, Schwörer Haus, WeberHAUS, Finger und LUX Haus realisiert wurden, teilweise einen sehr hohen Energiebedarf für die Beleuchtung aufweisen. Dieser ist sowohl auf die nächtliche Nutzung der Beleuchtung und die in Teilbereichen überdimensionierten Leuchten zu Werbezwecken zurückzuführen. Die Musterhäuser werden daher getrennt von den übrigen Demonstrationsvorhaben betrachtet.

Einen Vergleich der Messwerte für die Beleuchtung mit den Vorgaben des Effizienzhaus Plus Standards ist für die Musterhäuser für das Jahr 2013 in Bild 47 und für das Jahr 2014 in Bild 48 gezeigt. Der Effizienzhaus Plus Standard wird teilweise drastisch überschritten.

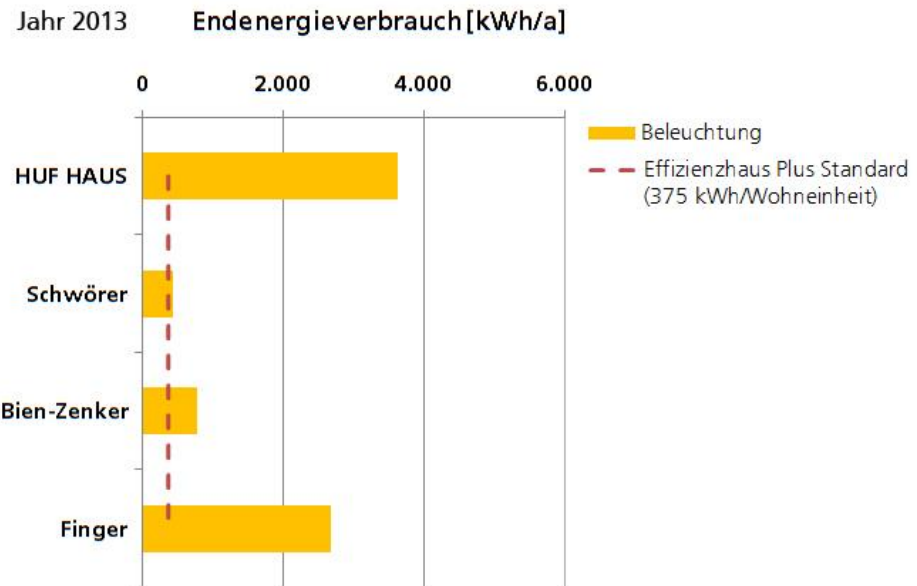


Bild 47:
Endenergieverbrauch für Beleuchtung in den Musterhäusern in Köln-Frechen im Jahr 2013.

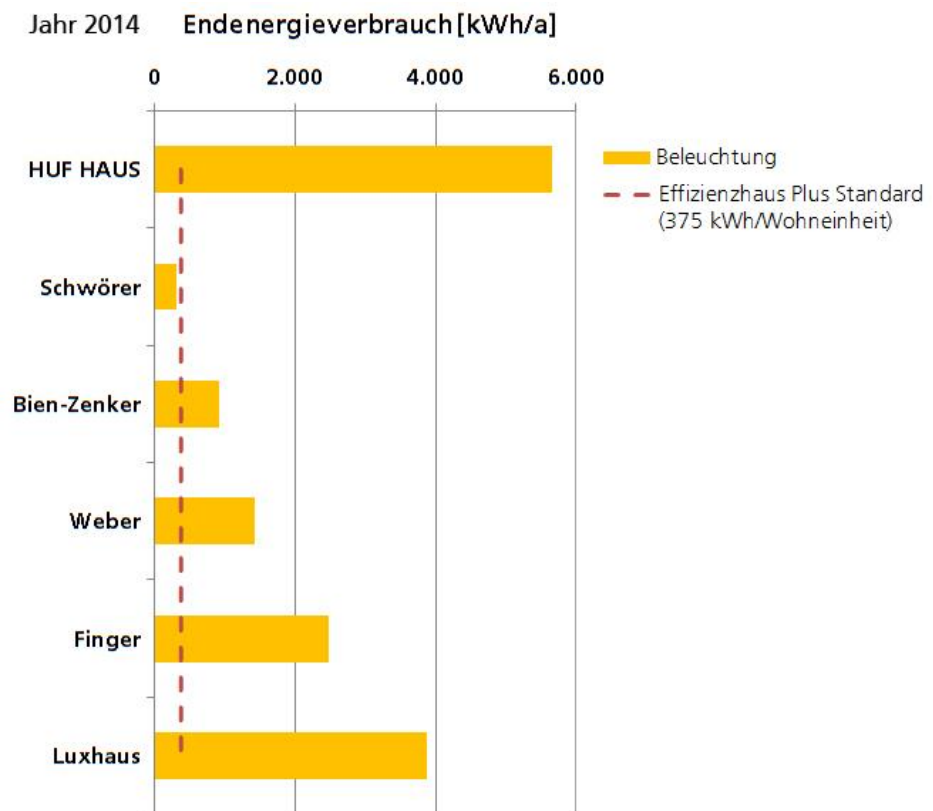


Bild 48:
Endenergieverbrauch für Beleuchtung in den Musterhäusern in Köln-Frechen im Jahr 2014.

Für die übrigen Modellvorhaben ist der Endenergieverbrauch für die Beleuchtung für das Jahr 2013 in Bild 49 und für das Jahr 2014 in Bild 50 dargestellt.

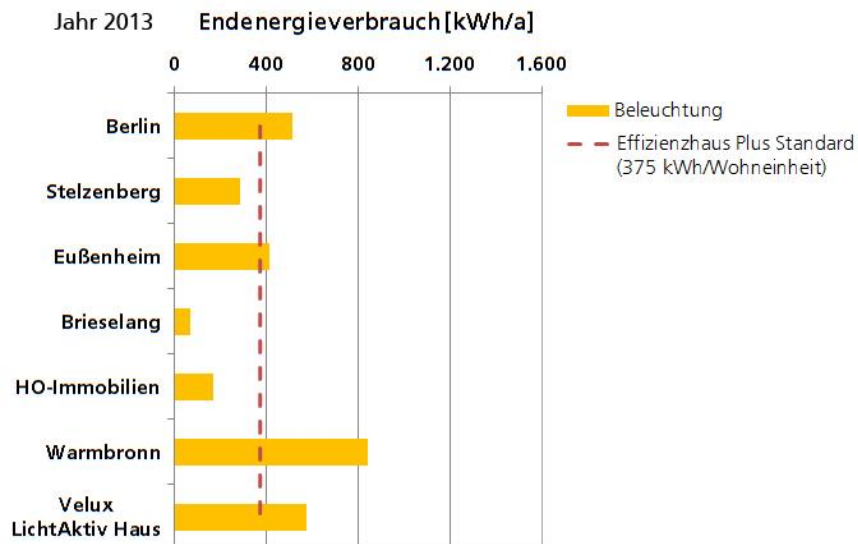


Bild 49: Endenergieverbrauch für Beleuchtung in den Demonstrationsvorhaben nach Effizienzhaus Plus Standard im Jahr 2013.

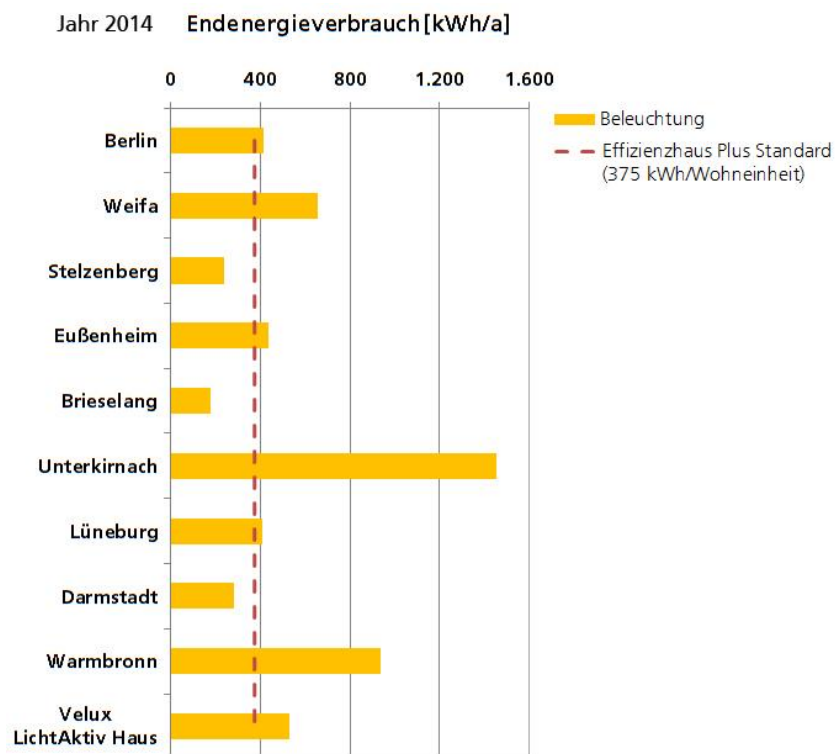


Bild 50: Endenergieverbrauch für Beleuchtung in den Demonstrationsvorhaben nach Effizienzhaus Plus Standard im Jahr 2014.

Für die Auswertung gilt es zu berücksichtigen, dass das Projekt in Münsterstadt keinen Messwert für die Beleuchtung liefert, sondern diesen aus der Bilanz be-

rechnet und einen nicht weiter benannten Anteil sonstiges enthält. Es wurde daher in der Gegenüberstellung nicht berücksichtigt. Die Endenergie für die Beleuchtung für die Projekte in Schwabach und Bischofswiesen werden nicht extra erfasst und sind Endenergieanteil für die Elektrogeräte enthalten. Das Gebäude in Unterkirnach besteht aus zwei Wohneinheiten. Die Gegenüberstellung zeigt, dass sich viele der Objekte im Bereich der Vorherberechnungswerte bewegen, einige jedoch den Grenzwert überschreiten. Im Mittel tritt ein Überschreiten von ca. 30 %.

Bezogen auf die Wohnfläche ergibt sich für die Gebäude, wie Bild 51 zeigt ein Endenergiebedarf für die Beleuchtung, der zwischen $1,5 \text{ kWh/m}^2_{\text{Wfl.a}}$ und $7 \text{ kWh/m}^2_{\text{Wfl.a}}$, im Mittel bei $3,5 \text{ kWh/m}^2_{\text{Wfl.a}}$ liegt. Es sollte daher erwogen werden für zukünftige Projekte den Endenergiebedarf für die Beleuchtung geringfügig, auf $4 \text{ kWh/m}^2_{\text{Wfl.a}}$ bis $6 \text{ kWh/m}^2_{\text{Wfl.a}}$ anzuheben.

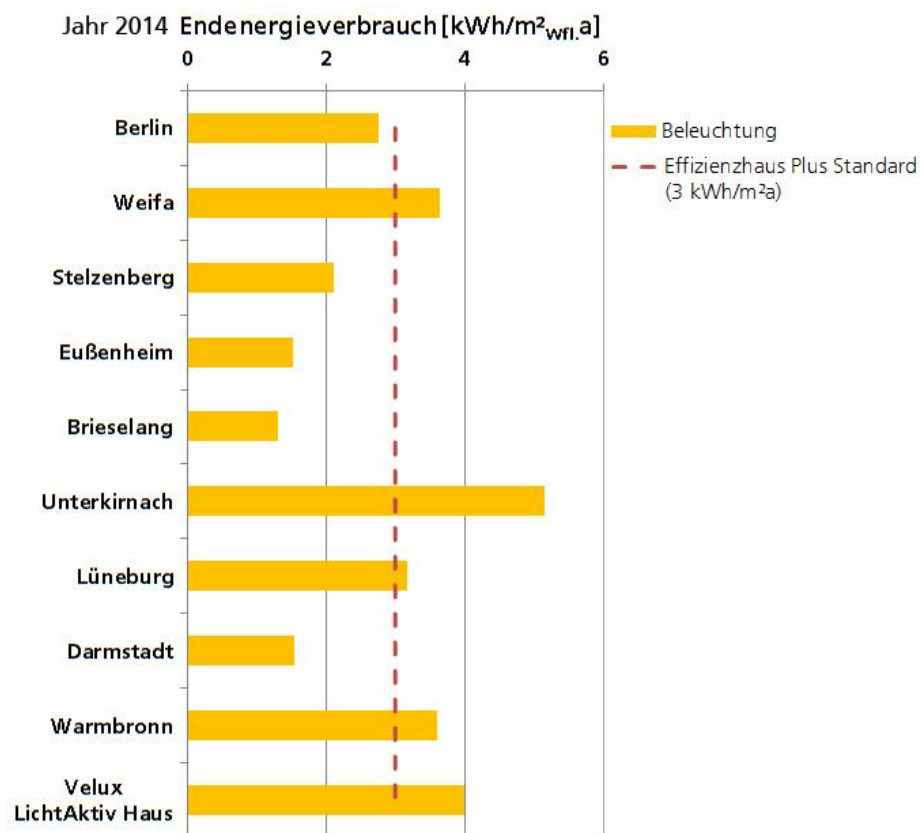


Bild 51:
Endenergieverbrauch für Beleuchtung bezogen auf die Wohnfläche in den Demonstrationsvorhaben nach Effizienzhaus Plus Standard im Jahr 2014.

Tipp: Für die Beleuchtung sollten bei der Vorherberechnung jährlich 485 kWh je Wohneinheit bzw. 6 kWh pro m^2 Wohnfläche berücksichtigt werden.

Der Endenergieverbrauch für Haushaltsgeräte, -prozesse und sonstiges ist für das Jahr 2013 in Bild 52 und für das Jahr 2014 in Bild 53 gezeigt. Aus der Ana-

lyse kann abgeleitet werden, dass nur wenige der Gebäude die Vorherberechnungsvorgaben erfüllen. Von einer Vielzahl der Projekte wird der vorgegebene maximale Grenzwert für den Endenergieverbrauch für den Haushaltsstrom für eine Wohneinheit von 2.125 kWh/a um ca. 25 % überschritten.

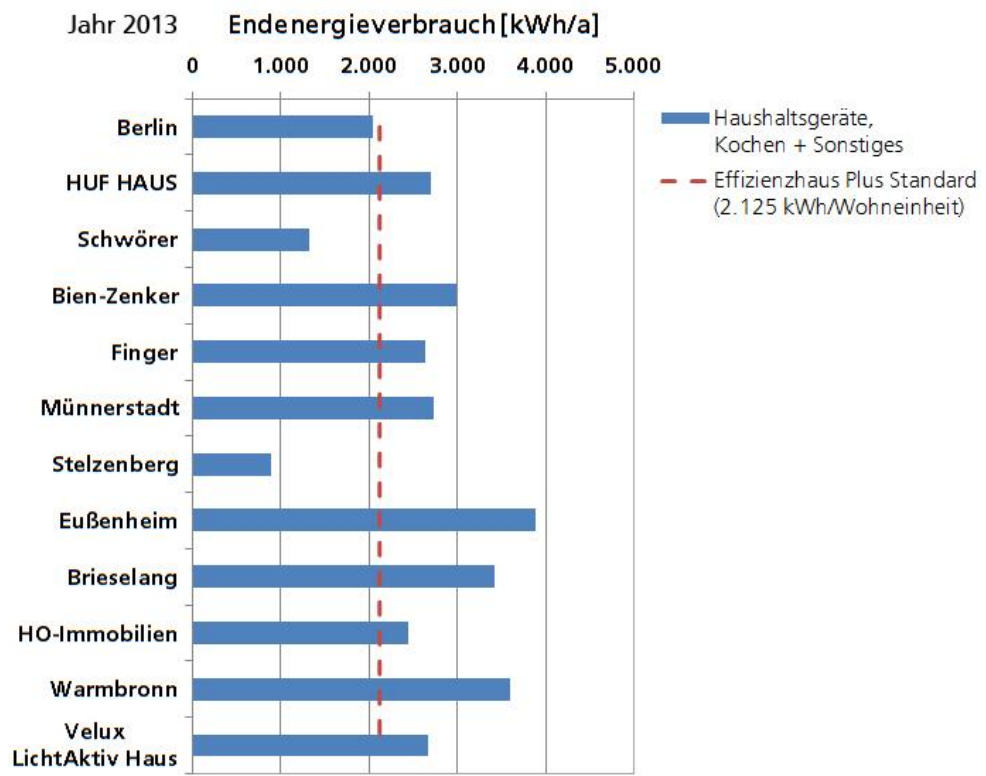


Bild 52:

Endenergieverbrauch für Haushaltsgeräte, -prozesse und der Demonstrationsvorhaben nach Effizienzhaus Plus Standard im Jahr 2013.

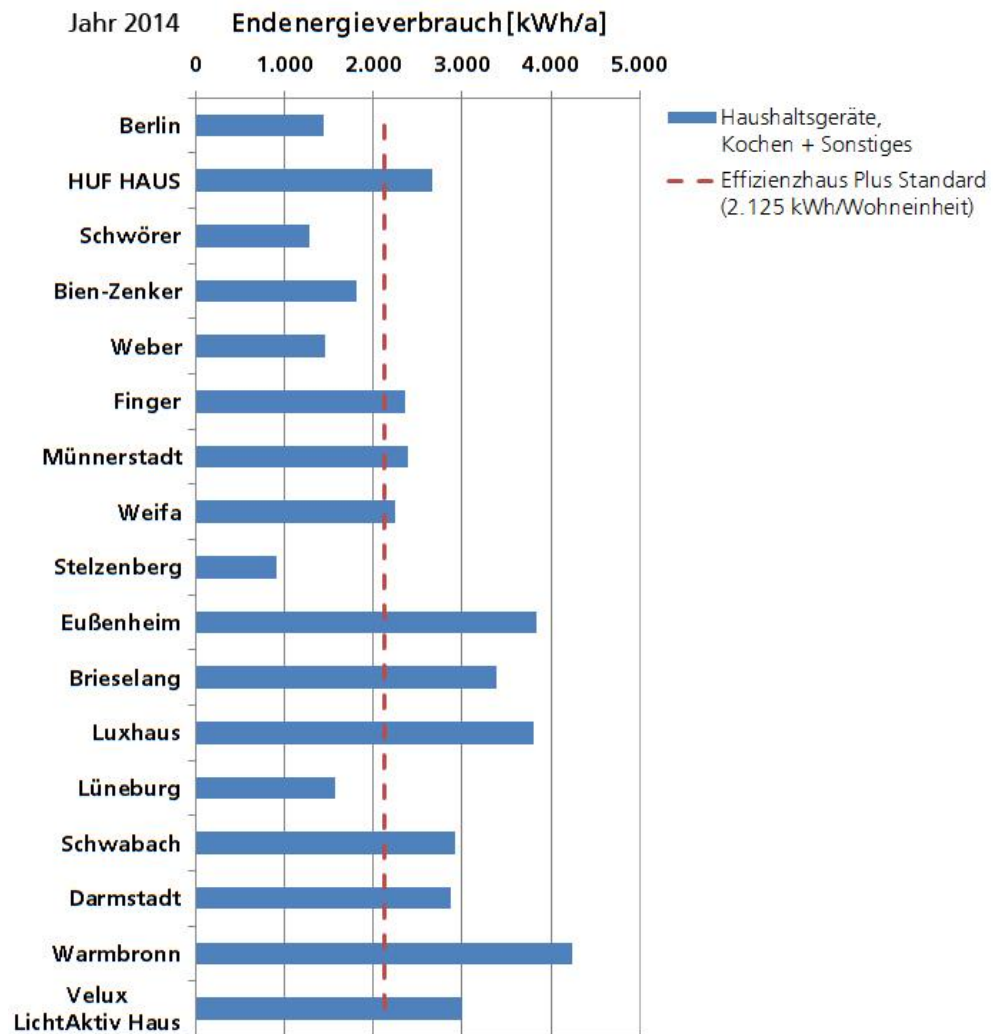


Bild 53:

Endenergieverbrauch für Haushaltsgeräte, -prozesse und der Demonstrationsvorhaben nach Effizienzhaus Plus Standard im Jahr 2014.

Bezieht man die Haushaltsverbräuche auf die Wohnfläche, wie Bild 54 zeigt, wird der Grenzwert von 17 kWh/m²a überwiegend eingehalten. Daher ist zu empfehlen, den wohnflächenbezogenen Ansatz beizubehalten, jedoch den wohneinheitsbezogenen Grenzwert auf 2.650 kWh/a zu erhöhen.

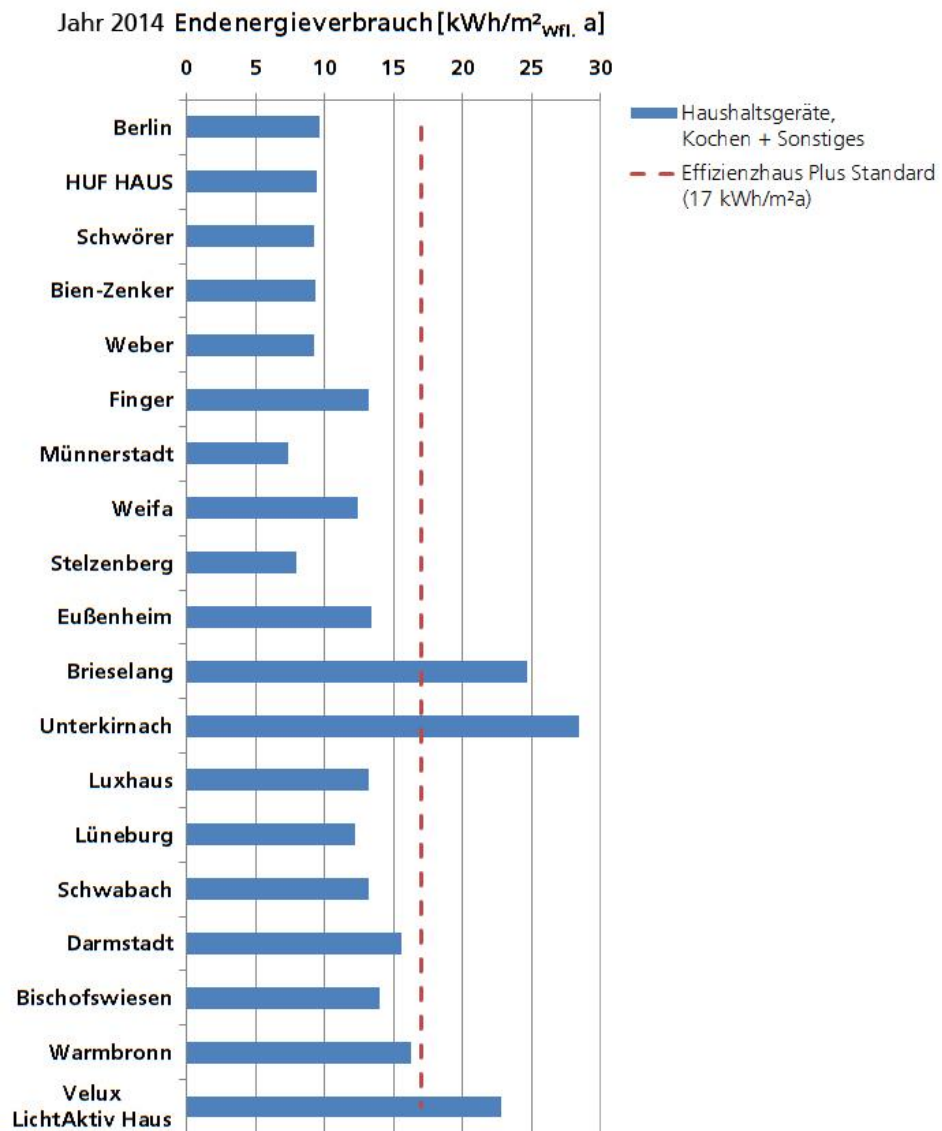


Bild 54:

Endenergieverbrauch bezogen auf die Wohnfläche für Haushaltsgeräte, -prozesse und der Demonstrationvorhaben nach Effizienzhaus Plus Standard im Jahr 2014.

Tipp: Die anzusetzende Größe für den jährlichen Haushaltsstrom liegt bei 2.650 kWh je Wohneinheit bzw. 17 kWh pro m² Wohnfläche. Für Beleuchtung und Haushaltsstrom ergibt sich ein empfohlener jährlich anzusetzender Wert von 3.135 kWh je Wohneinheit bzw. 23 kWh pro m² Wohnfläche

6.4.4 Endenergieüberschuss

Der vorherberechnete und der aus den Messwerten für die Projekte die das Monitoring im Jahr 2013 und 2014 durchlaufen haben ermittelte Endenergieüberschuss zeigt Bild 55. Der Überschuss wird aus der Differenz des PV-Ertrags und des Endenergieverbrauchs bestimmt. Während nach dem 1. Messjahr noch 4 Projekte keinen positiven Überschuss erwirtschaften konnten, können aufgrund der Optimierung der Anlagen- und Messtechnik und des milden Klimas in 2014 nach dem ersten Monitoringjahr bis auf ein Projekt die 12 Projekte nach 2 Jahren mit einem positiven Überschuss abschließen. Die vorherberechneten Werte konnten nur in Münsterstadt übertroffen werden. Das Velux LichtAktivhaus wurde mit einem rechnerisch sehr geringen Überschuss ausgelegt, der in beiden Messjahren aufgrund des Mehrverbrauchs zum Betrieb der Anlagentechnik nicht erzielt werden konnte.

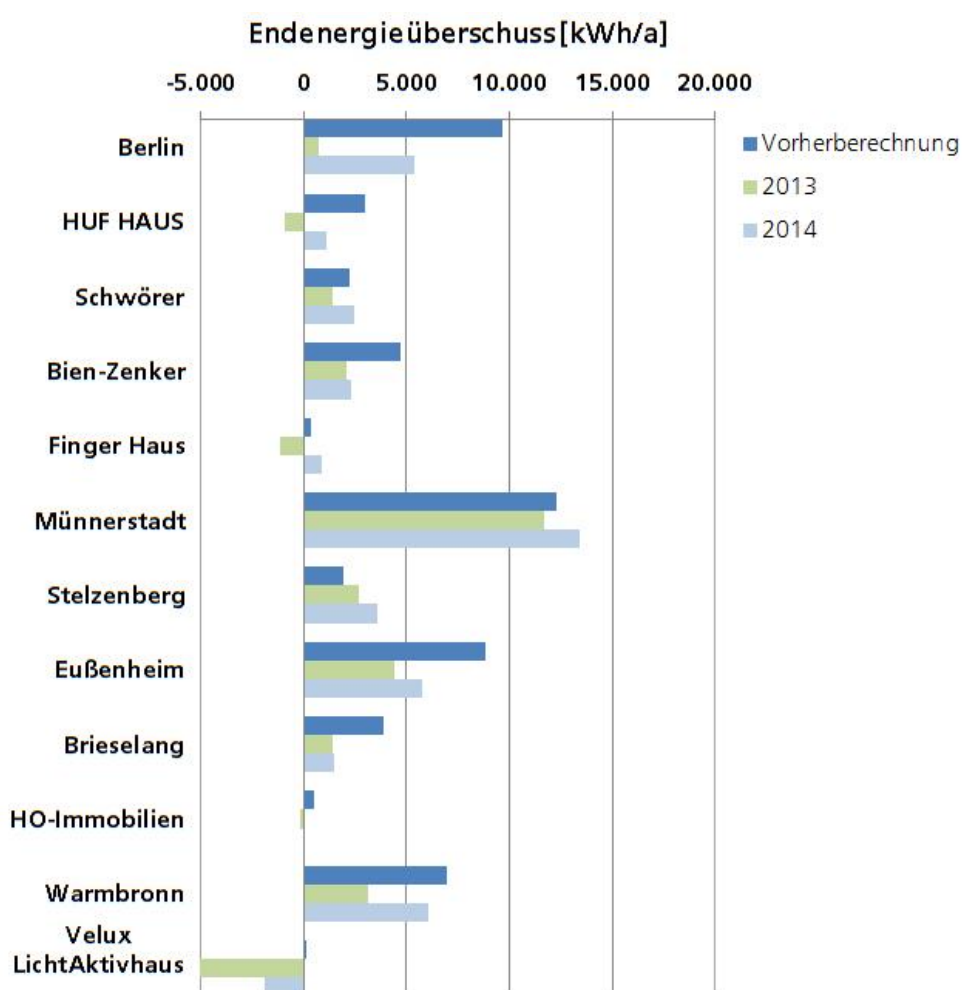


Bild 55:
Vorherberechnung und Endenergieüberschusses aus Messungen im Jahr 2013 und 2014 der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Für Projekte die bisher erst ein Messjahr durchlaufen haben sind die vorherberechneten und gemessenen Endenergieüberschüsse in Bild 56 dargestellt. Es zeigen sich unterschiedliche Tendenzen.

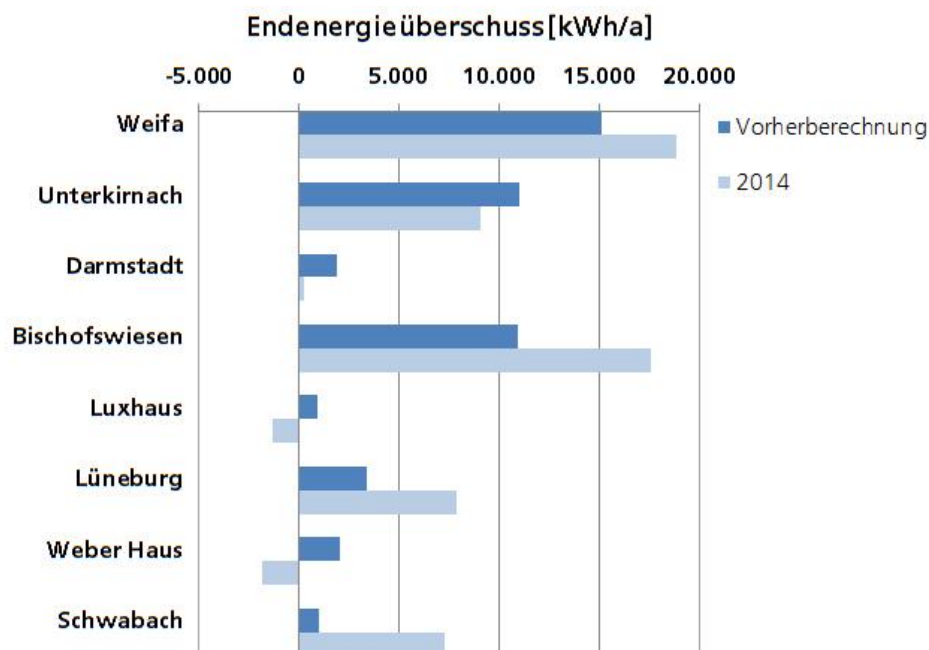


Bild 56: Vorherberechnung und Endenergieüberschusses aus Messungen im Jahr 2014 der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Die Gebäude in Weifa und Bischofswiesen können mittels ihrer großen PV-Flächen noch mehr Überschuss erwirtschaften als prognostiziert, die Gebäude der Firmen LuxHaus und WeberHAUS erzielen in Köln-Frechen keinen Endenergieüberschuss. Die gewählte extrem knappe Dimensionierung und Probleme beim Anlagenbetrieb führten zu diesem Ergebnis. Aus den Ergebnissen kann daher auch gefolgert werden, dass es anzuraten ist, eine Überdimensionierung der zu installierenden PV Flächen in der Größenordnung von 10 bis 20 % vorzunehmen um das Gebäude auch bei einer nicht optimalen Gebäudeperformance sicher ins Plus zu bringen.

Tipp: Bei der Dimensionierung der Photovoltaikanlage sollte eine 10 bis 20 % Überdimensionierung zum Ausgleich einer nicht optimalen Gebäudeperformance durchgeführt werden.

6.4.5 Anlagenperformance

Für die Wärmeerzeugung der einzelnen Vorhaben werden überwiegend Wärmepumpen genutzt, die in unterschiedlicher Weise mit anderen Systemkomponenten wie Speichern oder solarthermischen Anlagen verbunden sind. Aufgrund der Anlagenkonfigurationen und der nicht frei realisierbaren Anordnung der Messensorik, war es überwiegend nicht möglich eine Arbeitszahl für die

Wärmepumpe alleine zu bestimmen. Tabelle 4 zeigt daher eine Abschätzung einer systemischen Jahresarbeitszahl einzelner Projekte für die jeweils das Gesamtsystem der Wärmeerzeugung (Stromaufnahme und Wärmeabgabe) berücksichtigt ist.

Tabelle 4:
systemische Jahresarbeitszahl einiger Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Projekt	Systemische Arbeitszahl		Bemerkung
	2013	2014	
Berlin	1,5	1,9	Bilanzgrenze gesamte Wärmeerzeugung (Heizung + TWW)
Schwörer	1,6	1,4	Näherungswert da Kompaktanlage
Münnerstadt	1,7	2,6	Bilanzgrenze gesamte Wärmeerzeugung (Heizung + TWW einschl. Speicher)
Eußenheim	2,97	-	Bilanzgrenze Gesamtsystem (Wärmepumpe + Solarthermie)
Weifa	-	2,2	Abschätzung da Kompaktgerät, Wärmepumpe nur für TWW-bereitung

Die Anlagen können alle die in der Vorherberechnung zugrunde gelegten Arbeitszahl teilweise durch zu hohe Systemtemperaturen teilweise durch ungeeignete Sensorik nicht erreichen. Hier bedarf es neben einer messtechnischen Optimierung auch einer anlagentechnischen Optimierung der Gesamtsysteme. Die erreichte Steigerung der Kennwerte über die Jahre bei einigen Systemen verdeutlicht das hier noch „schlummernde“ erschließbare Potential vorliegen. Die Werte verdeutlichen die Relevanz des Monitorings, um die Kennwerte überhaupt erst einmal zur Verfügung zu haben. Bei den vorgefundenen Systemen handelt es sich derzeit sicher noch nicht um robuste „Plug & Play“ Lösungen.

6.4.6 Problemstellungen während des Monitorings

Die Messwertübergabe und Auswertung der Messdaten lief für viele Projekte nach anfänglichen Schwierigkeiten problemlos. Für einige Projekte hat sich jedoch gezeigt, dass das Monitoring eine intensive Kommunikation zwischen den betroffenen Gewerken, schon in der Planungsphase und dann weiter in der Einbauphase und während des Messens erfordert. Viele Projekte haben verspätet mit der Datenerfassung gestartet, da Messfühler defekt, nicht eingebaut oder falsch geliefert waren.

Während des Monitorings zeigten sich Probleme im Bereich der Datenauslesung, viele Messdaten konnten gespeichert aber nicht ausgelesen werden. Systeme deren Messfühler gleichzeitig die Aufgabe der Regelung und Messdatenerfassung für das Monitoring übernahmen zeigten sich weniger geeignet. Hier sollte eine strikte Trennung zwischen der Regelungstechnik und der Messdatenerfassung für das Monitoring erfolgen. Die Pflege der Messsensorik und der Messdaten im Laufe des Monitoring ist unbedingt erforderlich. Der Ausfall von Messzählern und damit das Auftreten von Datenverlusten wurde oft erst zu spät registriert.

Durch die zu späte allgemeine Berücksichtigung des Monitorings in der Planung zeigte sich, dass nicht alle Messsensoren des Pflichtenhefts (z.B. Beleuchtung) während der Bauphase installiert wurden. Es war ferner nicht möglich, vor allem im Bereich der Wärmepumpen, die gewünschten Messfühler einzubauen, da das System entweder nicht zugänglich oder ein Eingriff seitens der Hersteller nicht erwünscht war. Aufgrund der teilweise sehr komplexen anlagentechnischen Systeme, die ihre prognostizierte Performance nicht einhalten konnte besteht hier weitere Untersuchungsbedarf. Zur einfacheren Handhabung und Regelung der Gebäude sowohl für den Nutzer als auch den Planer sollten aufeinander abgestimmte Gesamtsysteme als viele hochentwickelte Einzelkomponenten eingesetzt werden.

Von einigen der verwendeten Rechenprogramme zur Durchführung der Berechnung nach DIN V 18599 wird die Hilfsenergie nicht getrennt monatsweise ausgegeben sondern ist in der Endenergie für die Warmwasserversorgung und der Trinkwarmwasserbereitung enthalten. Zum Abgleich mit den Monitoringdaten eine getrennte Ausgabe der Hilfsenergie wünschenswert.

Die Bereitschaft der Antragsteller zur Angabe von detaillierten Kosten zu ihren Projekten war gering. Im Bereich der Anlagentechnik wurden teilweise Prototypen eingebaut die nicht bepreist werden konnten.

6.4.7 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Da die Gebäudeentwürfe der Demonstrationsvorhaben sehr individuell gestaltet sind und die entstehenden Kosten eher durch gestalterische Elemente und Investitionen in erhöhten Wohnkomfort geprägt sind, lässt sich eine Wirtschaftlichkeitsaussage schwerlich über die Gesamtkosten der Objekte herleiten.

Sinnvoller erscheint es, eine Mehr-/Minderkostenbetrachtung im Vergleich zu dem gleichen Gebäude in energetischer Standardqualität darzustellen.

Gegenwärtig wird mehr als die Hälfte aller Neubauten in Deutschland in einer energetisch hochwertigen Qualität (KfW-Effizienzhaus 70 oder besser) gebaut. Verglichen mit einer Ausführung gemäß Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV) ist dieser Standard in der Regel mit baulichen Mehrkosten zwischen 30 und 50 € je m² Nutzfläche realisierbar. Die EnEV wird diesen Standard ab 2016

als Mindestanforderung festlegen. Dieser Standard wird daher den folgenden Betrachtungen als Referenz zugrunde gelegt.

Die bisher realisierten Effizienzhäuser Plus weisen üblicherweise eine gegenüber den EnEV-Anforderungen um ca. 40 % verbesserte Gebäudehülle auf. Diese erfordert (bei durchschnittlichen Fenstergrößen) gegenüber dem KfW 70-Standard Mehrkosten zwischen 50 und 80 € je m² Nutzfläche.

Ein Lüftungskonzept im Neubau ist zwingend. Daher hat die Wohnraumlüftung in energetisch hochwertigeren Wohngebäuden heute bereits als Standard Einzug gehalten. Allerdings findet man dort häufig eher einfache Systeme (Abluft) vor. Die Installation von Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnungsgraden von > 80 % erfordert in Neubauten zusätzliche Kosten zwischen 30 bis 50 € pro m² Nutzfläche.

Elektro-Wärmepumpen haben in den letzten Jahren verstärkt Einzug in den Neubaumarkt gehalten. Im Vergleich zu einer Standardwärmeversorgung mittels Brennwertkessel und Warmwasserspeicher ergeben sich in Effizienzhäusern Plus Mehrkosten für die Wärmepumpenlösungen in Höhe von 35 bis 50 € pro m² Nutzfläche.

Durch die Verwendung hocheffizienter Haushaltsgeräte lässt sich der Stromverbrauch in einem durchschnittlichen Haushalt um ca. 1 000 kWh pro Jahr verringern. Dies reduziert die zu installierende Photovoltaikleistung um etwa 1 kWPeak. Hierdurch lassen sich die Mehrkosten für die Geräte mehr als kompensieren. Es handelt sich hier quasi nur um eine Umverlagerung der Kosten.

Die Installationskosten für Photovoltaikanlagen haben sich in den letzten drei Jahren drastisch reduziert. Dies ist im Wesentlichen der Massenproduktion im asiatischen Raum geschuldet. Eine weitere Reduktion wird in nächster Zeit erwartet. Derzeit betragen die Investitionskosten für mittelgroße Aufdach-Anlagen etwa 1 700 bis 2 000 € je kWPeak. Bei einer mittleren Installationsleistung von 45 WPeak je m² Nutzfläche, wie sie im Mittel in den bisherigen Gebäuden vorgefunden werden, ergeben sich mittlere Installationskosten von 75 bis 90 € pro m² Nutzfläche.

Für die Errichtung eines Effizienzhauses Plus ist eine elektrische Batterie nicht zwingend erforderlich. Allerdings lassen sich hiermit die Betriebskosten reduzieren. Marktgängige (Bleiakku-) Hausbatterien (ca. 8 kWh) kosten etwa 500 € pro kWh Batteriekapazität, effizientere Lithium-Ionen-Batterien mehr als doppelt so viel.

Ein Effizienzhaus Plus erfordert im Mittel Gesamtmehrinvestitionen je m² Nutzfläche zwischen 230 bis 325 €. Bei zusätzlich installierten Photovoltaikflächen zur Unterstützung der Elektromobilität erhöhen sich die Investitionen entsprechend.

Die Betriebskosten für ein durchschnittliches Einfamilienhaus im KfW-Effizienzhaus 70-Standard können, bezogen auf die Nutzfläche, mit etwa 8 €/m²a für die Wärmeerzeugung und etwa 10 €/m²a für den Strombedarf - also insgesamt 18 €/m²a - abgeschätzt werden. Dieses Betriebskostenpotential kann im Effizienzhaus Plus bestmöglich erschlossen werden.

Bei einem Effizienzhaus Plus ließen sich noch vor zwei Jahren die Betriebskosten auf oder unter 0 €/a reduzieren. Dies ist bei Häusern, die nur geringfügig mehr Solarstrom produzieren als sie an Strombedarf aufweisen, heute ohne die Einbindung von Batterien praktisch nicht mehr möglich. Die Gründe hierfür sind die Abschaffung der Eigenverbrauchsvergütung sowie die degressive Einspeisevergütung. Selbst unter der Annahme, dass die Einbindung einer ausreichend dimensionierten Batterie den Eigennutzungsgrad auf mindestens 65 % steigert, stellen sich trotz eines jährlichen Stromüberschusses Betriebskosten von ca. 2 bis 3 €/a je m² Nutzfläche ein. Lediglich eine um ca. 35 % „überdimensionierte“ Photovoltaikanlage erbringt auch heute noch Betriebskosten unter 0 €.

Die Einspeisevergütung ist degressiv und wird im Rahmen der EEG-Novelle neu gefasst. Daher sind wirtschaftliche Betrachtungen immer unter den aktuellen Randbedingungen zu führen und können hier nicht verallgemeinert werden

In Ergänzung zu den zuvor aufgelisteten Mehrkosten werden im Folgenden die Angaben der Kosten durch die Projektbeteiligten dargestellt. Die Angabe zu den Kosten nach DIN 276 für die Kostengruppe 300 (Baukonstruktion) und Kostengruppe 400 (Technische Anlagen) stellte für viele Antragsteller eine Herausforderung dar. Teilweise wurden die Kosten getrennt nach den Kostengruppen benannt, teilweise wurde ein Fertigstellungspreis für das Gebäude mit einem Mehrpreis für den Effizienzhaus Plus Standard angegeben. Eine Auswertung der Bruttokosten bezogen auf die Nutzfläche A_N nach EnEV zeigt Bild 57. Die Kosten der derzeit ausgewerteten Projekte liegen etwa zwischen 1.100 €/m²_{Nutzfläche} und 2.000 €/m²_{Nutzfläche}.

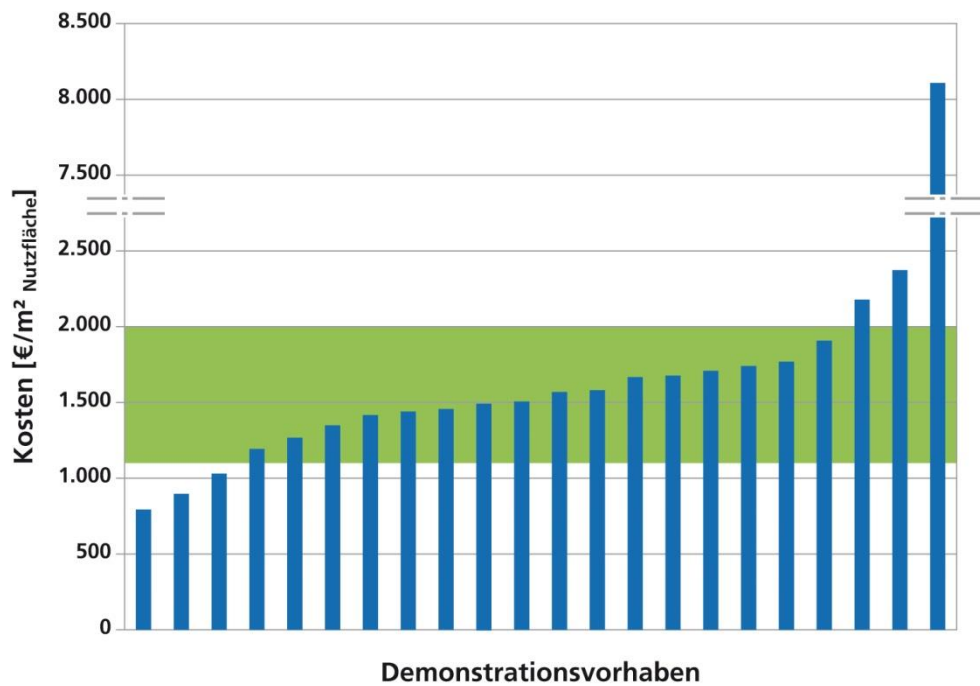


Bild 57:
Bruttokosten für Kostengruppen KG 300 und KG 400 der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

6.5 Empfehlungen für die Normung und KfW Förderprogramme

Die vorangegangenen Analysen haben aufgezeigt, dass die grundsätzliche Bewertungsprozedur, wie in Kapitel 5.1 beschrieben, geeignet ist um vertrauenswürdige Vorhersagen der Gesamtperformance eines Effizienzhaus-Plus vorzunehmen. An einzelnen Parametern sollte hierzu nachjustiert werden. So empfiehlt es sich den Energiebedarf für Beleuchtung, Haushaltsgeräte und Haushaltsprozesse um ca. 20% auf 25 kWh/m²a und die Maximalgrenze je Haushalt auf 3.500 kWh/a zu erhöhen. Die Anlagentechnik ist zufriedenstellend mit der Bewertungsmethode der DIN V 18599 und den Vorgaben der EnEV zu bewerten. Die Bewertungsmethode ergibt den im Bild 58 dargestellten Berechnungsablauf.

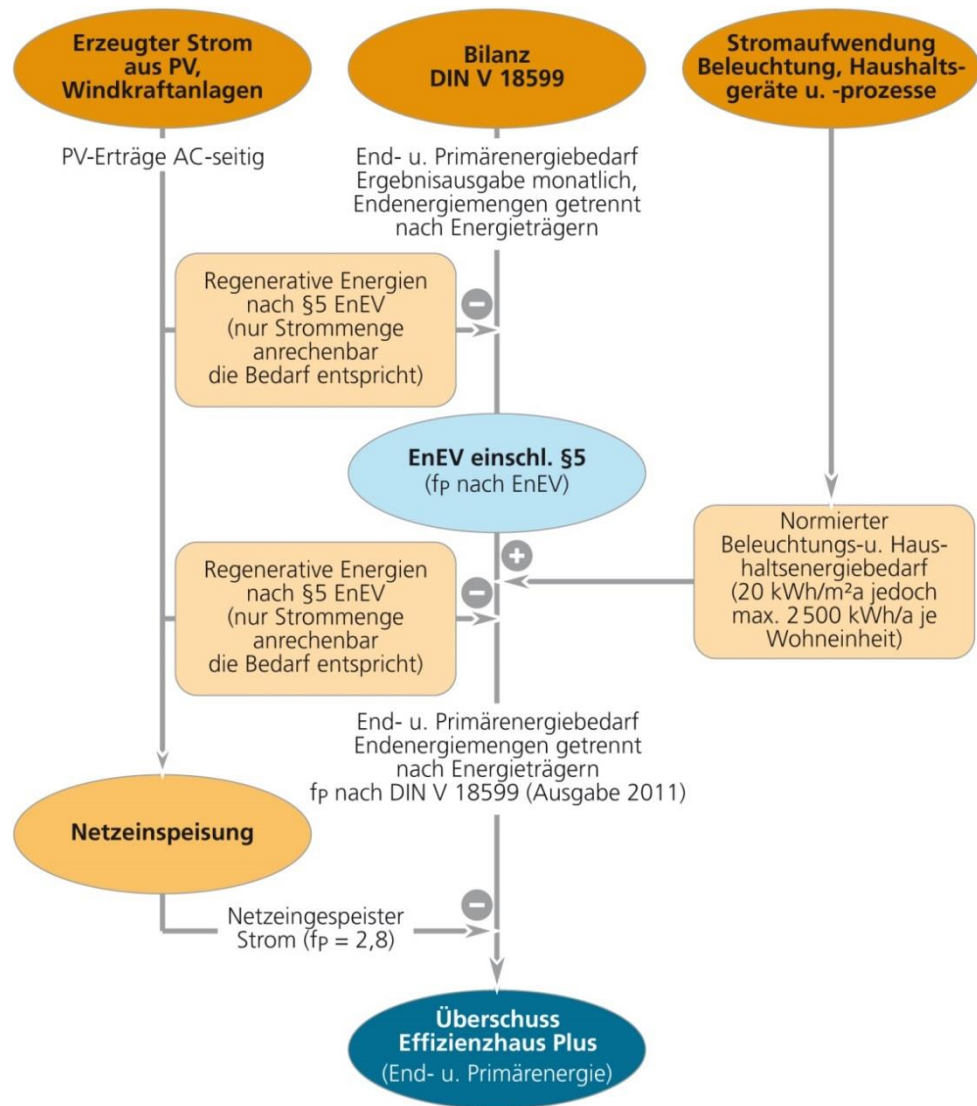


Bild 58:
Ablauf der Berechnungsprozedur zur Bewertung der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Zu der Bewertung nach EnEV (blaues Oval) kommt die Stromaufwendung für Beleuchtung und Haushaltsgeräte und –prozesse. Für diese kann in Analogie zu §5 der EnEV eine Anrechnung monatsweise erfolgen. Der verbleibende Überschuss kann mit dem Primärenergiefaktor für netzeingespeisten Strom gewichtet werden. Dieser Überschuss muss größer sein, als der verbleibende (nicht durch erneuerbaren Strom abgedeckte) Strombedarf für die Anlagentechnik und die Haushaltsprozesse.

Zur Vermeidung einer ergänzenden Berechnung über den Nachweis nach EnEV hinaus im Rahmen eines avisierten KfW Förderprogramm für ein Effizienzhaus-Plus, empfiehlt es sich anstelle einer umfassenden Berechnung des Überschusses nur eine Abschätzung der überschüssigen Gewinne aus der PV Anlage im Vergleich zum Gesamtstrombedarf des Gebäudes wie folgt vorzunehmen. Bild 59 zeigt den erforderlichen Ablauf. Im blauen Rahmen befindet sich der traditi-

onelle EnEV Nachweis. Ergänzend dazu muss der nach §5 EnEV nicht anrechenbare selbstgenerierte erneuerbare Strom dem EnEV Energiebedarf zuzüglich des Haushaltsstrombedarfs gegenüber gestellt werden.

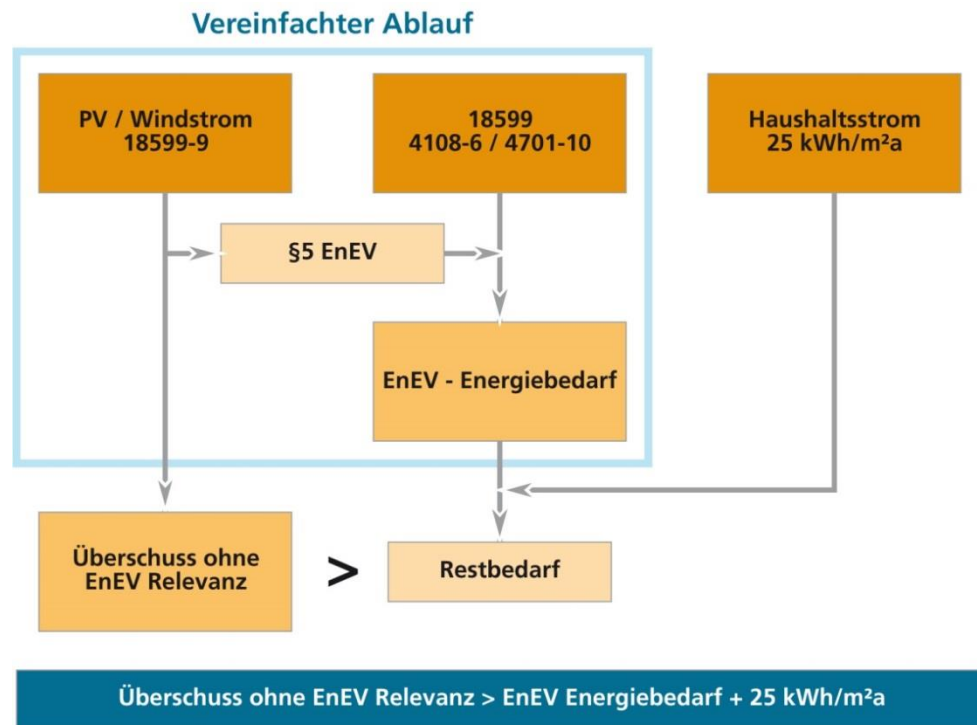


Bild 59:

Ablauf der vereinfachten Berechnungsprozedur zur Bewertung der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard für ein mögliches KfW-Förderprogramm.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die Ergebnisse des Monitorings der Modellvorhaben, die im Rahmen des Förderprogramms „Modellprojekte im Effizienzhaus Plus Standard“ realisiert wurden. Bis Dezember 2014 waren 33 Projekte annähernd fertiggestellt, wovon 27 als Ein- bis Zweifamilienhaus konzipiert sind und 6 als Mehrfamilienhaus mit 6 bis 74 Wohneinheiten geplant wurden. Die Projekte befinden sich im nachfolgenden Bau- bzw. Monitoringstand:

- 36 Projekte sind geplant
- 33 Projekte sind weitestgehend realisiert.
- 31 Projekte sind bezogen.
- 12 Projekte haben die 2-jährige Monitoringphase beendet.
- 8 Projekte haben eine einjährige Monitoringphase beendet.
- 8 Projekte befinden sich im ersten Messjahr.
- 8 Projekte beginnen ihre Messphase im Laufe des Jahres 2015

Von den 12 Projekten, die die 2-jährige Messphase beendet haben, haben nach dem 2. Messjahr 11 Projekte den Effizienzhaus Plus Standard erreicht. Von den 8 Projekten, die bisher ein Messjahr durchlaufen können 6 Projekte einen positiven Endenergieüberschuss verzeichnen.

Die Gebäude sind durch eine kompakte Bauweise gekennzeichnet und mit einer energetisch optimierten Baukonstruktion erstellt. Der Transmissionswärmeverlust H_T aller Gebäude schwankt zwischen $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und unterschreitet die Anforderung der EnEV im Mittel um 50 %. Damit bewegt sich die mittlere energetische Qualität der Gebäudehülle zwischen den KfW-Förderstufen (Effizienzhaus 40 und 70) mit einem Schwerpunkt in Richtung KfW-Effizienzhaus 55.

Die solare Stromerzeugung der Gebäude wird überwiegend mit Photovoltaikmodulen bestehend aus monokristallinen Solarzellen erzeugt. Im Weiteren kommen polykristalline Solarzellen und vereinzelt Dünnschichtmodule und CIGS-Module zum Einsatz. Diese werden in Aufdach- oder Indachmontage installiert. Etwa 25 % der Projekte erhalten zusätzliche Photovoltaikmodule, die integriert in den vertikalen Fassaden angeordnet werden. Für Ein- bis Zweifamilienhäuser werden im Mittel $0,48 \text{ m}^2$ Photovoltaikfläche je m^2 Wohnfläche benötigt um den Effizienzhaus Plus Standard zu erreichen. Für Mehrfamilienhäuser sollten im Mittel $0,34 \text{ m}^2$ Photovoltaikfläche je m^2 Wohnfläche zur Verfügung stehen. Auf Basis der Betrachtung der Endenergieüberschüsse, die bis auf ein Projekt, geringer ausfielen als vorherberechnet wird eine 10 bis 20 %ige Überdimensionierung der Photovoltaikanlage zum Ausgleich einer nicht optimalen Gebäudeperformance empfohlen. Die Vorherberechnung der Stromerzeugung aus Photovoltaikmodulen kann überwiegend als übereinstimmend bezeichnet werden. Der Eigennutzungsanteil des PV-Stroms über die 2-jährige Monitoringphase liegt für Gebäude ohne Stromspeicher im Mittel bei 28 %

und kann für Gebäude mit Stromspeicher auf bis zu 60 % erhöht werden. Je nach Dimensionierung der PV-Anlagen liegt der Autarkiegrad der Gebäude ohne Stromspeicher im Mittel bei ca. 36 % und kann bei Nutzung einer Batterie im Mittel 50 % erreicht werden. Auf Basis der Messergebnisse, die teilweise von umfangreichen Ausfallzeiten der Batterien geprägt waren, lassen sich jedoch noch keine allgemeingültigen Dimensionierungsparameter für PV-Stromspeicher ableiten.

Die Wärmeerzeugung und Trinkwarmwassererwärmung erfolgt überwiegend mit elektrisch betriebenen Wärmepumpen, die auf unterschiedliche Wärmequellen zurückgreifen. Die Anlagen bestehen zum Teil aus einfachen Systemen, teilweise sind mehrfache Komponenten zu einer Gesamtanlage zusammengefügt. Die systemischen Jahresarbeitszahlen einzelner Projekte wurden analysiert und mit Näherungswerten hinterlegt. Es zeigt sich, dass bei der überwiegenden Anzahl der Projekte die vorherberechnete Performance nicht erreicht werden konnte und weiteres Optimierungspotential besteht. Hier bedarf es neben einer messtechnischen Optimierung auch einer anlagentechnischen Optimierung der Gesamtsysteme. Die Werte verdeutlichen die Relevanz des Monitorings, um die Kennwerte überhaupt erst einmal zur Verfügung zu haben. Eine eventuelle Einbeziehung der Systemhersteller in den Optimierungsprozess sollte erwogen werden.

Resultierend aus den Ineffizienzen der Anlagentechnik aber auch dem erhöhten Endenergiebedarf für den Haushaltsstrom und die Beleuchtung war der Endenergieverbrauch überwiegend aller Projekte höher als vorherberechnet. Im Jahr 2013 lag der Mehrverbrauch im Mittel bei 46 %, im Jahr 2014 konnte er durch Optimierungen am Gebäude und den günstigen Klimaverhältnissen auf 23 % Mehrverbrauch reduziert werden. Für den pauschalen Ansatz des Effizienzhaus Plus Standards wird daher empfohlen den Endenergiebedarf für Beleuchtung, Haushaltsgeräte und Haushaltsprozesse um ca. 20% auf 25 kWh/m²a und die Maximalgrenze je Haushalt auf 3.500 kWh/a zu erhöhen.

Es hat sich gezeigt, dass zur Erlangung des Effizienzhaus Plus Standards ein Mindestmonitoring in einer Einregulierungsphase von ca. 2 Jahren erforderlich ist. Dabei ist eine frühzeitige Kommunikation unter den Projektpartnern und eine intensive Pflege der Messsensorik und Messdaten in der Monitoringphase durchzuführen. Die Messsensorik zur Erfassung der Monitoringdaten sollte getrennt vom Messsystem der Regelungstechnik erfolgen.

Zu den Kosten der einzelnen Projekte wurden unterschiedlich ausführliche Angaben gemacht. Eine Analyse der derzeit fertig gestellten Projekte zeigt Bruttokosten für die Kostengruppen KG 300 und KG 400 in einer Größenordnung von 1.100 €/m²_{Nutzfläche} und 2.000 €/m²_{Nutzfläche}. Auf Basis einer Analyse einer Mehr-/Minderkostenbetrachtung im Vergleich zu einem Gebäude, das in einer energetischen Qualität gemäß dem KfW-Effizienzhaus 70 ausgeführt wurde, ergeben sich im Mittel Gesamtmehrinvestitionen für ein Gebäude im Effizienzhaus Plus Standard von 230 bis 325 €/m²_{Nutzfläche}.

Aus den Analysen hat sich ergebend, dass die Bewertungsmethode grundsätzlich geeignet ist, um vertrauenswürdige Vorhersagen zur Einhaltung des Effizienzhaus Plus Standards zu geben. Der Ablauf der Berechnungsprozedur wurde als Empfehlung an die Normung zur Ergänzung in der DIN V 18599 weiter gegeben. Im Zuge eines möglichen KfW Förderprogramms wurde ein vereinfachter Ablauf der Berechnungsprozedur entwickelt, der anstelle einer umfassenden Berechnung des Überschusses nur eine Abschätzung der überschüssigen Gewinne aus der PV Anlage im Vergleich zum Gesamtstrombedarf des Gebäudes vornimmt. Ergänzend zum traditionellen EnEV-Nachweis muss der nach §5 EnEV nicht anrechenbare selbstgenerierte erneuerbare Strom dem EnEV Energiebedarf zuzüglich des Haushaltsstrombedarfs gegenüber gestellt werden.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Erhorn, H.; Bergmann, A.; Beckert, M.; Budde, E.; Reiß, J. und Wössner, S.: Energieeffizienter Neubau von Wohngebäuden. Begleitforschung und Querauswertung von Modellvorhaben. Endbericht Phase 1 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart (2013).
- [2] Hoier, A. und Erhorn, H.: Energetische Gebäudesanierung in Deutschland. Entwicklung und energetische Bewertung alternativer Sanierungsfahrpläne. Bericht WB 170/2013 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart (2013).

Anhang

Tabelle 5:

Übersicht über die Kenndaten der Haustechnischen Anlagen der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

NR.	Haus	Kenndaten			Heizungs- und Trinkwarmwasserbereitung				Lüftung	Kühlung
		Nutzfläche An nach EnEV	beheizte Wohnfläche	Energie-management	Wärmeerzeuger	Wärmequelle	Heizleistung	Speicher	Art / WRG	Art
0	Berlin	203 m ²	149 m ²	KNX	Luft/Wasser Wärmepumpe	Außenluft	5,8 kW	integrierter Kombispeicher (500 l)	Kompaktlüftungsgerät 80 % WRG	-
1	HUF	390 m ²	283 m ²	KNX-Bus	Sole/Wasser Wärmepumpe	Erdsonde	12,83 kW	Kombipufferspeicher für Heizung + TWW	RLT 95 % WRG elektr. Befeuchtung	passiv Fubohzg aktiv Kühlaufsatz Lüftungsgerät
2	Schwörer	243 m ²	139 m ²	ja	Kompaktgerät Lüftungsanlage mit nachgeschalteter Luft/Luft Wärmepumpe	Außenluft über Erdschichtwärmetauscher	1,0-1,5 kW	TWW-Speicher mit elektr. Nachheizung	in WP integriert	-
3	Bien-Zenker	248 m ²	194 m ²	ViciOne	Kompaktgerät Luft/Luft WP + Sole/Wasser WP + Lüftungsanlage	Außenluft und Erdsonde	3,5 kW	TWW-Speicher in Kompaktgerät integriert	in WP integriert	über WP
4	Weber	237 m ²	159 m ²	ja	Luft/Luft Wärmepumpe	Außenluft / Abluft	1,96 kW	TWW-Speicher in WP (295 l)	in WP integriert 70 % WRG	über WP
5	Finger	195 m ²	179 m ²	FingerGy	Splitgerät: Luft/Wasser	Außenluft	3,0 - 9,06 kW	TWW-Speicher in WP (170 l)	Zentrallüftungsgerät WRG 90 %	-
6	Münnerstadt	392 m ²	327 m ²	Bussystem	Sole /Wasser Wärmepumpe	Sole durch Erdkollektor	7,8 kW	Kombipufferspeicher für Heizung + TWW (500 l)	Zentrallüftungsgerät WRG 93 %	-
7	Weifa	256 m ²	251 m ²	WAGO-Steuerung	Luft-Wasser WP nur für TWW Bereitung Heizung elektrische Fuboheizg Kaminofen	Abluft	2 kW	TWW-Speicher in WP (300 l)	Zentrallüftungsgerät WRG 80 %	-
8	Stelzenberg	216 m ²	113 m ²	mySmartGrid	solar unterstützte Wasser Wärmepumpe	Hybridkollektor Solareisspeicher	6,3 kW	Kombipufferspeicher (1050 l) für Heizung + TWW Latentspeicher(Wasser/Eis) in WP integriert	Zentrallüftungsgerät	-
9	Eußenheim	404 m ²	288 m ² 137 m ²	k.A.	Sole/Waser Wärmepumpe	Solarthermie + Eisspeicher	7,5 - 9,1 kW	Kombipufferspeicher für TWW und Heizung (3000 l) und Eisspeicher (10m ³)	Zentrallüftungsgerät	-
10	Brieselang	187 m ²	137 m ²	k.A.	Split-Luft/Wasser Wärmepumpe	Außenluft	6 kW	Kombipufferspeicher (1000 l)	Zentrallüftungsgerät	indirekt Wandkühlung

NR.	Haus	Kenndaten			Heizungs- und Trinkwarmwasserbereitung				Lüftung	Kühlung
		Nutzfläche An nach EnEV	beheizte Wohnfläche	Energie-management	Wärmeerzeuger	Wärmequelle	Heizleistung	Speicher	Art / WRG	Art
11	Unterkirnach	439 m ²	282 m ²	ja	Kompaktgerät Sole/Wasser WP + Lüftungsanlage	Sole durch Erdkollektor	3,5 kW	Kombipufferspeicher	in WP integriert 83% WRG	-
12	LUX	295 m ²	289 m ²	KNX-Bus	Sole/Wasser Wärmepumpe	Sole durch Erdsonden		Heizungspufferspeicher (100 l) TWW-Speicher (300 l)	Zentrallüftungsgerät mit Soleerdwärmetauscher 90% WRG	Vorkühlung Lüftungsanlage
13	Lüneburg	172 m ²	129 m ²	k.A.	elektr. Wandheizkörper	PV- bzw. Netz-Strom	2,2 kW	-	Zentrallüftungsgerät WRG 80 %	-
14	Baufritz	270 m ²	225 m ²	MyHomeControl	Brennstoffzelle	Biogas und PV-Strom	1,0 kW thermisch 0,75 kW elektrisch	Pufferspeicher (170 l)	Zentrallüftungsgerät WRG 86 %	-
15	HO-Immobilien	243 m ²	202 m ²	k.A.	Sole/Wasser WP	Sole durch Erdsonden	5,9 kW	Kombipufferspeicher (500 l)	Zentrallüftungsgerät WRG 90 %	-
16	Bremen	200 m ²	166 m ²	k.A.	Sole/Wasser WP	Sole durch Erdsonden	6,1 kW	Kombipufferspeicher (500 l)	Zentrallüftungsgerät WRG 90 %	-
17	Schwabach	312 m ²	221 m ²	Bussystem	Luft/Luft WP	Außenluft über Erdreichwärmetauscher	8 kW	TWW-Speicher (290 l)	Zentrallüftungsgerät WRG 90 %	-
18	Bad Homburg	304 m ²	169 m ²	k.A.	Split-Luft-Wasser-WP Scheitholzkamin	Außenluft über Erdreichwärmetauscher Holz	6,4 kW 14,4 kW	Heizungspufferspeicher (1000 l) Warmwasserspeicher (500 l)	Zentrallüftungsgerät WRG 86 %	-
19	Kassel	419 m ²	280 m ²	KNX/EIB	Sole/Wasser WP	Solareisspeicher	20,35 kW	Kombipufferspeicher (900 l)	Zentrallüftungsgerät WRG 88 % Vortemperierung mittels Erdwärmetauscher	-
20	Burghausen	389 m ²	176 m ²	ja	Wasser/Wasser WP	Solarspeicher	k.A.	Schichtenspeicher (48.000 l)	dezentrale Lüftungsgeräte	-
21	Aktiv Stadthaus FfM*	8789 m ²	6480 m ²	ja	Wasser/Wasser WP	Abwasser	120 kW	3 Pufferspeicher je 5m ³	Zentrallüftungsgerät WRG	-
22	Riedberg FfM*	2406 m ²	1599 m ²	ja	Sole/Wasser WP	Eisspeicher und Solar- /Umgebungsluft Absorber	40 kW	Pufferspeicher (1000l)	Zentrallüftungsgerät WRG	-
23	Darmstadt	293 m ²	185 m ²	ja	Luft/Wasser WP	Außenluft	3,5 kW	Kombispeicher	Zentrallüftungsgerät WRG	-
24	Tübingen*	1228 m ²	891 m ²	k.A.	Nahwärme	u.a. Abwasserwärme Kläranlage	-	-	Abluftsystem WRG 80%	-

		Kenndaten			Heizungs- und Trinkwarmwasserbereitung				Lüftung	Kühlung
NR.	Haus	Nutzfläche An nach EnEV	beheizte Wohnfläche	Energie-management	Wärmeerzeuger	Wärmequelle	Heizleistung	Speicher	Art / WRG	Art
26	Deggendorf	206 m ²	164 m ²	KNX	saisonalen Speicher	Solarthermische Anlage	-	saisonaler Pufferspeicher (9200 l)	Zentrallüftungsgerät WRG 82 %	-
27	VidaVerde, Berlin*	1746 m ²	1207 m ²	k.A.	Abluft-Wasser WP Außenluftbeimischung	Abluft / Außenluft / Grauwasser	6,7 kW	Kombispeicher (2000 l)	Abluftsystem	-
28	Bischofswiesen*	821 m ²	628 m ²	k.A.	Grundwasser WP	Grundwasser	15 kW	Pufferspeicher TWW 440 l	Lüftungsanlagen	
29	Buchen-Hollerbach	300 m ²	230 m ²	Webfactory 2010	Sole-Wasser WP	Sole durch Erdkollektor	9,97 kW	TWW-Speicher 390 l	Zentrallüftungsgerät mit Erdwärmet. WRG	-
30	Riedstadt-Crumstadt		250 m ²							
31	Cordierstr. 4, FfM*	1458 m ²	1170 m ²	ja	BHKW	Biogas + PV-Strom	12,3 kW thermisch 5 kW elektrisch	Kombipufferspeicher 6 m ³	dezentrale Lüftungsanlagen zentral über BHKW gespeist	-
101	Warmbronn	423 m ²	260 m ²	ja	Wasser/Wasser Wärmepumpe	Sole durch Erdsonden	2,2-3,5 kW	Heizungspufferspeicher TWW-Speicher	Zentrallüftungsgerät mit Erdwärmetauscher WRG	möglich über Fußbodenheizung
102	Velux	172 m ²	132 m ²	k.A.	Luft-Wasser Wärmepumpe	Außenluft		Kombispeicher	natürlich belüftet	nein

*Mehrfamilienhaus

		PV-Anlage			Solarthermie	Batterie
NR.	Haus	Art	Fläche	Leistung		Art / Speicherkapazität
0	Berlin	monokristalline Aufdach-Module	98,2 m ²	14,1 kWp	-	Lithium-Ionen
		Fassade amorphe Dünnschichtmodule	73 m ²	8,0 kWp		40 kWh
1	HUF	Monokristalline Indach-Module	103,73 m ²	14,53 kWp	-	Lithium-Ionen 13,24 kWh
2	Schwörer	monokristalline Indach-Module	87,27 m ²	11 kWp	5,91kW 8,44 m ²	-
3	Bien-Zenker	Haus:			-	Lithium-Eisen-Phosphat 8,4 kWh
		Dach: monokristalline Aufdach-Module	52,50 m ²	9,45 kWp		
		Pergola: semitransparent Module	12,30 m ²	1,15 kWp		
		Pavillon:				
Dach: Monokristalline Module	22,83 m ²	4,45 kWp				
Fassade: Dünnschicht Module	10,08 m ²	1,10 kWp				
4	Weber	monokristalline Aufdach-Module	60,48 m ²	8,82 kWp	-	Blei-Gel 3,5 kWh
5	Finger	polykristalline Aufdach-Module	60,42 m ²	8,46 kWp	-	-
6	Münnerstadt	monokristalline Aufdach-Module	165 m ²	23,8 kWp	-	Lithium-Ionen 10 kWh
7	Weifa	polykristalline Indach-Module	213 m ²	30,03 kWp	-	Solar (Blei) 14,4 kWh
8	Stelzenberg	CIGS Dünnschicht Indach-Module	75 m ²	8,5 kWp	14 m ²	in Planung Lithium-Ionen 8 kWh
9	Eußenheim	monokristalline Indach-Module	94 m ²	15,5 kWp	11 m ²	-
10	Brieselang	Dach: polykristalline Aufdach-Module	45 m ²	8,92 kWp	10 m ²	Blei 24 kWh
		Fassadenmodule	12 m ²			
		Carport: polykristalline Aufdach-Module	15 m ²			

		PV-Anlage			Solarthermie	Batterie
NR.	Haus	Art	Fläche	Leistung		Art / Speicherkapazität
11	Unterkirnach	polykristalline Aufdach-Module	180 m ²	26,2 kWp	-	Lithium-Ionen 4,5 kWh
12	LUX	polykristalline Aufdach-Module	67,72 m ²	9,78 kWp	-	-
13	Lüneburg	monokristalline Indach-Module	66 m ²	12,6 kWp	-	-
14	Baufritz	polykristalline Indach-Module	80 m ²	12,6		Lithium-Ionen 3,7 kWh
15	HO-Immobilien	monokristalline Aufdachmodule	55,5 m ²	8,7 kWp	- -	-
16	Bremen	monokristalline Aufdachmodule	57 m ²	10,8	10 m ²	-
17	Schwabach	monokristalline Indach-Module	99 m ²	14,4 kWp	-	-
18	Bad Homburg	monokristalline Indach-Module	45,7 m ²	9,38 kWp	-	-
19	Kassel	monokristalline Aufdach-Module	88,2 m ²	15,75 kWp	16,74 m ²	Lithium-Ionen 6,3 kWh
20	Burghausen	Fassade Indach-Module Garage (Aufdach-Module)	14,7 m ² 32 m ²	4,2 kWp 6,25 kWp	51m ²	Lithium-Eisen-Phosphat 10,8 kWh
21	Aktiv Stadthaus FfM*	monokristalline Aufdach-Module monokristalline Fassaden-Module integriert	1200 m ² 725 m ²	250 kWp 120 kWp	-	Lithium-Eisen-Phosphat 250 kWh
22	Riedberg FfM*	monokristalline Aufdach-Module monokristalline Fassaden-Module integriert	426 m ² 127 m ²	80 kWp 15,16 kWp	11 Sole/Luft Absorber	Lithium-Eisen-Phosphat 60 kWh
23	Darmstadt	monokristalline Indach-Module	95,6 m ²	12,6 kWp	-	-
24	Tübingen*	polykristalline Aufdach-Module Fassaden-Module integriert	340,91 m ²	36 kWp	-	Lithium-Eisen-Phosphat 40 kWh

		PV-Anlage			Solarthermie	Batterie
NR.	Haus	Art	Fläche	Leistung		Art / Speicherkapazität
26	Deggendorf	monokristalline Aufdach-Module	39 m ²	7,8 kWp	49m ²	Lithium-Eisen-Phosphat 8,04 kWh
27	VidaVerde, Berlin*	monokristalline Indach-Module Laubengänge/-brüstung vorgesetzte Module	452 m ²	78,1kWp	-	-
28	Bischofswiesen*	monokristalline Aufdach-Module	270,4 m ²	41,6 kWp	nein	50 kWh
29	Buchen-Hollerbach	polykristalline Aufdach-Module	103,5 m ²	12,37 kWp	nein	-
31	Cordierstr. 4, FfM*	Dach: monokristalline Aufdach-Module monokristalline Fassaden-Module (integriert) Carport: monokristalline Indach-Module	288 m ²	49,7 kWp	40 m ²	Lithium-Eisen-Phosphat 27 kWh
101	Warmbronn	polykristalline Aufdach-Module	120 m ²	15 kWp	nicht mehr	2x Blei-Schwefel (7 + 20 kWh)
102	Velux	polykristalline Indach-Module	75 m ²	8,8 kWp	12,6 m ²	-

*Mehrfamilienhaus

Tabelle 6:

Messergebnisse 2013 Einzelverbräuche der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

2013

Nr.	Haus	Heizung und TWW [kWh]												Summe kWh/a
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
0	Berlin	1084	855	955	431	257	114	98	70	208	427	512	535	5546
1	Huf-Haus	700	673	627	227	115	154	225	186	135	77	423	591	4135
2	Schwörer Haus	864	897	598	278	46	53	45	23	50	225	920	1039	5038
3	Bien Zenker	941	836	683	310	200	338	496	392	274	336	443	1228	6477
5	Finger Haus	429	440	366	269	80	46	65	106	111	68	241	284	2503
6	Münnerstadt	516	405	286	212	106	91	137	154	121	71	174	288	2560
8	Stelzenberg	540	447	212	90	29	3	2	0	10	80	341	360	2114
9	Eußenheim	691	792	596	266	146	32	5	11	78	144	325	597	3682
10	Brieselang	667	630	184	38	15	7	14	76	117	308	382	525	2961
15	HO-Immobilien	734	734	752	290	112	39	28	0	56	131	309	535	3720
101	Warmbronn	758	623	877	351	292	139	59	38	94	200	387	496	4314
102	Velux LichtAktivhaus	1621	1449	1561	561	248	33	17	16	54	359	709	737	7366

2013

Nr.	Haus	Beleuchtung [kWh]												Summe kWh/a
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
0	Berlin	52	62	46	34	19	33	28	33	49	55	56	50	516
1	Huf-Haus	460	390	461	340	183	181	138	116	238	398	363	358	3626
2	Schwörer Haus	43	47	45	69	30	22	22	18	23	38	41	30	428
3	Bien Zenker	79	65	87	58	69	56	43	48	53	63	80	72	773
5	Finger Haus	280	251	246	299	191	213	137	192	254	143	234	233	2672
6	Münnerstadt	383	251	279	139	87	117	111	159	138	129	153	190	2136
8	Stelzenberg	94	56	24	23	19	20	24	6	4	5	6	6	287
9	Eußenheim	53	47	36	30	28	20	19	20	27	34	44	58	415
10	Brieselang	0	0	0	0	0	0	0	9	14	17	17	15	73
15	HO-Immobilien	13	13	12	9	15	20	7	16	14	20	20	11	170
101	Warmbronn	119	64	89	54	59	39	32	37	56	68	101	126	844
102	Velux LichtAktivhaus	73	60	48	38	28	27	19	48	44	60	72	60	577

*Münnerstadt: Rechenwert kein Messwert einschl. sonst.

2013

Nr.	Haus	Hilfsenergie [kWh]												Summe
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	kWh/a
0	Berlin	257	226	276	218	269	295	336	314	294	298	299	227	3309
1	Huf-Haus	176	155	171	236	241	432	715	488	241	172	189	233	3449
2	Schwörer Haus	56	50	67	58	61	60	60	58	56	57	55	56	694
3	Bien Zenker	143	130	143	118	134	105	99	100	99	105	116	130	1422
5	Finger Haus	94	79	77	94	47	29	28	39	50	26	58	68	689
6	Münnerstadt	124	124	133	151	234	184	252	225	220	225	185	154	2211
8	Stelzenberg	27	33	13	31	23	12	19	32	26	43	105	110	474
9	Eußenheim	111	106	137	125	99	96	90	77	78	81	97	132	1229
10	Brieselang	11	18	17	26	19	23	20	15	18	13	12	12	203
15	HO-Immobilien	73	73	73	50	52	22	35	24	53	37	19	26	538
101	Warmbronn	190	163	226	141	145	149	121	130	140	174	187	192	1959
102	Velux LichtAktivhaus	181	159	175	169	171	172	183	176	180	181	175	182	2105

2013

Nr.	Haus	Elektrogeräte [kWh]												Summe
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	kWh/a
0	Berlin	240	164	217	163	239	96	234	120	101	101	229	134	2038
1	Huf-Haus	213	212	207	162	132	133	113	130	122	145	164	156	1889
2	Schwörer Haus	73	81	79	98	88	85	94	95	92	98	91	90	1064
3	Bien Zenker	466	254	185	138	153	175	118	161	156	176	198	164	2344
5	Finger Haus	234	192	200	236	168	232	167	184	267	135	255	361	2631
6	Münnerstadt	273	270	232	241	200	188	181	227	212	231	226	255	2735
8	Stelzenberg	0	0	4	0	2	19	7	0	0	0	0	2	35
9	Eußenheim	350	345	339	344	334	282	267	267	289	360	342	372	3890
10	Brieselang	63	82	67	76	75	81	74	90	94	77	137	82	999
15	HO-Immobilien	335	412	245	125	188	163	165	163	177	179	139	161	2451
101	Warmbronn	284	241	360	220	312	274	317	291	307	338	381	278	3603
102	Velux LichtAktivhaus	246	208	219	224	217	216	170	260	223	216	213	261	2673

HO-Immobilien* wird aus Bilanz berechnet nicht gemessen

2013

Nr.	Haus	Sonstiges [kWh]												Summe kWh/a
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
0	Berlin	alle Steckdosen werden gemessen												
1	Huf-Haus	114	126	144	59	51	31	21	52	51	70	51	46	816
2	Schwörer Haus	28	29	0	0	24	21	22	25	26	30	30	31	266
3	Bien Zenker	287	124	21	13	14	19	27	9	0	29	48	47	639
5	Finger Haus	wird nicht erfasst												
6	Münnerstadt	wird nicht erfasst												
8	Stelzenberg	195	179	79	76	52	37	54	33	18	62	46	34	863
9	Eußenheim	wird nicht erfasst												
10	Brieselang	261	337	317	129	166	132	149	303	252	61	151	160	2419
15	HO-Immobilien	wird nicht erfasst												
101	Warmbronn	wird nicht erfasst												
102	Velux LichtAktivhaus	wird nicht erfasst												

Tabelle 7:

Messergebnisse 2014 Einzelverbräuche der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

2014

Nr.	Haus	Heizung und TWW [kWh]												Summe
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	kWh/a
0	Berlin	842	472	324	138	116	39	25	23	45	75	434	634	3167
1	Huf-Haus	492	314	99	69	112	170	174	148	150	121	164	405	2417
2	Schwörer Haus	900	547	161	37	38	38	45	40	48	89	551	1046	3540
3	Bien Zenker	1207	950	848	311	246	311	411	341	300	543	1179	664	7312
4	Weber Haus	757	395	395	384	514	353	635	338	284	128	639	744	5566
5	Finger Haus	184	177	113	108	57	53	97	87	75	64	360	345	1719
6	Münnerstadt	287	216	73	48	35	30	25	30	30	44	202	434	1454
7	Weifa	787	620	254	194	115	78	43	29	76	124	510	856	3688
8	Stelzenberg	398	323	156	23	27	0	0	0	3	77	250	452	1709
9	Eußenheim	627	540	191	82	59	9	9	41	86	179	366	597	2786
10	Brieselang	306	221	78	44	8	6	12	36	119	282	468	455	2034
11	Unterkirnach	569	845	353	352	392	196	464	274	205	210	600	829	5288
12	LuxHaus	236	225	148	74	93	129	175	126	128	74	292	386	2086
13	Lüneburg	617	368	190	89	39	23	33	22	33	51	275	574	2314
17	Schwabach	510	209	171	29	25	23	28	32	37	60	110	360	1594
23	Darmstadt	1025	652	557	216	258	119	87	91	203	310	739	965	5222
28	Bischofswiesen	1222	995	802	613	531	510	541	604	473	692	825	1203	9010
101	Warmbronn	492	450	382	219	163	74	68	59	53	69	250	497	2776
102	Velux LichtAktivhaus	1025	678	445	197	91	17	17	18	26	217	639	941	4312

2014

Nr.	Haus	Beleuchtung [kWh]												Summe
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	kWh/a
0	Berlin	63	59	57	46	30	20	19	17	24	21	29	28	412
1	Huf-Haus	345	498	506	416	461	349	333	428	532	524	607	659	5657
2	Schwörer Haus	33	35	22	19	21	15	22	17	23	25	38	39	309
3	Bien Zenker	80	77	68	57	79	84	76	95	77	61	112	54	921
4	Weber Haus	166	113	125	109	130	98	105	122	131	85	118	119	1422
5	Finger Haus	124	215	225	257	201	169	201	216	220	124	308	228	2487
6	Münnerstadt*	184	131	135	108	161	284	263	223	147	140	161	323	2260
7	Weifa	91	51	55	43	50	43	51	51	52	47	54	68	656
8	Stelzenberg	9	19	29	10	16	8	27	29	36	30	13	13	239
9	Eußenheim	53	37	36	31	29	24	24	23	26	44	50	63	437
10	Brieselang	16	13	12	11	9	12	10	10	19	19	24	23	178
11	Unterkirnach	98	92	71	92	107	94	109	117	149	158	188	178	1453
12	LuxHaus	205	250	269	382	269	224	247	287	438	289	582	444	3886
13	Lüneburg	77	65	60	36	23	16	25	21	25	21	22	18	410
17	Schwabach	nicht erfasst												
23	Darmstadt	18	25	20	25	16	15	20	77	23	25	11	11	285
28	Bischofswiesen	nicht erfasst												0
101	Warmbronn	136	93	77	44	50	33	39	58	83	75	109	140	936
102	Velux LichtAktivhaus	71	59	46	30	24	22	23	31	35	44	65	78	527

*Münnerstadt: Rechenwert kein Messwert einschl. sonst.

2014

Nr.	Haus	Hilfsenergie [kWh]												Summe kWh/a
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
0	Berlin	235	220	252	242	261	257	246	268	283	279	264	256	3063
1	Huf-Haus	213	184	189	216	240	296	428	307	261	218	217	243	3013
2	Schwörer Haus	56	52	61	57	60	58	60	61	59	58	57	58	697
3	Bien Zenker	131	121	133	126	135	128	128	136	128	122	172	74	1534
4	Weber Haus	114	78	108	118	150	127	147	164	144	87	123	123	1484
5	Finger Haus	38	51	46	45	31	27	34	34	44	59	55	75	538
6	Münnerstadt	181	208	228	224	244	240	220	218	195	193	167	166	2484
7	Weifa	67	69	109	106	87	57	63	76	75	98	64	51	921
8	Stelzenberg	119	85	65	30	40	32	34	35	20	47	93	131	731
9	Eußenheim	131	118	93	73	72	72	101	73	73	94	100	131	1131
10	Brieselang	17	14	15	17	14	18	17	18	22	15	11	12	190
11	Unterkirnach	7	0	12	13	14	13	14	13	12	12	11	6	127
12	LuxHaus	51	77	103	110	111	123	143	121	112	58	77	52	1138
13	Lüneburg	44	46	47	49	47	45	52	46	44	48	40	43	550
17	Schwabach	629	461	377	36	68	58	55	67	58	128	467	593	2996
23	Darmstadt	138	104	137	138	149	150	138	135	171	184	176	176	1797
28	Bischofswiesen	32	9	18	25	30	25	24	59	17	187	116	79	622
101	Warmbronn	205	176	185	152	124	101	132	138	69	113	146	165	1706
102	Velux LichtAktivhaus	191	161	168	179	175	176	180	179	168	169	176	191	2112

2014

Nr.	Haus	Elektrogeräte [kWh]												Summe
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	kWh/a
0	Berlin	180	94	108	87	143	135	113	76	159	107	124	114	1440
1	Huf-Haus	169	170	198	184	209	171	160	184	201	198	210	269	2322
2	Schwörer Haus	85	53	90	69	77	77	94	82	81	85	75	95	963
3	Bien Zenker	158	144	151	143	153	144	157	160	144	125	193	85	1756
4	Weber Haus	121	85	98	91	110	90	91	104	91	70	140	121	1213
5	Finger Haus	119	219	195	236	169	160	188	210	220	132	282	233	2363
6	Münnerstadt	265	202	173	141	183	164	184	206	199	223	209	243	2391
7	Weifa	144	151	168	152	186	148	139	221	224	281	202	221	2238
8	Stelzenberg	8	71	68	25	28	14	17	30	21	20	11	0	314
9	Eußenheim	303	295	354	385	340	295	364	294	285	327	292	309	3842
10	Brieselang	95	72	88	115	81	85	93	88	114	99	127	127	1183
11	Unterkirnach	805	765	704	497	636	418	203	1124	312	380	391	396	6632
12	LuxHaus	213	262	281	378	329	238	223	304	383	257	510	432	3810
13	Lüneburg	242	187	177	140	110	75	133	81	75	80	124	145	1570
17	Schwabach	147	167	137	134	146	130	153	125	131	183	229	207	1888
23	Darmstadt	155	109	146	122	145	167	134	111	139	149	128	130	1636
28	Bischofswiesen	192	217	162	174	134	171	196	195	147	158	278	335	2360
101	Warmbronn	390	255	278	271	380	427	413	285	386	379	432	338	4234
102	Velux LichtAktivhaus	305	264	292	348	203	199	186	253	247	206	247	251	3002

2014

Nr.	Haus	sonstiges [kWh]												Summe kWh/a
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
0	Berlin	alle Steckdosen werden gemessen												
1	Huf-Haus	46	47	64	45	21	0	0	3	4	35	43	31	341
2	Schwörer Haus	30	44	9	26	25	20	22	21	24	26	31	33	313
3	Bien Zenker	4	0	4	2	0	0	7	30	0	0	0	0	46
4	Weber Haus	22	0	31	40	0	6	27	39	68	11	0	0	243
5	Finger Haus	wird nicht erfasst												0
6	Münnerstadt	wird nicht erfasst												0
7	Weifa	0												0
8	Stelzenberg	54	7	64	25	71	41	50	51	74	52	51	50	589
9	Eußenheim	wird nicht erfasst												0
10	Brieselang	98	130	145	124	311	221	230	188	224	199	164	163	2195
11	Unterkirnach	0	0	0	0	0	0	0	0	459	445	398	84	1386
12	LuxHaus	wird nicht erfasst												0
13	Lüneburg	wird nicht erfasst												0
17	Schwabach	86	81	73	119	98	88	49	76	70	115	67	106	1027
23	Darmstadt	134	110	111	95	105	88	87	87	107	101	110	103	1238
28	Bischofswiesen	487	390	413	353	394	438	581	960	541	704	552	584	6396
101	Warmbronn	wird nicht erfasst												0
102	Velux LichtAktivhaus	wird nicht erfasst												0

Tabelle 8:

Messergebnisse 2013 Photovoltaikerträge vorherberechnet und gemessen der Musterhäuser in Köln-Frechen im Effizienzhaus Plus Standard.

PV-Ertrag gemessen

2013	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Schwörer Haus	119	289	573	1150	1152	1292	1488	1176	794	490	202	177	
kumuliert	0	119	408	981	2131	3283	4575	6063	7239	8033	8523	8725	8902
Bien Zenker alles	185	471	1103	1504	1695	1855	2345	1787	1260	824	363	332	
kumuliert	0	185	656	1759	3263	4958	6813	9158	10945	12205	13029	13392	13724
Weber Haus	132	253	494	916	699	1284	1138	1013	1101	176	327	231	
kumuliert	0	132	385	879	1795	2494	3778	4916	5929	7030	7206	7533	7764
HUFHAUS	214	465	1098	1384	1395	1634	2036	1723	1279	926	480	396	
kumuliert	0	214	679	1777	3161	4556	6190	8226	9949	11228	12154	12634	13030
FingerHaus	116	251	449	967	827	1191	1063	883	903	231	267	232	
kumuliert	0	116	367	816	1783	2610	3801	4864	5747	6650	6881	7148	7380

PV-Ertrag berechnet

2013	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Schwörer Haus	148	222	517	739	1109	1330	1035	961	739	370	148	74	
kumuliert	0	148	370	887	1626	2735	4065	5100	6061	6800	7170	7318	7392
Bien Zenker	261	391	913	1304	1956	2347	1826	1695	1304	652	261	130	
kumuliert	0	261	652	1565	2869	4825	7172	8998	10693	11997	12649	12910	13040
Weber Haus	162	243	567	810	1215	1458	1134	1053	810	405	162	81	
kumuliert	0	162	405	972	1782	2997	4455	5589	6642	7452	7857	8019	8100
HUFHAUS	353	562	989	1435	1721	1593	1741	1563	1182	937	401	234	
kumuliert	0	353	915	1904	3338	5059	6652	8393	9956	11138	12075	12476	12710
FingerHaus	148	222	518	740	1110	1333	1036	962	740	370	148	74	
kumuliert	0	148	370	888	1628	2738	4071	5107	6069	6809	7179	7327	7401

Tabelle 9:

Messergebnisse 2013 Endenergieverbrauch vorherberechnet und gemessen der Musterhäuser in Köln-Frechen im Effizienzhaus Plus Standard.

Endenergie gemessen

2013	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Schwörer Haus	1064	1105	789	503	249	240	243	219	247	447	1136	1247	
kumuliert	0	1064	2169	2958	3461	3710	3950	4192	4412	4659	5106	6242	7489
Bien Zenker	1916	1409	1120	637	571	692	784	710	582	709	885	1641	
kumuliert	0	1916	3325	4446	5083	5654	6346	7130	7840	8422	9131	10016	11657
Weber Haus	2629	2452	847	756	459	544	799	894	677	440	900	897	
kumuliert	0	2629	5081	5928	6684	7143	7687	8486	9380	10057	10497	11397	12294
HUFHAUS	1664	1557	1609	1023	722	931	1212	973	787	862	1189	1385	
kumuliert	0	1664	3221	4830	5853	6575	7506	8718	9691	10478	11340	12529	13914
FingerHaus	1037	962	888	897	486	519	398	521	682	372	787	946	
kumuliert	0	1037	1999	2887	3784	4270	4789	5187	5708	6390	6762	7549	8495

Endenergie nach DIN V 18599 / EFH+

2013	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Schwörer Haus	927	676	477	281	228	216	222	229	224	343	522	783	
kumuliert	0	927	1603	2080	2361	2589	2805	3026	3255	3479	3822	4344	5127
Bien Zenker	1226	920	683	454	525	552	659	545	446	476	741	1108	
kumuliert	0	1226	2146	2830	3284	3809	4360	5019	5564	6011	6486	7227	8335
Weber Haus	1091	829	646	335	221	214	221	221	214	412	664	965	
kumuliert	0	1091	1920	2565	2900	3121	3336	3557	3778	3993	4405	5069	6033
HUFHAUS	1205	909	729	506	517	913	927	927	499	582	844	1172	
kumuliert	0	1205	2113	2842	3349	3866	4779	5707	6634	7133	7715	8559	9731
FingerHaus	1042	799	632	496	466	404	412	412	453	431	631	878	
kumuliert	0	1042	1841	2473	2970	3435	3839	4251	4663	5116	5547	6177	7055

Tabelle 10:

Messergebnisse 2013 Photovoltaikerträge vorherberechnet und gemessen der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

PV-Ertrag gemessen

2013	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Münnerstadt	273	505	1577	2450	2550	3186	3845	2980	1910	1246	475	353	
kumuliert	0	273	779	2356	4806	7356	10542	14387	17367	19277	20523	20998	21351
Stelzenberg	70	188	296	703	721	1206	1290	1033	531	349	140	117	
kumuliert	0	70	258	554	1257	1978	3184	4474	5507	6038	6387	6527	6644
Eußenheim	227	428	1264	1443	1436	1820	2096	1801	1364	989	414	373	
kumuliert	0	227	655	1919	3362	4798	6618	8714	10515	11879	12868	13282	13655
Lüneburg	157	274	1140	1487	1333	1779	2064	1643	1038	798	426	173	
kumuliert	0	157	431	1571	3057	4391	6170	8234	9877	10915	11713	12139	12312
HO-Immobilien	32	197	605	798	724	1006	1245	890	634	347	145	72	
kumuliert	0	32	228	833	1631	2355	3361	4606	5496	6130	6477	6622	6694
Warmbronn	145	134	1132	1306	1573	2101	2268	1797	1410	968	458	589	
kumuliert	0	145	279	1411	2717	4290	6391	8658	10456	11865	12833	13291	13880
Velux	54	203	576	922	931	1175	1370	1072	663	468	199	72	
kumuliert	0	54	257	833	1755	2686	3861	5231	6303	6966	7434	7634	7705

PV-Ertrag berechnet

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Münnerstadt	440	627	1094	2452	2814	3304	3401	2387	1742	1000	503	293	
kumuliert	0	440	1067	2161	4613	7427	10731	14132	16519	18261	19261	19764	20057
Stelzenberg	187	304	573	845	1105	1141	1138	967	674	398	191	137	
kumuliert	0	187	491	1064	1908	3013	4154	5292	6259	6933	7330	7521	7658
Eußenheim	580	860	1273	1574	1795	1757	1810	1701	1437	1038	530	416	
kumuliert	0	580	1440	2713	4287	6082	7839	9649	11350	12787	13825	14355	14771
Lüneburg	318	515	1060	1520	1650	1570	1520	1390	1120	799	381	301	
kumuliert	0	318	833	1893	3413	5063	6633	8153	9543	10663	11462	11843	12144
HO-Immobilien	125	255	538	905	1156	1117	1118	957	629	364	152	79	
kumuliert	0	125	380	918	1823	2978	4096	5213	6170	6799	7164	7316	7395
Warmbronn	419	625	1535	1371	1836	2174	2023	1825	1167	1058	430	353	
kumuliert	0	419	1044	2579	3950	5786	7960	9983	11808	12975	14033	14463	14816
Velux LichtAktivhaus	152	298	511	820	1078	955	1016	903	619	402	197	110	
kumuliert	0	152	450	960	1780	2858	3813	4830	5732	6351	6753	6950	7060

Tabelle 11:

Messergebnisse 2013 Endenergieverbrauch vorherberechnet und gemessen der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Endenergie gemessen

2013	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Münnerstadt	1296	1050	929	742	627	580	681	766	690	656	738	886	
kumuliert	0	1296	2346	3275	4017	4644	5224	5905	6671	7361	8017	8755	9641
Stelzenberg	856	715	332	220	125	103	129	103	108	204	528	544	
kumuliert	0	856	1571	1903	2123	2248	2351	2480	2583	2691	2895	3423	3967
Eußenheim	1205	1290	1107	765	607	430	381	374	472	618	808	1159	
kumuliert	0	1205	2495	3602	4367	4974	5404	5785	6159	6631	7249	8057	9216
Lüneburg	1087	814	960	474	300	299	309	276	243	390	671	766	
kumuliert	0	1087	1901	2861	3334	3635	3934	4243	4518	4761	5151	5823	6588
HO-Immobilien	1155	1232	1082	474	367	244	235	203	300	367	488	733	
kumuliert	0	1155	2386	3468	3942	4309	4553	4788	4991	5291	5658	6146	6879
Warmbronn	1351	1092	1561	766	808	601	529	497	597	780	1048	1092	
kumuliert	0	1351	2442	4003	4769	5577	6178	6707	7204	7800	8581	9629	10720
Velux LichtAktivhaus	2121	1876	2003	991	664	449	390	500	501	817	1169	1240	
kumuliert	0	2121	3997	6000	6991	7656	8104	8494	8994	9495	10312	11481	12721

Endenergie nach DIN V 18599 / EFH+

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Münnerstadt	1134	740	388	232	229	208	216	206	204	239	489	978	
Plus Haushaltssrom	1346	945	600	437	441	420	421	418	409	451	701	1170	
kumuliert	0	1346	2292	2892	3330	3771	4191	4613	5031	5441	5892	6593	7763
Stelzenberg	905	702	308	19	1	3	1	13	1	141	482	900	
Plus Haushaltssrom	1097	875	500	205	193	189	193	205	187	333	668	1092	
kumuliert	0	1097	1972	2472	2677	2870	3059	3252	3457	3643	3976	4644	5736
Eußenheim	650	498	373	160	141	75	74	80	136	248	416	604	
Plus Haushaltssrom	862	703	585	365	353	287	279	292	341	460	628	796	
kumuliert	0	862	1566	2151	2517	2870	3157	3437	3729	4071	4531	5159	5955
Lüneburg	1316	972	690	212	170	127	132	132	162	395	771	1141	
Plus Haushaltssrom	1528	1177	902	417	382	339	337	344	367	607	983	1333	
kumuliert	0	1528	2706	3608	4026	4408	4747	5085	5429	5797	6404	7387	8720
HO-Immobilien	848	622	403	159	157	148	150	150	150	267	490	805	
Plus Haushaltssrom	1060	827	615	364	369	360	355	362	355	479	702	997	
kumuliert	0	1060	1888	2503	2868	3237	3597	3953	4315	4671	5150	5852	6849
Warmbronn	1198	896	595	157	74	60	59	74	80	313	723	1139	
Plus Haushaltssrom	1410	1101	807	362	286	272	264	286	285	525	935	1331	
kumuliert	0	1410	2512	3319	3682	3968	4240	4505	4791	5077	5602	6537	7868
Velux LichtAktivhaus	1239	864	385	10	7	6	6	6	7	138	567	1147	
Plus Haushaltssrom	1451	1069	597	215	220	218	211	218	212	350	779	1339	
kumuliert	0	1451	2520	3118	3333	3552	3771	3982	4200	4412	4762	5541	6880

Tabelle 12:

Messergebnisse 2014 Photovoltaikerträge vorherberechnet und gemessen der Musterhäuser in Köln-Frechen im Effizienzhaus Plus Standard.

PV-Ertrag gemessen

2014	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Schwörer Haus	236	385	878	99	993	1436	1488	1068	815	503	262	98	
kumuliert	0	236	621	1499	1598	2592	4028	5515	6584	7399	7902	8164	8262
Bien Zenker alles	466	667	1457	1521	1796	1964	1686	1578	1264	788	572	135	
kumuliert	0	466	1132	2589	4110	5906	7870	9555	11133	12397	13185	13757	13892
Weber Haus	437	281	903	942	476	1112	986	1064	945	386	336	222	
kumuliert	0	437	718	1621	2563	3039	4151	5137	6201	7146	7532	7868	8090
HUFHAUS	589	822	1607	1612	1729	1970	1723	1631	1338	989	646	210	
kumuliert	0	589	1411	3018	4630	6359	8329	10052	11683	13021	14010	14656	14866
FingerHaus	182	353	744	1057	930	1020	905	883	794	291	222	65	
kumuliert	0	182	535	1279	2336	3266	4286	5191	6074	6868	7159	7381	7446
Luxhaus	198	480	998	1194	1199	1326	1089	1237	1006	385	369	152	
kumuliert	0	198	679	1677	2871	4070	5396	6485	7722	8728	9113	9482	9634

PV-Ertrag berechnet

2014	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Schwörer Haus	148	222	517	739	1109	1330	1035	961	739	370	148	74	
kumuliert	0	148	370	887	1626	2735	4065	5100	6061	6800	7170	7318	7392
Bien Zenker	261	391	913	1304	1956	2347	1826	1695	1304	652	261	130	
kumuliert	0	261	652	1565	2869	4825	7172	8998	10693	11997	12649	12910	13040
Weber Haus	162	243	567	810	1215	1458	1134	1053	810	405	162	81	
kumuliert	0	162	405	972	1782	2997	4455	5589	6642	7452	7857	8019	8100
HUFHAUS	353	562	989	1435	1721	1593	1741	1563	1182	937	401	234	
kumuliert	0	353	915	1904	3338	5059	6652	8393	9956	11138	12075	12476	12710
FingerHaus	148	222	518	740	1110	1333	1036	962	740	370	148	74	
kumuliert	0	148	370	888	1628	2738	4071	5107	6069	6809	7179	7327	7401
Luxhaus	200	430	795	1145	1420	1410	1440	1320	930	595	220	132	
kumuliert	0	200	630	1425	2570	3990	5400	6840	8160	9090	9685	9905	10037

Tabelle 13:

Messergebnisse 2014 Endenergieverbrauch vorherberechnet und gemessen der Musterhäuser in Köln-Frechen im Effizienzhaus Plus Standard.

PV-Ertrag gemessen

2014	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Schwörer Haus	236	385	878	99	993	1436	1488	1068	815	503	262	98	
kumuliert	0	236	621	1499	1598	2592	4028	5515	6584	7399	7902	8164	8262
Bien Zenker alles	466	667	1457	1521	1796	1964	1686	1578	1264	788	572	135	
kumuliert	0	466	1132	2589	4110	5906	7870	9555	11133	12397	13185	13757	13892
Weber Haus	437	281	903	942	476	1112	986	1064	945	386	336	222	
kumuliert	0	437	718	1621	2563	3039	4151	5137	6201	7146	7532	7868	8090
HUFHAUS	589	822	1607	1612	1729	1970	1723	1631	1338	989	646	210	
kumuliert	0	589	1411	3018	4630	6359	8329	10052	11683	13021	14010	14656	14866
FingerHaus	182	353	744	1057	930	1020	905	883	794	291	222	65	
kumuliert	0	182	535	1279	2336	3266	4286	5191	6074	6868	7159	7381	7446
Luxhaus	198	480	998	1194	1199	1326	1089	1237	1006	385	369	152	
kumuliert	0	198	679	1677	2871	4070	5396	6485	7722	8728	9113	9482	9634

PV-Ertrag berechnet

2014	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Schwörer Haus	148	222	517	739	1109	1330	1035	961	739	370	148	74	
kumuliert	0	148	370	887	1626	2735	4065	5100	6061	6800	7170	7318	7392
Bien Zenker	261	391	913	1304	1956	2347	1826	1695	1304	652	261	130	
kumuliert	0	261	652	1565	2869	4825	7172	8998	10693	11997	12649	12910	13040
Weber Haus	162	243	567	810	1215	1458	1134	1053	810	405	162	81	
kumuliert	0	162	405	972	1782	2997	4455	5589	6642	7452	7857	8019	8100
HUFHAUS	353	562	989	1435	1721	1593	1741	1563	1182	937	401	234	
kumuliert	0	353	915	1904	3338	5059	6652	8393	9956	11138	12075	12476	12710
FingerHaus	148	222	518	740	1110	1333	1036	962	740	370	148	74	
kumuliert	0	148	370	888	1628	2738	4071	5107	6069	6809	7179	7327	7401
Luxhaus	200	430	795	1145	1420	1410	1440	1320	930	595	220	132	
kumuliert	0	200	630	1425	2570	3990	5400	6840	8160	9090	9685	9905	10037

Tabelle 14:

Messergebnisse 2014 Photovoltaikerträge gemessen der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

PV-Ertrag gemessen

2014	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Münnerstadt	338	832	2141	2686	2813	3675	3373	2720	1715	1088	408	200	
kumuliert	0	338	1171	3312	5998	8810	12485	15858	18578	20292	21381	21789	21989
Weifa	592	1644	2646	2329	3302	3837	3717	3064	2004	1830	840	315	
kumuliert	0	592	2235	4881	7210	10513	14350	18067	21131	23135	24965	25805	26120
Stelzenberg	170	233	730	720	1112	1175	1060	823	661	319	131	41	
kumuliert	0	170	403	1133	1853	2965	4140	5200	6023	6684	7003	7134	7175
Eußenheim	363	676	1629	1729	1761	2025	1924	1485	1127	777	291	169	
kumuliert	0	363	1039	2668	4397	6158	8183	10107	11592	12719	13496	13787	13956
Brieselang	103	402	646	713	813	896	1016	1086	758	513			
kumuliert	0	103	505	1151	1864	2677	3573	4589	5675	6433	6946	6946	6946
Unterkirnach	359	788	2279	2570	4385	2977	2483	3083	2119	1749	599	550	
kumuliert	0	359	1147	3426	5996	10381	13358	15841	18924	21043	22792	23391	23941
Lüneburg	196	659	1270	1432	1559	1688	1786	1569	1245	788	407	143	
kumuliert	0	196	855	2125	3557	5116	6804	8590	10159	11404	12192	12599	12743
Schwabach	364	601	1590	1586	2019	2214	1797	1757	1309	962	420	152	
kumuliert	0	364	965	2555	4141	6160	8374	10171	11928	13237	14199	14619	14771
Darmstadt	233	384	1003	1269	1517	1739	1358	1222	881	529	234	72	
kumuliert	0	233	617	1620	2889	4406	6146	7504	8726	9608	10137	10371	10443
Bischofswiesen	904	2216	3744	3659	4025	4988	4506	3673	3218	2810	1441	749	
kumuliert	0	904	3120	6864	10523	14548	19536	24042	27715	30933	33743	35183	35932
Warmbronn	479	836	1706	1652	2191	2160	1783	1594	1450	1085	602	211	
kumuliert	0	479	1315	3021	4673	6864	9023	10806	12400	13850	14935	15537	15748
Velux LichtAktivhaus	95	369	676	960	1065	1181	1268	989	774	425	192	73	
kumuliert	0	95	463	1140	2100	3164	4345	5613	6602	7376	7801	7993	8066

Tabelle 15:

Messergebnisse 2014 Endenergieverbrauch gemessen der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard.

Endenergie gemessen

2014	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Münnerstadt	917	757	609	521	624	719	691	677	571	600	739	1166	
kumuliert	0	917	1674	2283	2803	3428	4147	4838	5514	6085	6685	7424	8590
Weifa	1090	890	585	493	435	325	294	376	426	551	831	1197	
kumuliert	0	1090	1980	2565	3057	3493	3818	4112	4488	4914	5465	6295	7492
Stelzenberg	588	505	381	113	182	95	128	145	154	226	418	646	
kumuliert	0	588	1093	1474	1587	1769	1864	1992	2137	2291	2517	2935	3581
Eußenheim	1113	990	674	571	501	400	497	430	470	643	807	1100	
kumuliert	0	1113	2103	2776	3348	3848	4248	4746	5176	5645	6289	7096	8196
Brieselang	794	837	671	416	354	430	347	374	376	617			
kumuliert	0	794	1631	2301	2718	3071	3502	3849	4223	4598	5215	5215	5215
Unterkirnach	1479	1702	1140	955	1148	721	790	1528	1137	1205	1588	1493	
kumuliert	0	1479	3181	4321	5276	6424	7145	7935	9463	10600	11805	13393	14886
Lüneburg	981	666	473	314	220	158	243	171	176	201	461	780	
kumuliert	0	981	1647	2120	2434	2654	2812	3055	3226	3402	3603	4064	4844
Schwabach	1372	918	758	318	337	298	285	300	295	485	873	1266	
kumuliert	0	1372	2290	3048	3366	3703	4001	4286	4586	4881	5366	6239	7505
Darmstadt	1470	1000	971	596	673	540	465	500	642	768	1165	1385	
kumuliert	0	1470	2470	3441	4038	4710	5250	5716	6216	6858	7627	8792	10177
Bischofswiesen	1932	1611	1395	1165	1090	1145	1341	1818	1179	1741	1771	2202	
kumuliert	0	1932	3542	4937	6103	7192	8337	9678	11496	12675	14416	16186	18388
Warmbronn	1222	975	921	687	717	635	651	540	591	637	937	1140	
kumuliert	0	1222	2197	3118	3805	4522	5156	5807	6348	6938	7575	8512	9652
Velux LichtAktivhaus	1593	1162	951	754	493	414	406	481	476	636	1128	1460	
kumuliert	0	1593	2754	3705	4459	4953	5366	5772	6254	6730	7366	8494	9954