

Manfred Hegger, Norbert Fisch, Nathalie Jenner, Simon Gehrman, Friederike Hassemer, Joost Hartwig, Christopher Mück, Boris Mahler, Tobias Nusser, Simone Idler, Andreas Wiege, Kai Erlenkämper

Aktiv-Stadthaus

Entwicklungsgrundlage für städtische Mehrfamilienhäuser in Plus-Energie-Bauweise nach EU 2020 und zur Vorbereitung eines Demonstrativ-Bauvorhabens in Frankfurt am Main

F 2857

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2014

ISBN 978-3-8167-9164-5

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Aktiv-Stadthaus

„Entwicklungsgrundlage für städtische Mehrfamilienhäuser in Plus-Energie-Bauweise nach EU 2020 und zur Vorbereitung eines Demonstrativ-Bauvorhabens in Frankfurt am Main“

Abschlussbericht



Das erste innerstädtische Plus-Energie-Mehrfamilienhaus

TU Darmstadt, FG Entwerfen und Energieeffizientes Bauen |
Steinbeis Transfer Zentrum, EGS Stuttgart | HHS Planer + Architekten |
Bauherr: ABG Frankfurt Holding | Projektpartner: HAGER



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung

FORSCHUNGSINITIATIVE
ZukunftBAU



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Forschungsinitiative ZukunftBau

Im Rahmen der Forschungsinitiative ZukunftBAU des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)

Abschlussbericht

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung unter dem Förderkennzeichen SF-10.08.18.7-11.31 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

HHS

HEGGER-HEGGER-SCHLEIFF
ARCHITECTEN



Steinbeis Transferzentrum

Energie-, Gebäude- und Solartechnik



ABG FRANKFURT
HOLDING
Wir machen Räume wahr.

hager

Projektbearbeiter

Projektleitung

Fachbereich Architektur

Fachgebiet Entwerfen und

Energieeffizientes Bauen (FGee)

Prof. Manfred Hegger

Dipl.-Ing. M. Sc. Econ

El-Lissitzky-Straße 1

64287 Darmstadt

Tel +49 6151 16 2046

Fax +49 6151 16 5247

www.ee.tu-darmstadt.de

Bearbeitung

Prof. Dipl.-Ing. M. Sc. Econ. Manfred Hegger

Dipl.-Ing. Nathalie Jenner

Dipl.-Ing. Simon Gehrmann

Dipl.-Ing. Friederike Hassemer

Dipl.-Ing. Joost Hartwig

B. Sc. Christopher Mück

Steinbeis-Transferzentrum Energie-,

Gebäude und Solartechnik (STZ)

Prof. Dr.-Ing. Norbert Fisch

Gropiusplatz 10

70563 Stuttgart

Tel +49 711 99 00 75

Fax +49 711 99 00 799

www.stz-egs.de

Bearbeitung

Prof. Dr.-Ing. Norbert Fisch

Dr.-Ing. Boris Mahler

M.Sc. Tobias Nusser

M.Sc. Simone Idler

HHS Planer + Architekten AG

Habichtswalder Straße 19

34119 Kassel

Tel +49 561 930 94 0

Fax + 49 561 930 94 21

www.hhs-architekten.de

Bearbeitung

Dipl.-Ing., Arch. Andreas Wiege

Dipl.-Ing. Kai Erlenkämper

Drittmittelgeber

Bauherr

ABG FRANKFURT HOLDING

Wohnungsbau- und Beteiligungsgesellschaft mbH

Elbestrasse 48

60329 Frankfurt am Main

Tel +49 69 26 08 0

Fax +49 69 26 08 333

www.abg-fh.de

Bauherr

Herr Frank Junker

(Vorsitzender der Geschäftsführung)

Herr Jürgen Braun

(Leiter Technische Abteilung)

Hager Vertriebsgesellschaft

mbH & Co. KG

Zum Gunterstal

66440 Blieskastel

Tel +49 62 21 / 87 95 51

Fax +49 721 98 96 00 98

www.hager.de

Bearbeitung

Herr Richard Josef Weinmann

Herr Stephan Drexler

Projektbeirat

Herr Hans-Dieter Hegner, Ministerialrat

Bundesministerium für Verkehr-, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)

Herr Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Gerhard Hausladen

Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München

Fachliche Betreuerin:

Frau Dipl.-Ing. Miriam Hohfeld

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)

im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
1. Zusammenfassung	8
2. Einleitung	12
2.1.... Ausgangslage	12
2.2.... Ziel	12
2.3.... Inhalte und Aufbau des Forschungsberichtes	13
3. Das Demonstrativ-Bauvorhaben	16
4. AP A – Gebäudeenergiekonzeption	22
4.1.... Bilanzierung – Bilanzraum und Regelwerk	22
4.1.1. Bilanzierung - Standort	25
4.1.2. Bilanzierung – Messtechnik	28
4.1.3. Bilanzierung – Aufzüge	28
4.1.4. Bilanzierung – Zonierung	28
4.2.... Der Planungsprozess	28
4.2.1. Erste Plus-Energie-Bilanz, Planungsstand 10.01.12	28
4.2.2. Energiebedarfsanalyse, Planungsstand 29.02.12	29
4.2.3. Optimierungspotentiale des Wärmebedarfs	30
4.2.4. Optimierung des Strombedarfs	40
4.3.... Lokale Verfügbarkeit von regenerativen Energieträgern	44
4.3.1. Solaraktive Nutzung der Gebäudehülle	46
4.3.2. Photovoltaik	47
4.3.3. Abwasserwärmenutzung	52
4.4.... Evaluierung der Energiekonzeption	53
4.4.1. Untersuchte Konzepte	53
4.4.2. Wirtschaftlichkeit	57
4.5.... Die Energiekonzeption – Aktuelle Planung (Stand 30.11.12)	59
4.5.1. Wärmeerzeugung	59
4.5.2. Wärmeverteilung	60
4.5.3. Lüftung	61
4.5.4. Photovoltaik	61
4.6.... Energiebedarf und Plus-Energie-Bilanz	62
4.6.1. Energiebedarf	62
4.6.2. Plusenergiebilanz	62
4.6.3. Eigennutzungsgrad	64
4.6.4. Stromspeicher	66
4.7.... Lastmanagement	69
4.7.1. Stromlastmanagement bei Haushaltsgeräten	69
4.7.2. Lastverschiebung zentraler Verbraucher	70

4.8. ...Netzintegration von Plus-Energie-Gebäuden	71
4.9. ...Building-Management-System (BMS)	74
4.10. .Stromvermarktung in Plus-Energie-MFH	76
4.10.1. Abrechnungsmodell „Energiepauschale“	78
4.10.2. Berechnung der „Energiepauschale“	79
4.11. .Monitoring und Messkonzept	81
4.12. .Analyse der Randbedingung des Aktiv-Stadthauses - allgemeine Rückschlüsse auf Mehrfamilienhäuser im Plus-Energie-Standard	85
4.12.1. Kompaktheit	85
4.12.2. Verhältnis solaraktiv nutzbarer Hüllfläche zum Energiebedarf	86
4.12.3. Kubaturvariationen verschiedener Gebäudetypologien	88
4.12.4. Wohndichte	93
4.12.5. Verschattung	95
4.12.6. Kubatur	98
4.12.7. Ausrichtung	100
5. AP B – Elektro-Mobilität	104
5.1. ...Die Ausgangslage	104
5.2. ...Die Elektrofahrzeuge – aktueller Stand der Technik	105
5.2.1. Energieverbrauch	105
5.2.2. Reichweite	106
5.2.3. Elektrobikes – Pedelecs (Pedal Electric Cycle)	107
5.3. ...Lademöglichkeiten der Elektromobilität	107
5.3.1. Konduktive Ladung	108
5.3.2. Induktive Ladung	109
5.3.3. Vergleichende Betrachtung der Lademöglichkeiten	110
5.3.4. Die Lademöglichkeiten im Aktiv-Stadthaus	111
5.3.5. Die Akkus in den Wagen	112
5.4. ...Die Nutzung von E-Mobilen – Hemmnisse und Lifestyle	113
5.4.1. Hemmnisse	113
5.4.2. Entwicklungsstand und Lifestyle der Fahrzeuge	113
5.4.3. Entwicklungsstand und Lifestyle der Pedelecs	114
5.5. ...Das Nutzungskonzept im Aktiv-Stadthaus	115
5.5.1. Standortbedingungen	116
5.6. ...Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	118
5.6.1. Berechnungsgrundlagen	118
5.6.2. Szenario I: „All-In-Konzeption“ – Warmmietenpauschale für E-Mobilität	121
5.6.3. Szenario II: Kilometergenaue Abrechnung	124
5.6.4. Szenario III: Anlehnung an bestehende Tarifstrukturen von book'n'drive.	125
5.6.5. Szenario IV: Kilometerkontingent bei freiwilliger Abnahme	126
5.6.6. Fazit: Wirtschaftlichkeitsszenarien von Car-Sharing- Konzeptionen	127
5.6.7. „Individual-Leasing“ für die Bewohner des Aktiv-Stadthauses	127

5.7.... Pedelecs im Aktiv-Stadthaus	128
5.8.... Regenerative Strombereitstellung für die E-Mobilität	129
5.8.1. Fahr- und Standzeiten der Wagen	129
5.8.2. Speicherauslegung	129
5.8.3. Elektromobilität als (bidirektionaler) Pufferspeicher	130
5.9.... Ausblick	131
6. AP C – Energiemanagement für den Nutzer	134
6.1.... Das Nutzerinterface	134
6.1.1. Nutzen	134
6.1.2. Datenschutz	135
6.1.3. Hardware	135
6.1.4. Software	135
6.1.5. Aufbau	135
6.1.6. Inhalte	136
6.1.7. Oberflächengestaltung	140
6.2.... Übersicht eines möglichen Aufbaus des Nutzerinterfaces unter Zuweisung der Datengrundlagen	141
6.2.1. Startseite	144
6.2.2. Guthaben	145
6.2.3. Hausvergleich	145
6.2.4. Empfehlung/ Prognose	146
6.2.5. Energiebezug	149
6.2.6. Raumtemperatur	152
6.2.7. Verbrauch	154
6.2.8. Energiebilanz	158
6.2.9. E-Car	160
6.3.... Profile	161
6.4.... Energiespartipps	164
6.4.1. Wetter Termine E-Mail	165
6.5.... Monitoring des Nutzerverhaltens	167
6.5.1. Monitoring - Interdisziplinäre Auswertung und Dokumentation des Nutzerverhaltens	167
6.5.2. Das Vorgehen	167
7. AP D – Lebenszyklusanalyse	170
7.1.... Ökobilanzierung - Ausgangslage und Zielstellung	170
7.2.... Untersuchungsmethodik – Ökobilanzierung	171
7.2.1. Funktionelle Einheit	172
7.2.2. Systemgrenzen	173
7.2.3. Datenkategorien	173
7.2.4. Anforderungen an die Datenqualität	173
7.2.5. Betrachtete Wirkungskategorien	174
7.3.... Vergleichende Ökobilanz von Passiv- und Plus-Energie-Haus	181

7.3.1. Ziel und Untersuchungsrahmen	181
7.3.2. Sachbilanz	182
7.3.3. Wirkungsbilanz	184
7.3.4. Auswertung	188
7.4. ...Optimierung der Planung unter ökologischen Aspekten	189
7.4.1. Ziel und Untersuchungsrahmen	189
7.4.2. Sachbilanz	190
7.4.3. Wirkungsbilanz	191
7.4.4. Auswertung	195
7.5. ...Lebenszykluskostenbetrachtung (LCC)	196
7.5.1. Berechnungsgrundlagen	196
7.5.2. Kostengrundlagen des Aktiv-Stadthauses	197
7.5.3. Kostengrundlagen des „Passivhauses“	199
7.5.4. Kostengrundlagen des Referenzgebäudes	200
7.5.5. Gegenüberstellung der Lebenszykluskosten verschiedener Energistandards	201
7.5.6. Die Lebenszykluskosten im Vergleich	202
7.5.7. Fazit	204
8. Integrale Planung – Mehraufwendungen im Planungsprozess	206
8.1. ...Berücksichtigung der Energiekonzeption von Beginn der Planung an	207
8.1.1. Grundlagenermittlung	210
8.1.2. Vorentwurf- und Entwurfsplanung	210
8.1.3. Genehmigungsplanung	214
9. Fazit	218
10. Ausblick	223
11. Abbildungsverzeichnis	225
12. Quellenverzeichnis	232
13. ANLAGEN	237
1. ANLAGE - Wirtschaftlichkeit von A⁺⁺⁺ - Haushaltsgeräten	237
1.1. ... Kühl-/Gefrierkombination	238
1.2. ... Geschirrspüler	238
1.3. ... Elektroherd/Backofen	239
1.4. ... Waschmaschine	239
1.5. ... Kondenstrockner	240
1.6. ... Wirtschaftlichkeit Haushaltsgeräte	241
2. ANLAGE - Verschattungsstudie	242
3. ANLAGE - Energiespartipps für das Nutzerinterface des Aktiv-Stadthaus	248

1. Zusammenfassung

Das Forschungsvorhaben „Aktiv-Stadthaus“

Mit dem Forschungsvorhaben zum Thema "Entwicklungsgrundlagen für städtische Mehrfamilienhäuser in Plus-Energie-Bauweise nach EU 2020 zur Vorbereitung eines Demonstrativ-Bauvorhabens in Frankfurt am Main" wird eine Grundlage für den Bau von Mehrfamilienhäusern (MFH) im Netto-Plus-Energie-Standard geschaffen. Mit diesem Projekt sollen die bisherigen Entwicklungen von Plus-Energie-Gebäuden im Bereich von Einfamilienhäusern erstmals auf den großmaßstäblichen Geschosswohnungsbau im Innenstadtbereich übertragen und ihre Umsetzbarkeit in Form eines Demonstrativ-Bauvorhabens geprüft werden. Damit leistet das Projekt einen Beitrag zur Forschung an Modellvorhaben im Realmaßstab.

Das Demonstrativ-Bauvorhaben

Beim Demonstrativ-Bauvorhaben handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus (MFH), das die ABG Frankfurt Holding in unmittelbarer Nähe des Frankfurter Hauptbahnhofes errichten möchte. Das Gebäude soll insgesamt acht Geschosse, davon sieben Geschosse mit je elf Wohneinheiten, je im Mittel ca. 85 m² Wohnfläche erhalten. Es kann damit als "typisches" innerstädtisches MFH bezeichnet werden.

Gebäudeenergiekonzeption

Die Bilanzierungsmethode wurde gemäß der Definition des „Effizienzhaus-Plus-Standards“ des BMVBS vorgenommen und mit Bilanzen gemäß des Passivhausprojektierungspaket (PHPP) des Passivhausinstituts verglichen. Wesentliche Unterschiede und Empfehlungen wurden auf dieser Basis herausgestellt. Die Bilanzenebene wurde um die Berücksichtigung der E-Mobilität erweitert.

Das Aktiv-Stadthaus soll als ein „Nur-Strom“-Gebäude errichtet werden. Ziel ist es, aufgrund des innerstädtischen Standorts, der unvermeidbaren Verschattung und des ungünstigeren A/V_E -Verhältnisses im Vergleich zu einem typischen Mehrfamilienhaus „auf der grünen Wiese“ den Energiebedarf möglichst weitgehend zu senken und den Restenergiebedarf so effizient wie möglich regenerativ zu decken. Bei einer Analyse von Optimierungspotenzialen im Bedarf hat sich vor allem der Bedarf für Haushaltsstrom als ausschlaggebende Größe herausgestellt. In der Technikkonzeption ist eine Abwasserwärmenutzung über eine Wärmepumpe für die Wärmebereitung vorgesehen. Alternative Energiekonzepte (Solarthermie, BHKW, Fernwärme) haben gezeigt, dass die Zielsetzung Primärenergiebedarf ≤ 0 bei allen Alternativen eingehalten, jedoch ein Endenergiebedarf ≤ 0 nicht erzielt werden kann. Wärmepumpen-PV-Konzeptionen stellen sich somit als notwendig für das Erreichen des Effizienzhaus-Plus-Standards dar. Die Deckung des Strombedarfs soll über fassaden- und dachintegrierte Photovoltaik erfolgen. Im innerstädtischen Bereich liegt der Fokus auf der Optimierung des PV-Ertrags in der Dachfläche. Im Vergleich zu einem Einfamilienhaus liegt die Energiebezugsfläche beim ca. 2,5-fachen der solar aktivierbaren Hüllfläche im Dach. Die Kubatur und Geschossigkeit (Bezug Energiebezugsfläche zu solar aktivierbarer Fläche) eines MFH ist ein wichtiger Faktor für das Erzielen eines Plus-Energie-Standards. Zudem bedeutet die höhere Nutzungsdichte einen erhöhten spezifischen Energiebedarf. Somit spielen Energieeffizienz und Optimierung von solaren Erträgen im Dach, wie auch die solaraktive Nutzung der Fassade im Mehrfamilienhausbau eine wesentliche Rolle. Bei dem Aktiv-Stadthaus wurden für die solaraktive Dachanlage Hochleistungsmodule mit 19,5 % Wirkungsgrad gewählt. Architektonische Gesichtspunkte spielen bei dem Einsatz von Photovoltaik am Gebäude neben dem Ertrag eine wichtige Rolle. Gemäß Bilanzierungsansatz nach BMVBS wird ein Plus von 11 % (ohne E-Mobilität, Standortbezug Würzburg) erzielt.

Der Eigennutzungsgrad des solar erzeugten Stroms soll über einen Stromspeicher erhöht werden, der unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit einen ca. 50-prozentigen Eigennutzungsgrad ermöglicht. Eine weitere Erhöhung des Eigennutzungsgrads wird durch die Einbindung der Wärmepumpe in das Lastmanagement erreicht. Das Lastverschiebepotenzial von Haushaltsgeräten ist beschränkt und aus heutiger Sicht wirtschaftlich nicht darstellbar. Fünf exemplarische Wohneinheiten werden dennoch zu Forschungszwecken mit ansteuerbaren Haushaltsgeräten ausgestattet. Im Rahmen des Gebäudemonitorings sollen alle Verbrauchseinheiten erfasst und ausgewertet werden.

Für die Umsetzung des Energiekonzepts bedarf es eines neuartigen Abrechnungsmodells im Mietwohnungsbau. Eine monatliche Energiepauschale für Strom und Wärme garantiert dem Anlagenbetreiber einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage und den Nutzern eine erneuerbare und preisstabile Energieversorgung.

Nach Ausführung und Inbetriebnahme des Demonstrativ-Bauvorhabens soll das Gebäude einem 2-jährigen Monitoring unterzogen werden, um somit eine Überwachung der Anlagen und eine Betriebsoptimierung sicher zu stellen. Das Energiekonzept ist vor allem im Bereich des Lastenmanagements und der Speicherung als Neuentwicklung geplant. Dafür wird, um ein ausreichendes Messkonzept und den Einbau ausreichender Sensorik zu gewährleisten, parallel zur Entwurfsplanung eine Monitoringkonzeption entwickelt.

Elektro-Mobilität

Ganzheitliche energetische Gebäudekonzepte der Zukunft betrachten die Grenzen der Energieströme über die Systemgrenze des Gebäudes hinaus. Hier ist als wesentlicher gebäudenaher Energieverbraucher die Mobilität der Bewohner zu identifizieren. Neben der derzeit auf Hochtouren laufenden Entwicklung im Bereich der Fahrzeugentwicklung sind Fragen zur Übergabe zwischen Fahrzeug und Gebäude noch weitestgehend offen. Über die Integration eines E-Mobil-Konzeptes wird die Schnittstelle regenerative Energieerzeugung - Gebäude - E-Mobil mit untersucht.

Angedacht ist eine Car-Sharing-Flotte von bis zu acht e-Mobilen und fünf e-Bikes, die den Hausbewohnern und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Für die Ladeinfrastruktur sind sowohl konduktive Ladesäulen wie auch Flächen für induktive Ladung vorgesehen. Dabei soll die gesamte Ladeinfrastruktur auf eine hohe Flexibilität ausgelegt werden, um auch zukünftig auf sich verändernde Techniken im Bereich der Elektromobilität, insbesondere der Lademöglichkeiten, reagieren zu können.

Für die Car-Sharing-Nutzung wurde eine ausführliche Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt und Gespräche mit möglichen Betreibern geführt. Die Analyse zeigt, dass sich die Einbindung der E-Mobilität vor allem als wirtschaftlich darstellen würde, wenn eine pauschale Abgabe der Mieter berücksichtigt werden könnte. Das Thema der Mobilitätsgarantie stellt hier jedoch eine besondere Herausforderung dar. Um eine Mobilitätsgarantie zu Beginn des Flottenbetriebes zu gewährleisten, könnte die Flotte zunächst um benzinbetriebene bzw. Hybrid-Fahrzeuge ergänzt werden.

Energiemanagement für den Nutzer

Neben innovativen Technologien der Energieerzeugung sollen die Nutzer über ein Nutzerinterface zum Energiesparen angeregt werden. Über Touchpanels in den Wohneinheiten soll ihr Energieverbrauch sowie die regenerative Energieerzeugung des Gebäudes sichtbar gemacht werden. Ein Warmmietenkonzept mit einem bedarfsgerechten Energieguthaben soll zudem einen verstärkten Anreiz zur Energieeinsparung schaffen. Jede Wohnung soll für die Energiedienstleistungen

Budgets erhalten, die mit der Miet- bzw. Nebenkostenzahlung abgegolten sind. Darüber hinaus gehende Verbräuche sind mit Marktpreisen zu begleichen.

Das Projekt soll die Voraussetzungen für einen spielerischen Umgang der Gebäudenutzer mit der Schnittstelle Mensch:Technik:Energie hinsichtlich Hardware, Software und Benutzeroberfläche schaffen. Nicht nur der Energieverbrauch an sich, sondern auch für den immer wichtiger werdende Eigennutzungsgrad der regenerativ erzeugten Energie soll der Nutzer sensibilisiert werden. Der Nutzereinfluss auf Energieeinsparung und die Erhöhung des Eigennutzungsgrads sollen, neben den in Bezug auf Lastverschiebepotentiale der Haushaltsgeräte ermittelten Angaben, möglichst in einem folgenden Monitoring untersucht werden.

Lebenszyklusanalyse

Neben der Steigerung der technischen Effizienz werden im Rahmen des Projektes Untersuchungen im Bereich der „grauen Energie“ und der Umweltwirkungen des Gebäudes vorgenommen. Aufgrund der reduzierten Betriebsenergieverbräuche gewinnen Energieaufwendungen in der Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung von Baumaterialien und des Gebäudes an Gewicht. Vor allem beim Plus-Energie-Standard gilt es, diesen Bereich detailliert zu untersuchen und zu optimieren, damit die Netto-Plus-Energie-Bilanz nicht durch im Betrieb unsichtbare Energieaufwendungen im Ganzen relativiert bzw. energetisch „teuer“ erkaufte wird. Ziel ist es, aus der Untersuchung Hinweise zur Anwendung der Ökobilanz im Planungsprozess abzuleiten und somit die Übertragbarkeit auf andere Projekte zu gewährleisten.

Auf Grund der innerstädtischen Lage, der besonderen Form und der hohen Ausnutzung des Grundstücks war die Bauweise (Stahlbeton) grundsätzlich vorgegeben. Im Rahmen des Projekts konnten Optimierungen auf Bauteilebene aufgezeigt und in der Planung umgesetzt werden. Weitere Optimierungen hinsichtlich der grauen Energie und CO₂-Emissionen aus der Gebäudekonstruktion ließen sich nur bei grundsätzlich anderen Konstruktionsweisen (z.B. Holzbau) erzielen, die wiederum aus statischen Gründen zu einer geringen Ausnutzung des Grundstücks geführt hätten. Das Projekt konnte des Weiteren zeigen, dass Plus-Energie-Häuser zwar erheblich größere Umweltwirkungen bei Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung von Gebäudekonstruktion und Technik verursachen, dass sich diese Umweltwirkungen aber durch die Einsparungen im Betrieb innerhalb weniger Jahre amortisieren.

Aus einer Lebenszykluskostenbetrachtung über 50 Jahre geht hervor, dass die Investitionskosten des Pilotprojektes Aktiv-Stadthauses im Vergleich zu einem „Passivhaus“ ($Q_h = 18 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) um ca. 12 % höher liegen. Eine Amortisation in Bezug auf das „Passivhaus“ ist erst nach 50 Jahren gegeben. Dies ist vor allem mit den hohen Investitionen und Austauschzyklen für die Photovoltaik und den Speicher zu begründen. Zukünftig ist jedoch voraussichtlich bei den Sonderkomponenten, wie z.B. dem Stromspeicher, sowohl eine Kostenreduzierung als auch eine Erhöhung der Lebensdauer zu erwarten. Insgesamt liegen die Kosten von Plus-Energie-Mehrfamilienhaus und „Passivhaus“ nahe beieinander. Zusätzlich besitzt das Plus-Energie-Gebäude den großen Vorteil einer zusätzlichen CO₂-Einsparung. Im Gegensatz zu der Kostenentwicklung liegt im Vergleich mit der Ökobilanz die Spreizung der Emissionen viel weiter auseinander. Im Zuge einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbewertung sollten so immer ökonomische wie ökologische Bewertungen eine Entscheidungsgrundlage bilden. Zudem ist zu berücksichtigen, dass es sich bei dem Aktiv-Stadthaus um ein Pilotprojekt handelt, welches einem Routineprojekt wie dem Passivhaus gegenübergestellt wird.

Integrale Planung

Der Planungsverlauf bis einschließlich Leistungsphase 4 hat gezeigt, dass bei der Konzeptentwicklung eines Plus-Energie-Mehrfamilienhauses eine integrale Planung und die damit verbundene Einbindung des Gebäudetechnik-Planers eine wichtige Rolle spielt. Die Entwicklung der Gebäude- und Energiekonzeption greifen von Beginn der Planung an ineinander. Dadurch entsteht im Vergleich zu einem gewöhnlichen Planungsablauf ein planerischer und koordinativer Mehraufwand. So waren häufige Rückkopplungsprozesse mit Forschung und TGA-Planung im Entwurfsprozess der Architekten erforderlich. Von besonderer Bedeutung sind die die Gebäudehülle betreffenden Maßnahmen, insbesondere die passive und aktive Nutzung solarer Gewinne. Bei der Nutzung von Photovoltaik ist die Berücksichtigung von gestalterischen Gesichtspunkten in der Fassade von höchstem Interesse. Es zeigte sich, dass die Industrie innovative Bauteile nur sehr zögerlich zur Verfügung stellt (fassadenintegrierbare Photovoltaik, Passivhaus-Schallschutzfenster). Deren Berücksichtigung besitzt jedoch z.B. über Rastermaße von Photovoltaikmodulen eine direkte Abhängigkeit für den Planungsprozess.

Fazit

Der Standard birgt für Mehrfamilienhäuser z.T. noch große Herausforderungen für die weitere Umsetzung. Mit der Studie und der Planung für das Aktiv-Stadthaus wurde jedoch gezeigt, dass der Plus-Energie-Standard im Mehrfamilienhausbau mit heutigen Technologien in einem urbanen Kontext möglich ist.

2. Einleitung

2.1. Ausgangslage

Angesichts des Klimawandels und der zunehmenden Ressourcenverknappung bei fossilen Energieträgern werden in Deutschland und Europa neue Modelle für eine zukunftsfähige Energieversorgung unter verstärkter Einbeziehung regenerativer Energiequellen forciert. Gemäß der europäischen Gebäuderichtlinie sollen ab 2020 Neubauten nur noch als Niedrigstenergiegebäude errichtet werden.

Die große Masse an Energie verbrauchenden Bestandsgebäuden kann zwar durch energieeffiziente Sanierungen maßgeblich verbessert werden, aber im Durchschnitt sind hier weiterhin durch bauliche und standortbedingte Gegebenheiten Energieverbräuche zu erwarten. Diese „Schwachstelle“ kann durch den Plus-Energie-Standard bei Neubauten in der Betrachtung von Siedlungen und Städten in großen Teilen ausgeglichen werden.

Mit diesem Forschungsvorhaben sollen die bisherigen Entwicklungen von Plus-Energie-Gebäuden im Bereich von Einfamilienhäusern – bei denen die Machbarkeit bereits mehrfach durchgeführt und erprobt wurde – erstmals auf einen großmaßstäblichen Geschosswohnungsneubau im Innenstadtbereich übertragen, und ihre Umsetzbarkeit in Form eines Demonstrativ-Bauvorhabens – dem Aktiv-Stadthaus – geprüft werden.

2.2. Ziel

Ziel des Forschungsvorhabens ist eine vorbereitende Machbarkeitsstudie zur Entwicklung und Planung von Mehrfamilienhäusern in Netto-Plusenergie-Standard mit einem hohen solaren Eigenstromnutzungsanteil. Dabei soll der Innovationscharakter vor allem in den folgenden vier Punkten liegen:

- der Energiekonzeption
- der Einbindung von Elektro-Mobilität im direkten Hausverbund
- einem Energiemanagement für den Nutzer
- einer Lebenszyklusbetrachtung mit einer umfassenden Analyse der Stoff- und Energieströme in Verbindung mit Bau und Nutzung

Mit dem Forschungsprojekt soll eine Grundlage für den Bau von MFH in Netto- Plus-Energie-Standard geschaffen werden. Ihre Machbarkeit soll durch die beabsichtigten Forschungsansätze geprüft und sodann probeweise in Form eines Demonstrativ-Bauvorhabens umgesetzt werden.

Grundlagenermittlung und Dokumentation von gezielten Planungsentscheidungen sollen Varianten hervorbringen und allgemeine Hinweise für Folgeprojekte gewährleisten.

Entgegen dem Forschungsantrag wird für die Bilanzierung des Plus-Energie-Standards keine eigene Systematik entwickelt, sondern sich auf die zu diesem Zeitpunkt bereits vorhandene Bilanzierungsrichtlinie „Effizienzhaus-Plus“ des BMVBS bezogen. Sich in der Anwendung ergebende allgemeine Hinweise und Empfehlungen sind in diesem Bericht hervorgehoben.

2.3. Inhalte und Aufbau des Forschungsberichtes

Entsprechend der Betrachtungsschwerpunkte ist der Forschungsbericht wie folgt gegliedert:

A) GEBÄUDEENERGIEKONZEPTION

- Bilanzraum und Regelwerk
- Untersuchung der erforderlichen Gebäudeenergiekonzeption
 - Energiebedarf
 - Anlagentechnologie
 - Stromspeicher
 - Lastmanagement
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- Abrechnungsmodelle



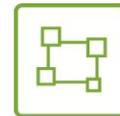
B) ELEKTRO-MOBILITÄT

- Einbeziehung der E-Mobilität als integraler Bestandteil des Mietwohnungsbaus
 - Einbindung über eine Car-Sharingkonzeption
 - Sensitivitätsanalyse der möglichen Einbindung in ein wirtschaftliches Mietkonzept
- Untersuchung von Infrastruktur – Ladestationen und Anbindung an Speichertechnologien
- Betrachtung möglicher Wirtschaftlichkeitszenarien



C) ENERGIEMANAGEMENT FÜR DEN NUTZER

- Einbindung des Nutzers über ein Nutzerinterface als Schnittstelle Energie:Mensch:Technik



[D] LEBENSZYKLUSANALYSE

- Begleitende Ökobilanzierung
- Erarbeitung von Hinweisen zur Reduktion der Umweltwirkungen eines mehrgeschossigen Wohnungsbaus
- Erstellung einer Lebenszyklusbetrachtung



In dem Forschungsbericht wird zunächst die Plus-Energie-Konzeption anhand des Demonstrativ-Bauvorhabens entwickelt und daraus allgemeine Rückschlüsse für die Planung von Mehrfamilienhäusern in Plus-Energie-Bauweise abgeleitet. Wichtige allgemeine Hinweise und Ergebnisse aus der Machbarkeitsstudie werden zur schnellen Erfassung in grau hinterlegten Kästen hervorgehoben.



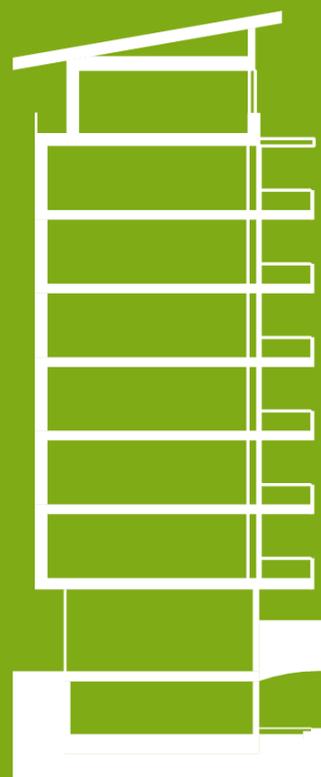
Allgemeine Rückschlüsse

Grau hinterlegte Informationskästen /Informationsflächen ermöglichen eine schnelle Erfassung allgemeiner Hinweise für die Planung von Plus-Energie-Mehrfamilienhäusern.

Da der Forschungsbericht im laufenden Planungsprozess des Demonstrativ-Bauvorhabens verfasst wurde, bezieht er sich gemäß Projektverlauf auf verschiedene Planungsstände. Wird vom „aktuellen“ Planungsstand gesprochen, so ist der Stand vom 30.11.2012 gemeint, der als abschließender Bezugszeitpunkt für den Forschungsbericht festgelegt wurde.



Das Demonstrativ-Bauvorhaben Aktiv-Stadthaus



3. Das Demonstrativ-Bauvorhaben

Beim konkreten Untersuchungsprojekt handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus (MFH), das die ABG Frankfurt Holding in unmittelbarer Nähe des Frankfurter Hauptbahnhofes errichten möchte.



Abb. 1 Luftbild des Gebäudestandortes in der Speicherstraße in Frankfurt am Main; Quelle: Microsoft; Gebäudeskizze: STZ

Das Baugrundstück in der Speicherstraße liegt in zweiter Reihe zum Mainufer und ist von 5-9 geschossigen Wohnbauten umgeben. Das langgestreckte 150 lange, und nur 9 m tiefe innerstädtische Grundstück stellt eine besondere Herausforderung für Energiekonzeption und Architektur dar. Begrenzt wird das Baugrundstück im Süden durch eine stark befahrene Straße, im Norden durch eine bestehende Tiefgarage mit einem oberirdischen Parkgeschoss. Die begrünte Dachfläche steht den benachbarten Mietern als Gartenfläche zur Verfügung. Die beiden Schmalseiten enden jeweils an einer Straßen-Kreuzung. Auf Grund seiner besonderen Lage muss das Grundstück vollständig überbaut werden. Unter diesen Randbedingungen entwickelt sich das Volumen einer freistehenden hohen und schlanken Scheibe, die nicht in Anschlussbebauung eingebunden ist.



Abb. 2 Lageplan; Quelle: HHS Planer + Architekten AG

Das Gebäude soll acht Geschosse erhalten. Über einem gewerblich genutzten Sockelgeschoss sind auf sechs Regelgeschossen je elf Wohneinheiten mit je im Mittel 85 m² Wohnfläche vorgesehen. Im 7. OG folgt ein als Staffelgeschoss ausgebildetes Dachgeschoss mit insgesamt 8 Wohneinheiten. Es kann damit als „typisches“ innerstädtisches MFH bezeichnet werden.

Den Abschluss bildet ein 10 Grad geneigtes Pultdach, das nahezu vollständig mit Photovoltaikmodulen belegt werden soll. Zur Maximierung der Fläche, aber auch zur Herstellung witterungsgeschützter Terrassenflächen überragt es an den Längsseiten den eigentlichen Baukörper.

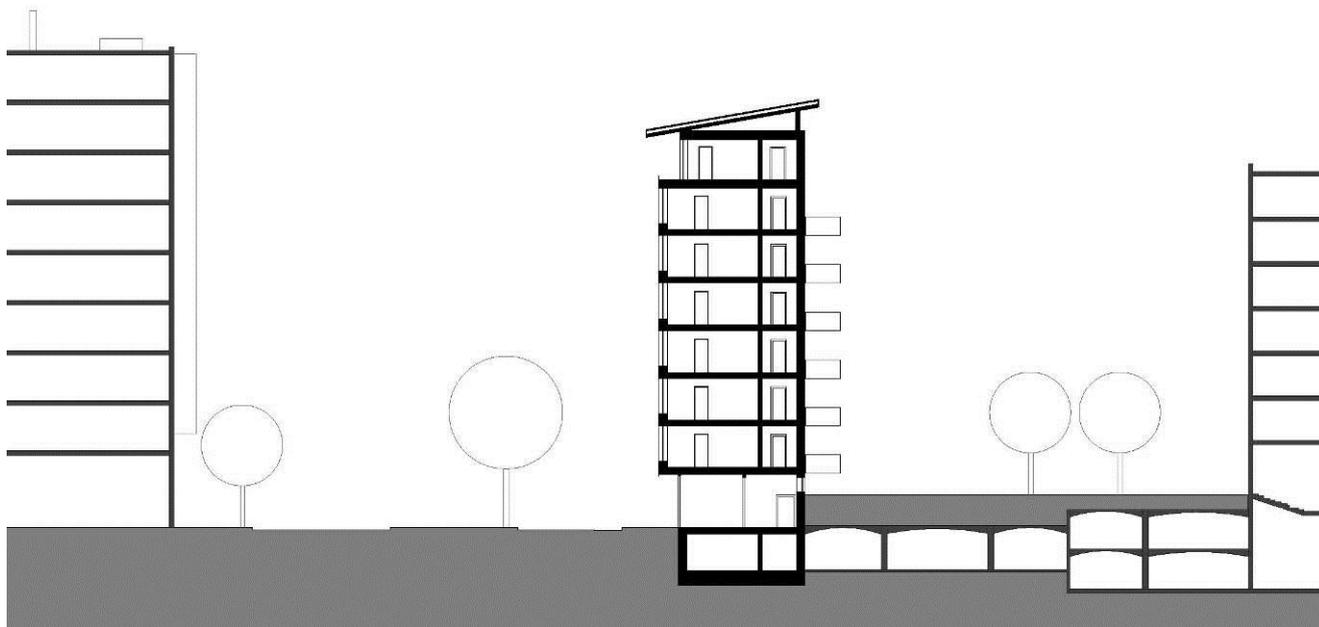


Abb. 3 Schnitt quer zur Speicherstraße; Darstellung der Geschossigkeit der Umgebenden Bebauung und des Aktiv-Stadthauses; Quelle: HHS Planer + Architekten AG

Das Gebäude besitzt insgesamt 74 2- bis 4-Zimmer-Wohnungen mit einer Wohnfläche von 6.749 m² und einer BGF von 11.300 m². Alle Wohnungen sind barrierefrei über einen Aufzug zu erreichen.

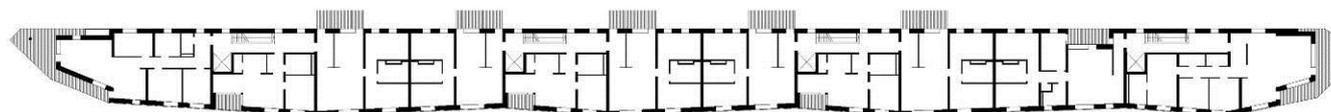


Abb. 4 Grundrissübersicht – Regelgeschoss; Quelle: HHS Planer + Architekten AG

Die Grundrisse sind als Dreispänner organisiert, über welche die 2-4 Zimmerwohnungen erschlossen werden. Die Wohnungen sind in klare durchgesteckte Zonen, den Gemeinschaftsbereich (Küche, Essen, Wohnen) und den privaten Bereich (Schlafen, Arbeiten, Kinder, Bad) gegliedert. Im 7. OG umfasst eine große Terrasse das Staffelgeschoss.

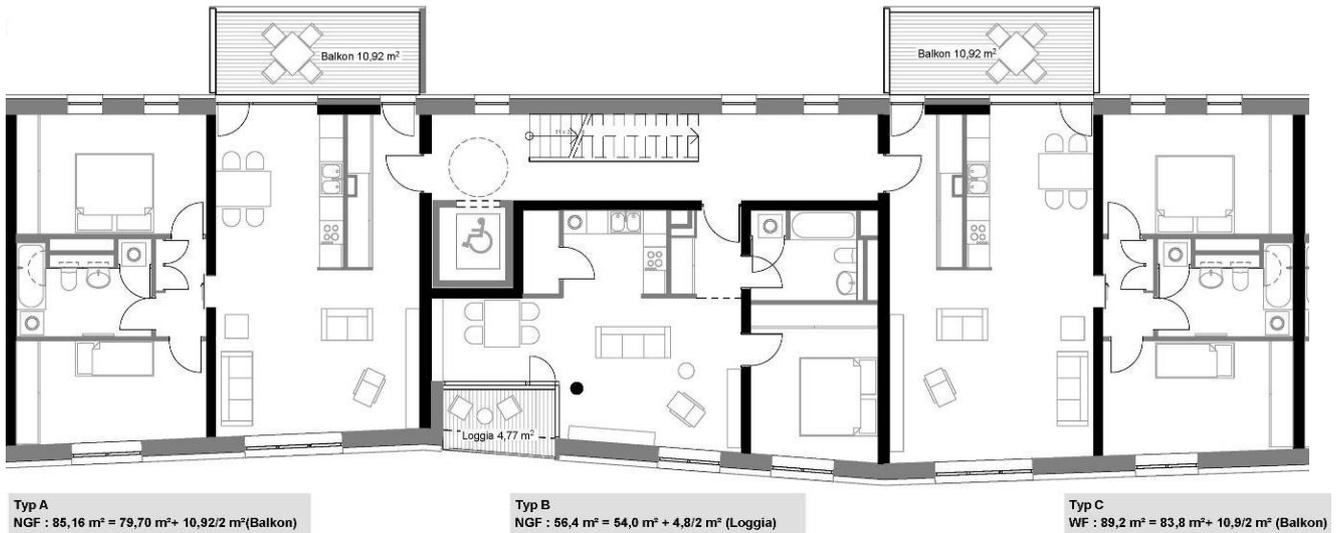


Abb. 5 Grundrissausschnitt – Regelgeschoss; Quelle: HHS Planer + Architekten AG

Das Erdgeschoss setzt das darüber liegende Wohnen über eine transparente, öffentliche Sockelzone ab. Darin sind Ladenflächen, Zweirad-Stellplätze und Car-Sharing-Stellplätze für die Elektromobilität verortet. Öffentlich werbewirksam als „Schaufenster“ ausgebildet, sollen ca. 8 E-Mobile und diverse E-Bikes im EG geladen und verliehen werden. Über verglaste Zufahrten sind sie auch für Passanten sichtbar und legen neben Photovoltaikelementen in der Fassade die Besonderheit des Gebäudekonzepts offen. Um die Attraktivität der Erdgeschosszone zu erhöhen und dem Gehweg eine angenehme Breite zu verleihen, springt die Fassade gegenüber den Obergeschossen und der Bauflucht zurück.

Im Untergeschoss sind Abstell- und Technikflächen sowie zwei Anbindungen an die bestehende, auf dem Nachbargrundstück befindliche Tiefgarage geplant.

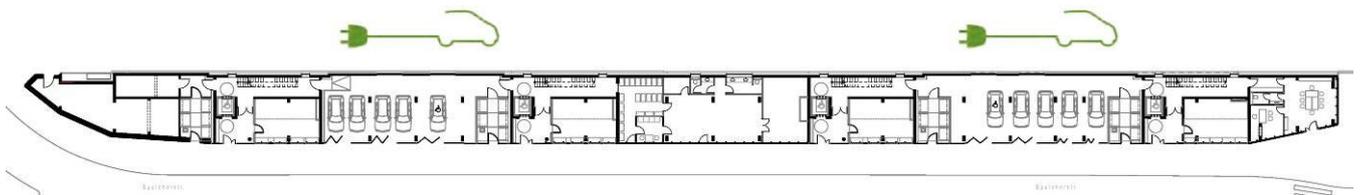


Abb. 6 EG – E-Mobil-Car-Sharing und Ladenzone; Quelle: HHS Planer + Architekten AG

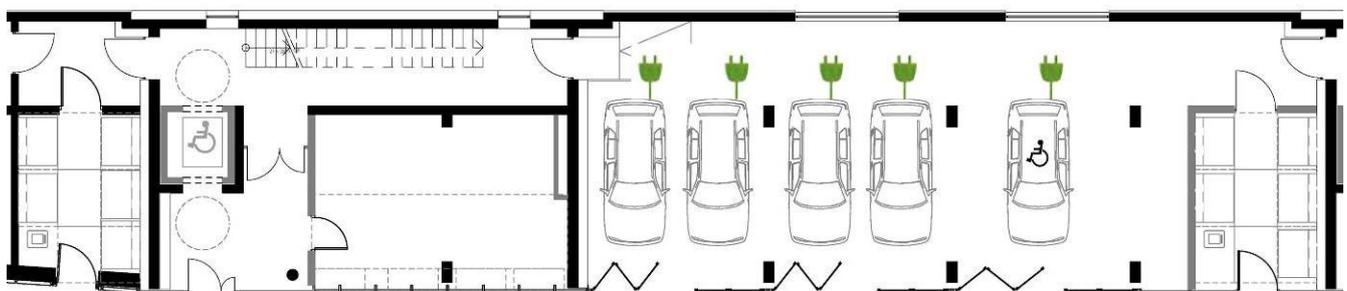


Abb. 7 Grundrissausschnitt – EG - E-Mobil-Car-Sharing und Ladenzone; Quelle: HHS Planer + Architekten AG

Über der weitgehend transparenten Erdgeschossfassade erhebt sich eine im Grundriss leicht gefaltete Fassade. Diese Faltung bricht zum einen die Länge des Gebäudes und schafft im Grundriss die notwendige Tiefe zur Entwicklung der Wohnungsgrundrisse bei geringer Gebäudetiefe. Unterstrichen wird diese Kontur durch das linear überstehende Pultdach. Die Hoffassade ist durch vorgehängte Balkone gegliedert, und akzentuiert. Das Gebäude öffnet sich mit dem größeren Fensterflächenanteil von 62 % zur Süd-Süd-Ost-Seite (Straßenseite). Der Fensterflächenanteil der Nord-Nord-West-Fassade liegt bei 38 %.

Im Zuge der Plus-Energie-Konzeption werden weite Teile der Südfassade mit Dünnschichtmodulen belegt. Ausgehend von diesem prägenden Material wird die Fassade mit einem Tafelmaterial verkleidet, dass sich über die Brüstungen auf die Nordseite des Hauses fortsetzt. Charakteristisch für das Gebäude ist die ungewöhnlich geringe Gebäudetiefe. Diese Besonderheit wird an den Schmalseiten durch sich auflösende Balkonflächen herausgearbeitet, im Grundriss dem Polygon der Straße im Kreuzungsbereich folgend.

Tragende Schotten aus Stahlbeton und Mauerwerk bilden zusammen mit Stahlbetondecken das statische Gerüst. Nichttragende Außenwände ermöglichen die Ausführung in Holztafelbauweise. Auf diese Weise lassen sich die durch die Passivhausbauweise notwendigen Wandstärken reduzieren und ermöglichen damit eine wirtschaftliche Grundrissgestaltung auf dem schmalen Grundstück. Das statische Prinzip ermöglicht darüber hinaus ein „Durchwohnen“, sodass auch bei geringer Grundfläche besondere Wohnqualitäten erzeugt werden. So lässt die Gebäudeform einen hohen Wohnkomfort und eine Maximierung der Nutzung von Tageslicht, natürlicher Lüftung und solaren Erträgen zu.

In den folgenden Kapiteln wird die Entwicklung zu den Entwurfsentscheidungen anhand der Forschungsschritte zu dem Demonstrativbauvorhaben beschrieben und allgemeine planungsrelevante Hinweise dargestellt.



Abb. 8
Straßenperspektive des
Aktiv-Stadthauses;
Quelle: HHS Planer +
Architekten AG



Abb. 9 Luftperspektive mit Darstellung des Gebäudeentwurfs, Stand Okt. 2012; Quelle: HHS Planer + Architekten AG



AP A

Gebäudeenergiekonzeption



4. AP A – Gebäudeenergiekonzeption

Ziel des Arbeitspaketes A ist die Entwicklung einer Netto-Plus-Energie-Konzeption für das Demonstrativ-Bauvorhaben. Daraus folgend sollen allgemeine Rückschlüsse für den Plus-Energie-Standard im Mehrfamilienhausbau (MFH) gezogen werden.

Als Grundlage wird der Ansatz "Netto-Plus-Energie-Standard für MFH" hinsichtlich verschiedener Parameter untersucht. Dabei geht es zunächst um die Anwendung und Evaluierung der Benchmarks des Effizienzhaus-Plus-Standards des BMVBS in Bezug auf die Bilanz des Plus-Energie-Standards eines MFH.

Der Wärmebedarf für Heizen und Brauchwassererwärmung soll auf ein Minimum reduziert werden. Die Stromproduktion durch eine integrierte Photovoltaik-Anlage soll vorrangig zum Betrieb des MFH genutzt, der Überschuss für Elektromobilität eingesetzt werden. Grundlagenermittlung und Variantenvergleiche sollen gezielte Planungshinweise hervorbringen und eine Übertragbarkeit für Folgeprojekte gewährleisten.

Für das Energiekonzept wurden neben einer „Nur-Strom Konzeption“ weitere Wärmeversorgungsvarianten untersucht. Im Einfamilienhausbereich ist der Netto-Plus-Energie-Standard bereits erprobt und mit den auf dem Markt verfügbaren Technologien gut umsetzbar. In der Regel sind die entsprechenden Energiekonzeptionen „Nur-Strom Konzeptionen“, die mit Hilfe einer Wärmepumpe ihren Heizwärmebedarf durch Strom decken, den Restenergiebedarf über eine Photovoltaikanlage und das öffentliche Netz begleichen und bezogen auf den Zeitraum von einem Jahr einen Überschuss erzeugen. Ob diese Konzeption auch für einen Plus-Energie-Standard im Mehrfamilienhausbau in einer innerstädtischen Lage sinnvoll ist, sollen u.a. die folgenden Untersuchungen anhand des Demonstrativ-Bauvorhabens aufzeigen.

4.1. Bilanzierung – Bilanzraum und Regelwerk

Die Bilanz wird parallel gemäß Richtwerten des Effizienzhaus-Plus-Standards des BMVBS auf Grundlage der DIN V 18599 sowie nach Passivhauskriterien (Bilanzierung mit PHPP) im Vergleich ermittelt.

Als Bilanzraum steht der gesamte Gebäudebetrieb im Mittelpunkt der Betrachtung. In die Bilanz einbezogen werden entsprechend Heizung, Trinkwarmwasser (TWW), Hilfsstrom für Pumpen und Ventilation zuzgl. Beleuchtung und Haushaltsstrom. Letztere sind gem. EnEV 2009 in der herkömmlichen Energiebilanz eines Wohngebäudes nicht enthalten (siehe Abb. 10). Der Betrieb von Elektromobilen wird mit betrachtet, jedoch gem. der Definition des Effizienzhaus-Plus-Standards zum Nachweis des Standards derzeit nicht berücksichtigt. Erweitert wird der Bilanzraum um die Betrachtung der sog. „grauen Energie“, die über eine Ökobilanzierung u.a. Rückschlüsse für die Materialwahl ermöglichen soll.

Nach Definition des BMVBS ist für den Effizienzhaus-Plus-Standard das Einhalten des Passivhaus-Standards als Grundlage des Hüll- und Effizienzstandards eines Gebäudes nicht zwingend erforderlich. Als Bedingung ist zum einen die EnEV (aktuell 2009) einzuhalten, die einen spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmebedarf H_T unter $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}^1$ fordert und zum anderen eine positive, jahresbezogene Netto-End- und

¹ Gem. EnEV 2009, Tab. 2 für freistehende Wohngebäude, $A_N \geq 350 \text{ m}^2$

Primärenergiebilanz zu erzielen hat (siehe Abb. 10). Daneben ist als Zusatzinformation der Eigennutzungsgrad der regenerativ erzeugten Energie auf Monatsbasis mit anzugeben.

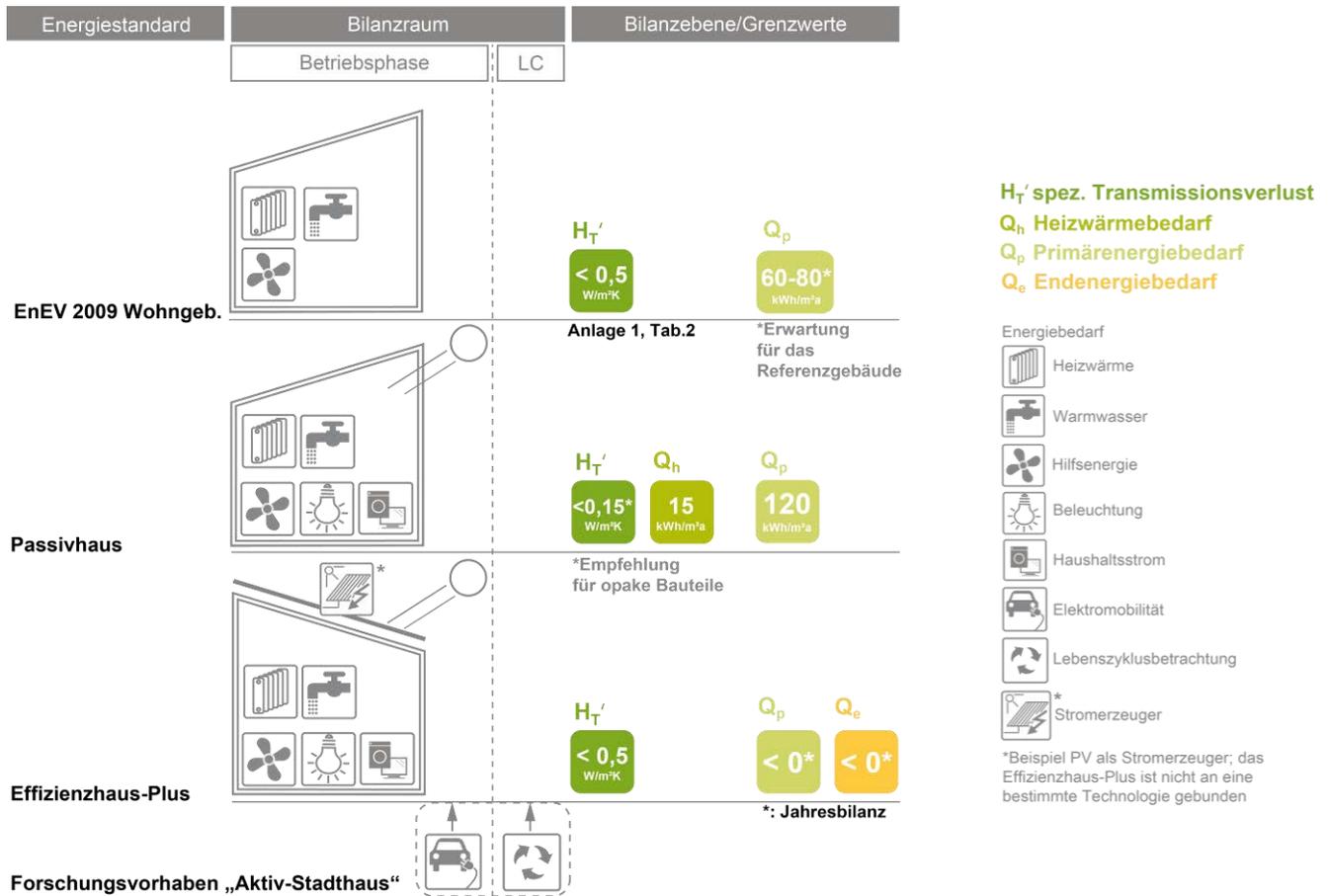


Abb. 10 Vergleich der Bilanzräume von EnEV-, Passivhaus- und Effizienzhaus-Plus-Standard, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Der Energiebedarf des Gebäudes wird anhand verschiedener Bezugsflächen ermittelt (siehe Abb. 11). Diese können je nach Bilanzverfahren stark variieren. Bei einer Bilanz nach PHPP gilt die beheizte Wohnfläche nach WoFIV als Energiebezugsfläche. Keller- und Nebenräume, bzw. Räume, die nach WoFIV nicht als Wohnraum gelten (innerhalb der thermischen Hülle, Raumhöhe > 2m), dürfen zu 60 % der Fläche zur EBF hinzugerechnet werden. Bei der Bilanz nach DIN V 18599 wird für die Bedarfsermittlung von TWW, internen und solaren Wärmequellen ebenso die beheizte Wohnfläche² herangezogen. Zudem wird der Haushaltsstrombedarf nach Effizienzhaus-Plus auf die Wohnfläche bezogen. Für die Ausgabe des spezifischen Energiebedarfs gilt nach EnEV der pauschale Ansatz der Gebäudenutzfläche A_N in Abhängigkeit des Bruttovolumens V_E eines Gebäudes.

Die Größe der solaren Wärmequellen unterscheidet sich ebenfalls. In der DIN V 18599 sind die solaren Gewinne sehr hoch, da eine Berücksichtigung der Verschattung wesentlich undetaillierter ausfällt als im PHPP. Zudem sind die internen Wärmequellen gemäß DIN V 18599 im Verhältnis zu der Wärmeabgabe der tatsächlich eingesetzten effizienten Leuchtmitteln und HH-Geräte hoch. In der Bilanz nach PHPP sind diese geringer angesetzt (2,1 W/m²). Daraus resultiert gemäß PHPP ein ungünstiger, jedoch realistischerer Heizwärmebedarf.

² gem. DIN 18599-10 2007 Tabelle 3

	PHPP	EnEV (DIN V 18599) ³
Energiebezugsfläche[m ²] (für spez. Ausgabe)	7.219 (A _{EBF}) ⁴	9.502 (A _N) ⁵
Interne Gewinne [W/m ²] und Bezugsgröße	2,1 Wohnfläche bhzt.	ca. 4,2 (100 Wh/m ² d) Wohnfläche bhzt.
TWW-Wärmebedarf [kWh/m ² a] und Bezugsgröße	personenbezogen	16 Wohnfläche bhzt.
HH-Strom [kWh/m ² a]	abhängig von Personen und WE ⁶	20 Wohnfläche bhzt.

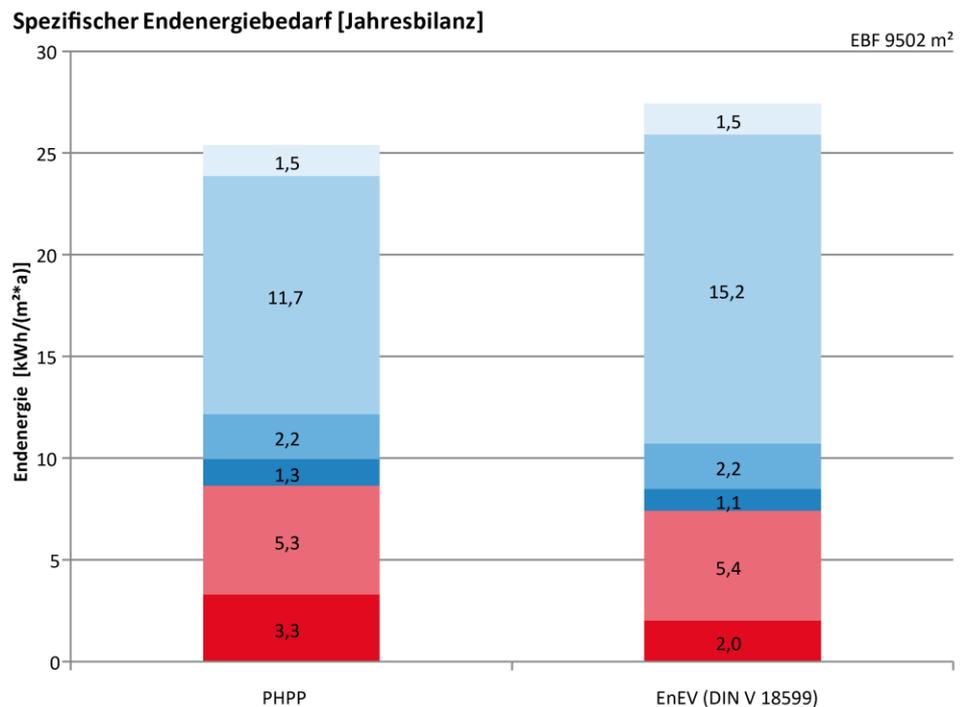
Abb. 11 Vergleich der Bilanzgrößen bei unterschiedlichen Bilanzierungsmethoden, Quelle: STZ

Ferner kommt die unterschiedliche Ermittlungsweise des Trinkwarmwasserbedarfs hinzu. Nach PHPP wird der Trinkwarmwasserbedarf personenbezogen (25 l/Person und Tag) und nach DIN V 18599 flächenbezogen (16,0 kWh/m²a für MFH) ermittelt. Die Bilanz der Wärmebrücken kann bei allen Bilanzierungsmöglichkeiten detailliert eingegeben werden. Da zum aktuellen Planungsstand (30.11.2012) noch keine Wärmebrückenberechnung des Gebäudes vorliegt, wurde ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag von 0,03 W/m²K angerechnet.

Aus den unterschiedlichen Bezügen und Detaillierungsgraden von Eingabegrößen folgt, dass auch der zu ermittelnde Endenergiebedarf stark variieren kann. In Abb.12 ist der spezifische Energiebedarf nach PHPP und DIN V 18599, beides bezogen auf A_N = 9.502 m², dargestellt.

- Heizung
- TWW
- Hilfsstrom
- Lüftung
- HH -Strom
- E-Mobilität

Abb.12 Vergleich der Energiebilanzen nach unterschiedlichen Bilanzmethoden (PHPP und DIN V 18599). Für die Vergleichbarkeit wird der spezifische Endenergiebedarf auf die gleiche Energiebezugsfläche von 9.502 m² bezogen; Bedarfsgrößen gem. Planungsstand 29.02.2012, Quelle: STZ; FGee



Der Haushaltsstrombedarf wird nach EnEV nicht mitbilanziert. Für den Effizienzhaus-Plus-Standard hingegen legte das BMVBS eine pauschale, flächenabhängige Ermittlung von 20 kWh/m²a fest (davon Beleuchtung: 3 kWh/m²a; Haushaltsgeräte: 10 kWh/m²a; Kochen: 2 kWh/m²a; sonstiges: 5 kWh/m²a, jedoch maximal 2.500 kWh/a je Wohneinheit). Dem zugrunde liegt der Einsatz von

³ gem. der Bilanzierungsrichtlinie des BMVBS, Effizienzhaus-Plus

⁴ Wohnfläche bhzt., Planungsstand 29.02.2012

⁵ A_N = 0,2815 x V_E (Geschosshöhe > 3 m), Planungsstand 29.02.2012

⁶ Durchschnittswerte für Geräteverbrauch nach Passivhaus Institut, Darmstadt

hocheffizienten Geräten als Nebenanforderung. Bei einer detaillierten Ermittlung des Haushaltstrombedarfs nach PHPP (Einzeleingabe der installierten Leistungen der A⁺⁺⁺-Haushaltsgeräte mit durchschnittlicher Anwendung) ergibt sich ein wesentlich geringerer Haushaltstrombedarf (s. Abb.12 und Kap. 4.2.4).



Ermittlung des Strombedarfs

Da der HH-Strombedarf im Verhältnis zum Heizwärmebedarf bei einer „Nur-Strom“-Konzeption eine ausschlaggebende Bedarfsgröße darstellt, den es in der Plusenergiebilanz zu decken gilt, sollte der pauschalisierte Ansatz des Strombedarfs (20 kWh/m²a) um einen detaillierten Nachweis zum Einsatz effizienter Geräte, vorzugsweise A⁺⁺⁺-Geräte, (gem. PHPP) ergänzt werden. Damit würde ein ähnlicher Ansatz wie bei der Bilanz der Wärmebrücken (pauschal oder nach DIN 4108-6 berechnet) gewählt. Dies würde einem üblichen Standard für Neubauten und der anzustrebenden Stromeinsparung gerecht werden.

Für die Bilanz des Haushaltsstrombedarfs wird nach DIN V 18599 gem. der Richtlinie Effizienzhaus-Plus des BMVBS die beheizte Wohnfläche und nicht die Energiebezugsfläche (A_N) herangezogen. Ein auf die A_N bezogener Wert führt bei einem Gebäude dieser Größe aufgrund der größeren Bezugsfläche (Differenz $\sim 1.000 \text{ m}^2$) zu einem zu hohen Haushaltsstrombedarf.

Mit dem Bezug auf die beheizte Wohnfläche ergibt sich für den HH-Strom, mit pauschal 20 kWh/m²a, ein spezifischer Endenergiebedarf von 15,2 kWh/m²a (gem. Planungsstand 29.02.2012). Diese Methodik liegt auch der abschließenden Bilanz (gem. DIN V 18599) zugrunde (siehe hierzu Kap.4.6.2, Plusenergiebilanz).

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Annahmen gemäß PHPP realistischere Aussagen hervorbringen. Die Bilanzierungsmethoden differieren vor allem in den Größen des Heizwärme- und Haushaltsstrombedarfs. Die Bilanz nach DIN V 18599 ist für den Effizienzhaus-Plus- und den gesetzlichen Nachweis notwendig durchzuführen. Die detaillierte Bilanz mit dem PHPP-Tool ermöglicht zusätzlich Optimierungspotenziale für den Heizwärme- und Haushaltsstrombedarf in der Planung zu ermitteln.

4.1.1. Bilanzierung - Standort

Die Bilanzierung eines Effizienzhaus-Plus soll nach DIN V 18599 mit der Randbedingung eines mittleren deutschen Klimas (Würzburg) durchgeführt werden. Damit sind zwei Bilanzen für PV-Ertragsbestimmung von Relevanz:

1. Die Nachweisführung des Effizienzhaus-Plus mit fiktivem Bezugsort Würzburg.
2. Die tatsächliche Bilanzierung des Ertrags für Auslegung eines Speichers, E-Mobilität etc. mit realem Bezugsort Frankfurt am Main.



Standortbezug vs. Referenzstandort

Da die Globalstrahlungen stark variieren kann (s. Abb. 15 und Abb. 16, Würzburg hat eine höhere Globalstrahlung als Frankfurt), sollte anstelle eines einheitlichen, jedoch theoretischen Standorts der reale Standort mit seinen Potenzialen für eine aktive und passive Nutzung der Sonneneinstrahlung Grundlage der Bilanzierung sein.

Im Demonstrativ-Bauvorhaben wurde ein Antrag für Fördergelder im Programm „Modellprojekte im Effizienzhaus-Plus-Standard“ gestellt und zur Vergleichbarkeit das von den Richtlinien verbindlich vorgeschriebene Bezugsklima Würzburg gewählt. Zur realen Auslegung wurde jedoch immer eine Vergleichsbilanz am realen Standort erstellt, um eine realistische Plus-Energie-Bilanz im Neubau zu erreichen. Entsprechend ist auch für die Speicherauslegung der Bezug zum realen Standort zu berücksichtigen.

	Mittleres, deutsches Klima [kWh/m ² a]	Standortklima [kWh/m ² a]
Nord	427	412
Ost	663	652
Süd	825	801
West	676	649
Horizontal	1074	1046
Gesamt	3.665	3.560

Abb. 13 Globalstrahlung, links: Standardklima, rechts: Standort Frankfurt

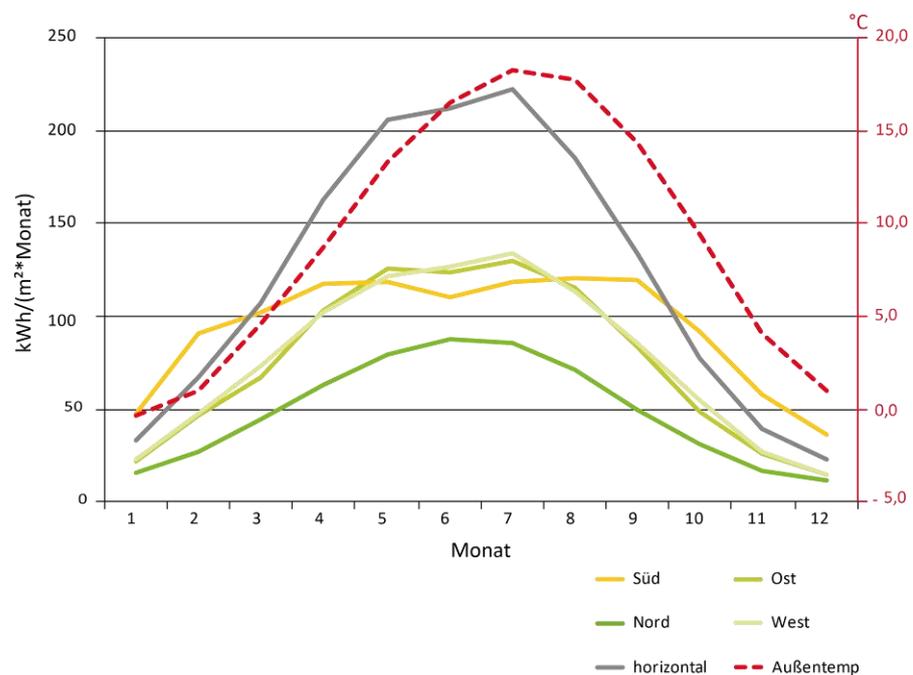


Abb. 14 Monatliche Globalstrahlung, Standardklima, Quelle: PHPP, überarbeitet durch FGee, TU Darmstadt

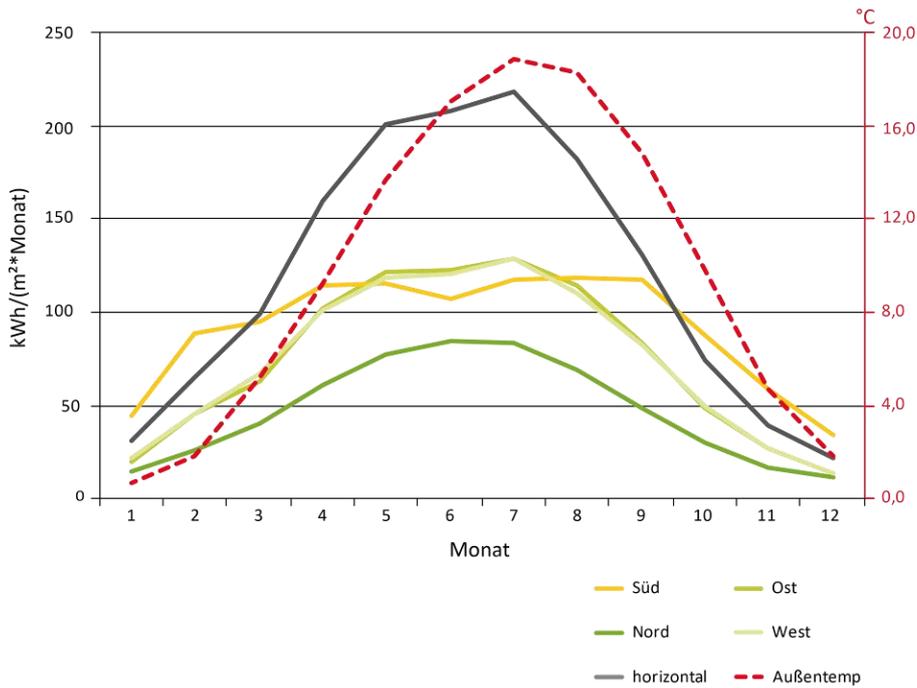


Abb. 15 Monatliche Globalstrahlung Frankfurt (Standort Aktiv-Stadthaus), Quelle: PHPP, überarbeitet durch FGee, TU Darmstadt

Bei der Bilanz des Aktiv-Stadthauses ergibt sich ein durch die höhere Globalstrahlung in Würzburg um mehr als 6 % überhöhter Wert für den PV-Stromertrag. Daher könnte das Gebäude bilanztechnisch den Effizienzhaus-Plus-Standard einhalten, obwohl es am realen Standort eine negative Bilanz besäße.

Variantenvergleich PV auf Dachflächen an verschiedenen Standorten

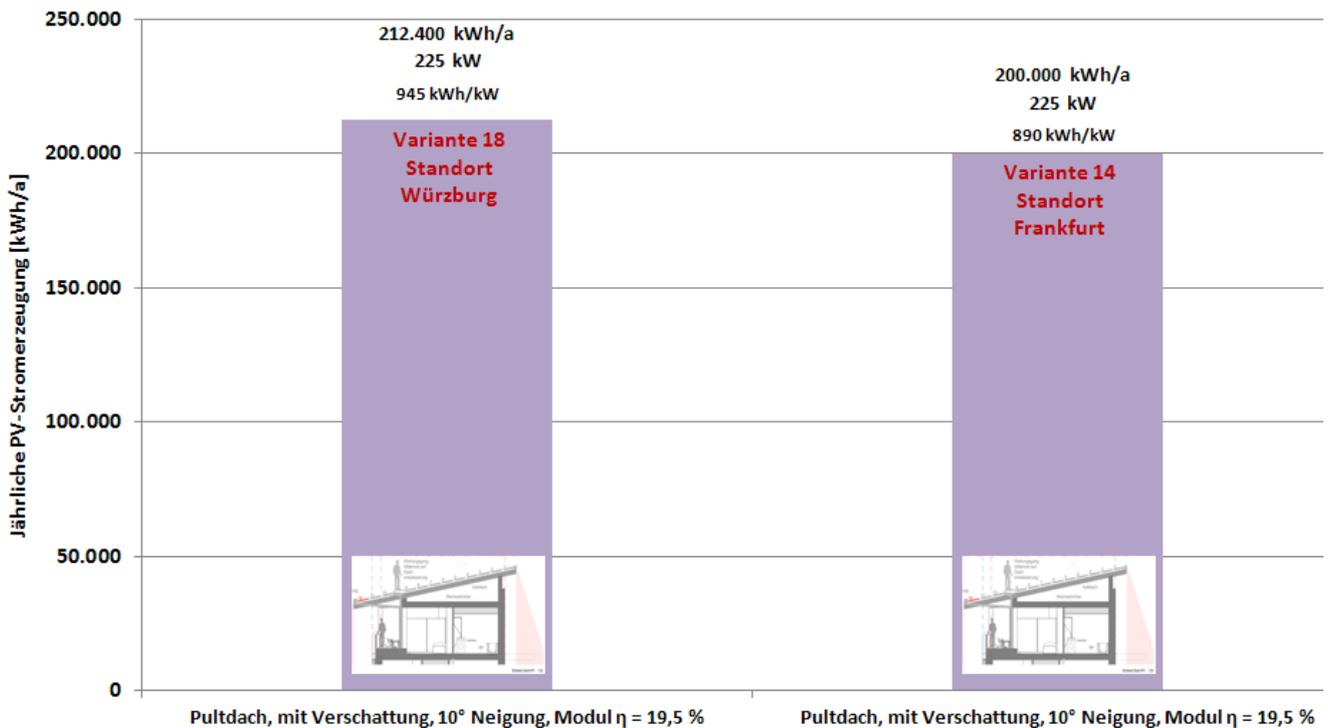


Abb. 16 Monatliche Globalstrahlung Frankfurt (Standort Aktiv-Stadthaus), Quelle: STZ, Stand 16.04.2012

4.1.2. Bilanzierung – Messtechnik

Für die Gebäudeautomation, das Nutzerinterface (siehe Kapitel 4.11) und das Monitoring benötigt das Aktiv-Stadthaus Messtechnik, deren Stromverbrauch nicht in der Bilanz gem. Effizienzhaus-Plus berücksichtigt wird. Bei kleineren Plus-Energie-Häusern wäre der Stromverbrauch für diese Messtechnik eine nicht zu vernachlässigende Größe.

Für die Messtechnik des Aktiv-Stadthauses (Zähler und zentraler Server) wurde ein Strombedarf von ~500 kWh/a ermittelt. In Bezug auf den Gesamtstrombedarf des Aktiv-Stadthauses macht die Messtechnik hier nur 0,15 % des Bedarfs aus und ist damit äußerst gering. Der Strombedarf der Messtechnik wird hauptsächlich durch den zentralen Server bestimmt. Die Zähler besitzen eine Leistungsaufnahme von < 1 kW und spielen daher eine untergeordnete Rolle.

4.1.3. Bilanzierung – Aufzüge

Laut den Umweltindikatoren der „Ökobau.dat“⁷ machen alleine die Stand-by-Verbräuche eines Fahrstuhls 600 kWh/a aus. Zudem kommt ein Stromverbrauch pro Fahrt von ca. 0,013 Wh. Geht man davon aus, dass im Aktiv-Stadthaus vier Fahrstühle mit insgesamt ca. 73.000 Fahrten pro Jahr (200 Fahrten pro Tag) eingesetzt werden, käme ein Strombedarf von 6.200 kWh/a zusätzlich zum Strombedarf hinzu. Dieser wurde in der Bilanz nicht mit einbezogen, sollten aber gerade bei MFH dieser Größe nicht in Vergessenheit geraten. Auf den spezifischen Bedarf bezogen, kämen jedoch nur 0,7 kWh/m²a hinzu. Bei einer Bilanzierung nach EnEV wird dieser Bedarf vernachlässigt.

4.1.4. Bilanzierung – Zonierung

Im Erdgeschoss des Aktiv-Stadthauses sind Gewerbenutzungen wie Ladenflächen untergebracht. Diese wurden zur beheizten Wohnfläche hinzugezählt und pauschal wie eine Wohnnutzung im Bedarf bilanziert (Strom-/Warmwasserbedarf).

4.2. Der Planungsprozess

4.2.1. Erste Plus-Energie-Bilanz, Planungsstand 10.01.12

In einer ersten überschlägigen Bilanz auf der Basis des Planungsstandes vom 10.01.2012 mit einer Nur-Strom-Konzeption (Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsondennutzung) konnte der Plus-Energie-Standard aufgrund des hohen Energiebedarfs sowie dem im Verhältnis dazu geringen PV-Ertrag (Nutzung der Dachfläche, PV mit Modulwirkungsgrad von 14 %; Fassade 5.-7. OG, mit Modulwirkungsgrad von 8 %), nicht nachgewiesen werden (s. Abb. 17). Aus dieser Ausgangslage heraus wird beschlossen, zum Einen eine detaillierte Bilanz nach PHPP zu erstellen und zum Anderen die Optimierungspotenziale zur Reduzierung des Energiebedarfs (s. 4.2.3 u. 4.2.4) sowie eine Optimierung des PV-Strom-Ertrags zu untersuchen (s. 4.3.2).

⁷ <http://www.nachhaltigesbauen.de/oekobaudat/index.php>

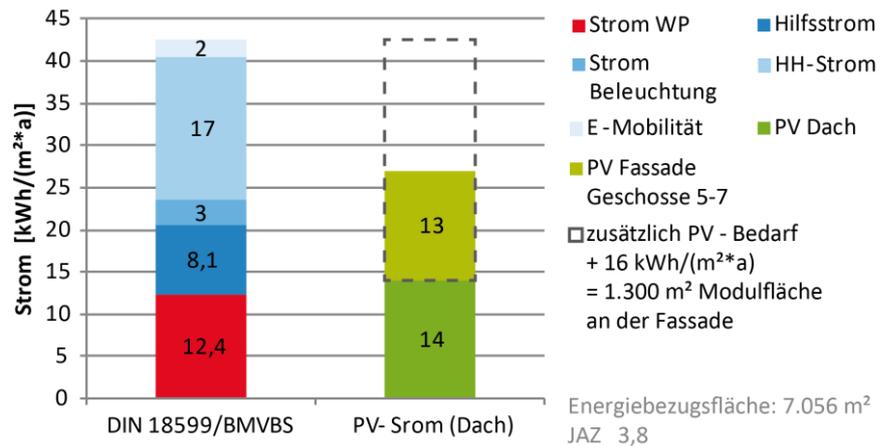
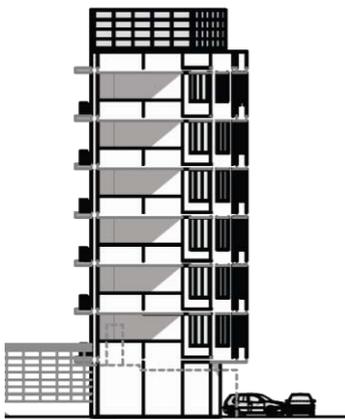


Abb. 17 (links) Gebäudeentwurf Stand: 10.01.12, Quelle: HHS Planer + Architekten AG; (rechts) Netto-Minus-Energie-Bilanz, Stand 10.01.2012, Quelle: STZ

4.2.2. Energiebedarfsanalyse, Planungsstand 29.02.12

Mit der Hilfe des PHPP kann eine detaillierte Energiebedarfsbilanz erstellt werden, die zum Planungsstand des 10.01.2012 einen Jahresheizwärmebedarf von 23 kWh/m² ergab. Das Gebäude überschreitet somit den vom Passivhausinstitut geforderten Heizwärmebedarf von 15 kWh/m²a.

Auf Basis dieser Bilanz wurde die Gebäudekubatur (Wegfall der Loggien zugunsten vorgestellter Balkone und ein durchgängiges Staffelgeschoss) optimiert und mit dem neuen Planungsstand vom 29.02.12 ein geringerer Heizwärmebedarf in Höhe von 20,9 kWh/m² erzielt. Für die Gebäudehülle wird bereits ein Dämmstandard angenommen, der dem Passivhausstandard entspricht und sinnvoll nicht weiter optimiert werden kann (s. Abb. 18).

Energiekennwert Heizwärme = **20,9 kWh/m²a** (gefordert: 15 kWh/m²a)

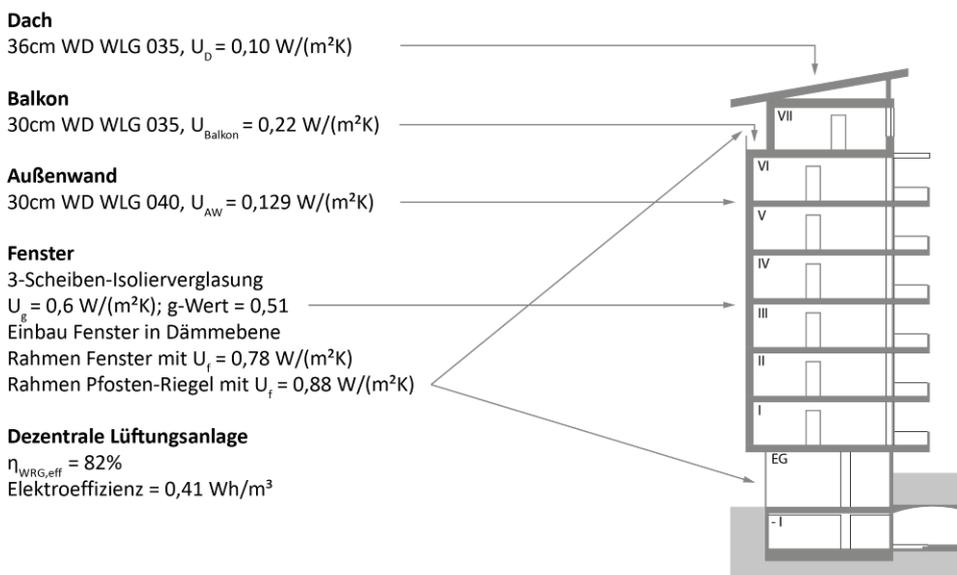


Abb. 18 Planungsstand 29.02.12, Randbedingungen des Heizwärmebedarfs, Ausbildung der Gebäudehülle; Quelle: STZ

Ein Vorteil des Plus-Energie-Hauses ist es, den Grenzwert des Heizwärmebedarfs des Passivhausstandards nicht unbedingt einhalten zu müssen. Im Falle des Aktiv-Stadthauses zeigt sich jedoch, dass die Möglichkeiten zur regenerativen Energieerzeugung in Form von solaraktiven Flächen vergleichsweise gering sind und ein Plus-Energie-Standard nur erzielt werden kann, wenn der Energiebedarf weitgehend gesenkt wird. Um dies zu erreichen wurden weitere Optimierungspotentiale zur weiteren Senkung des Energiebedarfs von Heizwärme und Strom analysiert und quantifiziert.

4.2.3. Optimierungspotentiale des Wärmebedarfs

Die weitere Optimierung des Jahresheizwärmebedarfs ist durch entwurfliche und konstruktive Maßnahmen, wie auch den Einsatz optimierter Technologien zu erzielen. Hierbei wurden insgesamt 10 Optimierungsmaßnahmen auf ihre Durchführbarkeit und ihren Einfluss untersucht. Da sich die Untersuchungsparameter im Laufe des Planungsprozess verändert haben, wurde der Rückschluss zum Abschluss des Forschungsvorhabens ergänzt:

1) Optimierung der Außenwand

In der ersten Bilanz mit dem PHPP wird das Gebäude zunächst mit einer massiven Wand mit einem konventionellen Wärmedämmverbundsystem ($U=0,129 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\lambda=0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$) gerechnet. Für die Fassaden-Photovoltaik ist eine Unterkonstruktion notwendig, daher wurde darauf eine konventionelle vorgehängte, hinterlüftete Fassade (Aluminium-Unterkonstruktion) in der Nordost-, der Südost- und der Südwest-Fassade bilanziert und mit einem gängigen ΔU von $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ betrachtet. Dabei stellt sich heraus, dass sich der Heizwärmebedarf gegenüber einem WDVS um $1,28 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ verschlechtert. Dies zeigt, dass die Wahl eines vorgehängten, hinterlüfteten Systems über den Wärmebrückenzuschlag der Unterkonstruktion bei diesen Gebäudevolumen einen sehr großen Einfluss auf die Energiebilanz hat. Der Einsatz einer Holzunterkonstruktion ($\Delta Q_H=0,33 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) wurde vergleichend untersucht, ihr Einsatz jedoch ausgeschlossen, da dies brandschutztechnisch nicht realisierbar ist.

Der Einsatz eines verbesserten WDVS ($\lambda=0,035 \text{ W/m}^2\text{K}$) könnte zwar den Heizwärmebedarf um $0,78 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ reduzieren, da keine Wärmebrücken durch Unterkonstruktionen entstehen würden. Dies kann für das Demonstrativbauvorhaben aber aus den folgenden Gründen ausgeschlossen werden: Ökobilanz (Recyclbarkeit) und eine notwendige Unterkonstruktion für die aktiven, solaren Systeme.

Optimierung der Außenwand

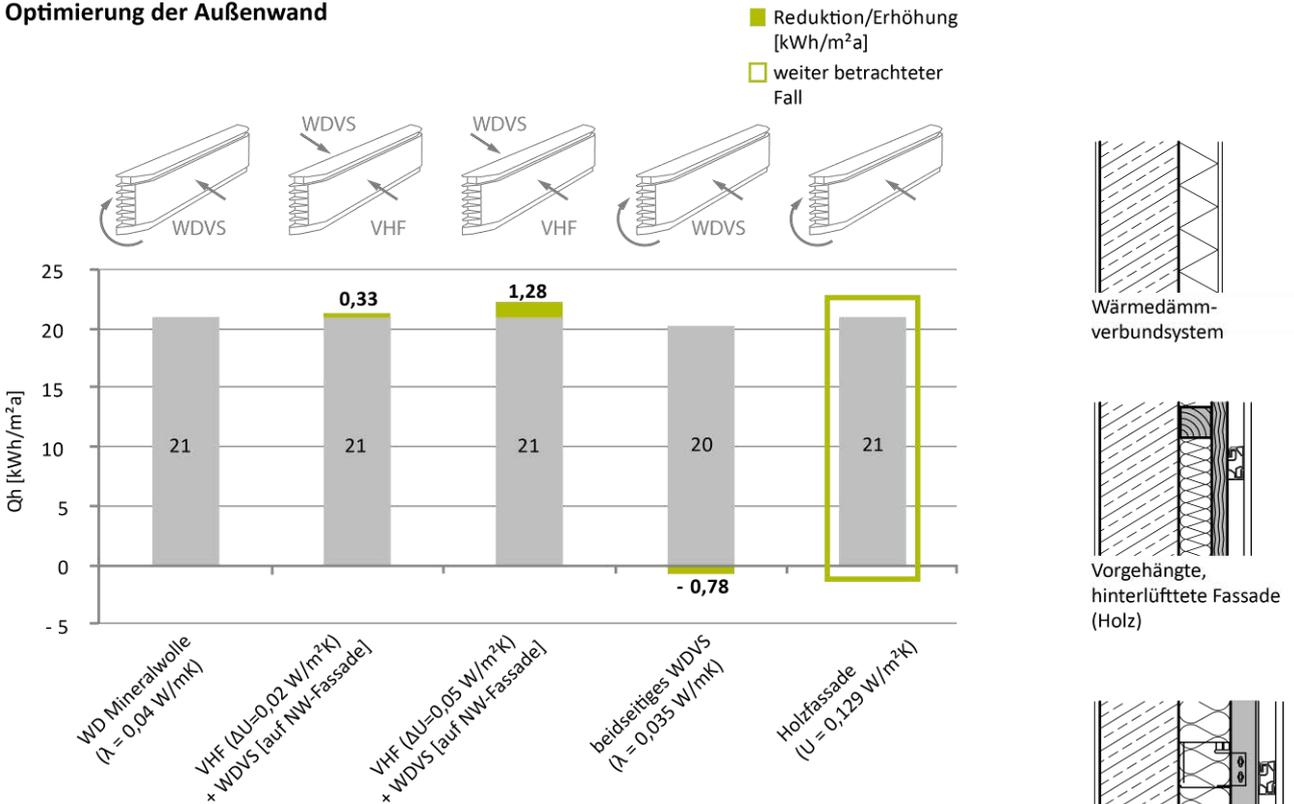


Abb. 19 Untersuchte Wandaufbauten des Aktiv-Stadthauses Rückschluss, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Planungsstand zum Projektabschluss (30.11.2012):

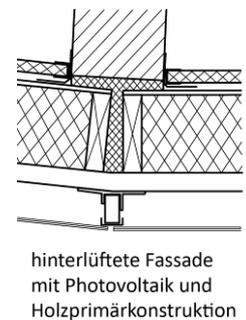
Für die weitere Untersuchung des damaligen Planungsstandes (29.02.2012) wurde davon ausgegangen, dass die Wahl auf eine vorgehängte, hinterlüftete Fassade mit einer konventionellen Aluminium-Unterkonstruktion fallen würde.

Nach langer bauphysikalischer Prüfung durch die erhöhten Schall- (> 56 dB)- und Brandschutzanforderungen (A – nicht brennbar) am Standort wird nach aktuellem Stand (19.10.2012) an allen Fassadenseiten eine Holzelementfassade mit einem U-Wert von 0,129 W/m²K eingesetzt. Damit kann der Heizwärmebedarf unter Berücksichtigung der Gegebenheiten (Ökobilanz und PV) weiter optimiert werden ($\Delta Q_H = \pm 0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$).

Dies wurde unter anderem durch ein statisches System in Schottenbauweise ermöglicht. Durch vertikal zur Fassade angeordnete tragende Wände (Stahlbeton + KS-Mauerwerk) konnte in Zusammenhang mit tragenden Stützen auf eine tragende Fassade verzichtet werden. Die Zwischensparrendämmung verringerte zudem den Wandaufbau, was einer Wohnflächenmaximierung zu Gute kommt. Diese Lösung kann somit nicht nur in Bezug auf die Ökobilanz (s. 7.1) als sehr nachhaltige bezeichnet werden.

2) Oberflächenmaximierung durch Loggien

Architektonisch wird sich während der Planung wieder für 17 neue Loggien und damit ca. 290 m² mehr an Hüllfläche entschieden. Diese gliedern die SSO-Fassade und schaffen zusätzliche Aufenthaltsqualität für die Wohneinheiten. Allerdings hatte diese Entscheidung durch die damit verbundene Oberflächenmaximierung einen zusätzlichen Heizwärmebedarf von 0,97 kWh/m² zur Folge.



Oberflächenmaximierung

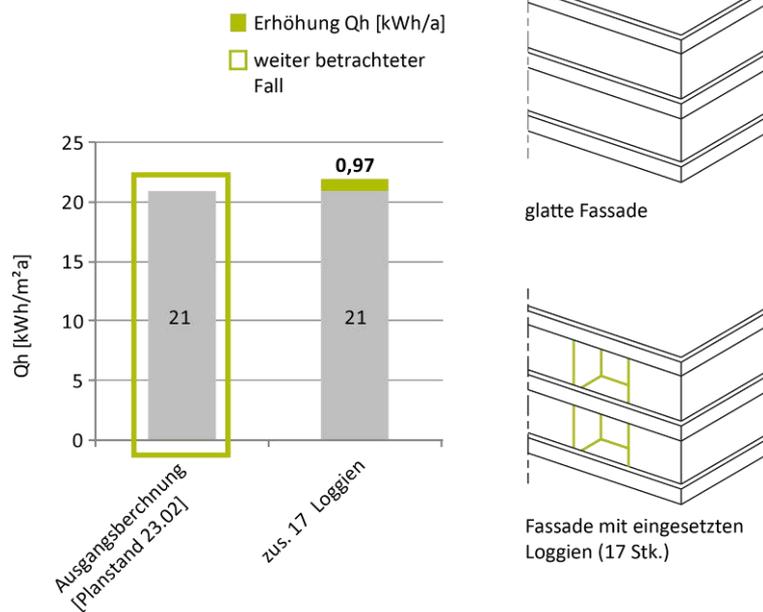


Abb. 20 Oberflächenmaximierung durch 17 weitere Loggien, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Planungsstand zum Projektabschluss (30.11.2012):

Zum Zeitpunkt des Projektabschlusses sind keine weiteren Änderungen und Rückschlüsse bekannt.

3) Wichtige Detailausbildung der Balkondecke (Staffelgeschoss)

Durch das Staffelgeschoss im 7. OG des Gebäudes entsteht ein schwieriger Anschlusspunkt im Gebäude, der bei der Detailplanung besonders zu beachten ist. Hierbei wurde lediglich die Dämmstärke der Balkondecke überprüft, die nur einen sehr geringen Einfluss auf den Heizwärmebedarf (0,30 kWh/m²a) hat. Der Einfluss der Wärmebrücke auf eine Länge von über 100 m ist allerdings massiv und sollte daher mit besonders hoher Präzision geplant und ausgeführt werden.

Planungsstand zum Projektabschluss (30.11.2012):

Diese Wärmebrücke wurde bisher noch nicht berechnet und in der Bilanz berücksichtigt. Daher kann der genaue Einfluss noch nicht angegeben werden.

Optimierung Balkondecke (Staffelgeschoss)

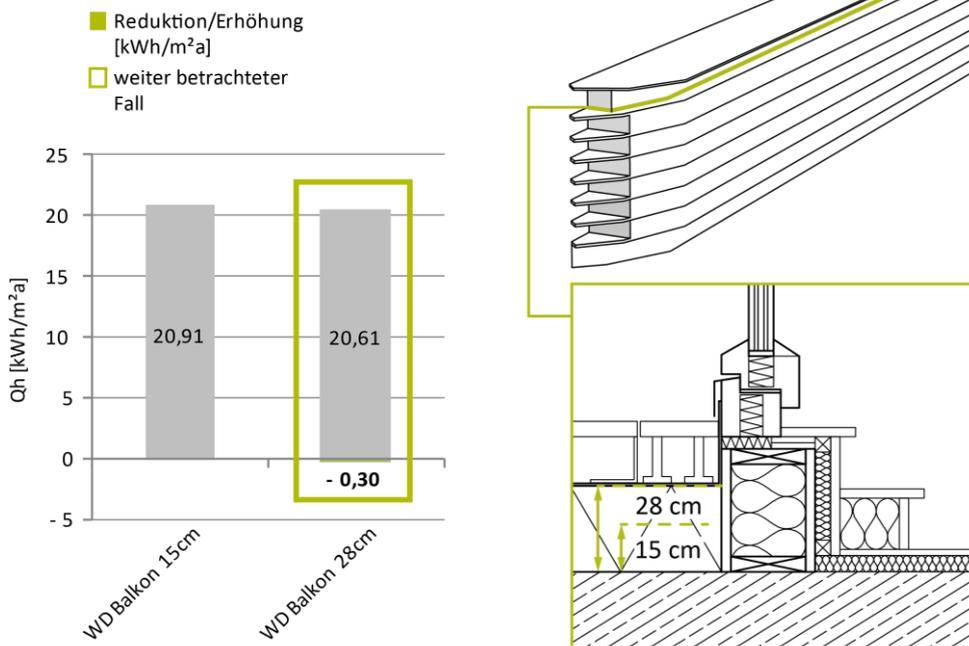


Abb. 21 Detailvorschlag für den Balkonanschluss des Staffelgeschosses, Quelle: FGee, TU Darmstadt

4) Fensterflächenanteile Hauptfassaden

Untersucht wird der Einfluss der Fensterflächenanteile auf ein Optimierungspotenzial des Heizwärmebedarfs. Ursprünglicher Planungsstand war ein Fensterflächenanteil von 60 % in der Südsüdostfassade und 50 % in der Nordnordwestfassade. Bei einer jeweiligen Reduktion um 20 % führt dies zu einer Optimierung des Heizwärmebedarfs um 2,1 kWh/m²a.

Zusätzlich wird untersucht, was passiert, wenn man stattdessen den Fensterflächenanteil an der Südsüdostfassade um 20 % erhöht, da gerade in den Anforderungen zum Effizienzhaus-Plus eine Maximierung des Fensterflächenanteils zur Südseite empfohlen wird. Der Heizwärmebedarf würde in diesem Fall lediglich um 0,53 kWh/m²a reduziert.

Dies zeigt, dass der Fensterflächenanteil ein wichtiger Planungsfaktor ist, um den Energiebedarf eines Gebäudes zu reduzieren, aber auch, dass es abhängig vom Standort bezüglich einer Maximierung nach Süden einen Grenzwert der Optimierung gibt.

Planungsstand zum Projektabschluss (30.11.2012):

Aus architektonischen Gründen und aus Gründen der Optimierung der Photovoltaikfläche wird zum Projektabschluss der Fensterflächenanteil der Südsüdostfassade auf 62 % und der Fensterflächenanteil der Nordwestfassade auf 38 % festgesetzt. Dies maximiert die Ausblickmöglichkeiten sowie die Tageslichtzufuhr. Es reduziert den Heizwärmebedarf lediglich um 0,56 kWh/m²a.

Optimierung Fensteranteil

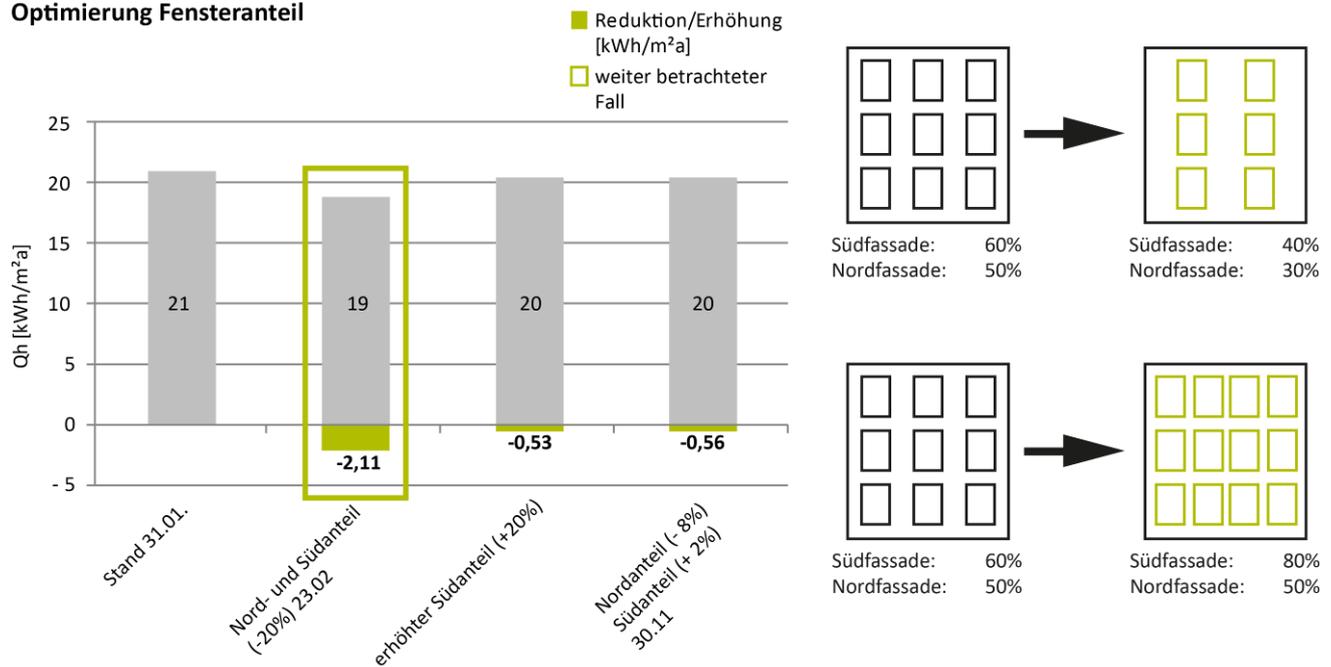


Abb. 22 Optimierung Fensterflächenanteile, Quelle: FGee, TU Darmstadt

5) Bauteil Fenster

Bei der Untersuchung des Heizwärme-Optimierungspotenzials wird klar, dass nicht nur der Fensterflächenanteil, sondern auch die Ausführung des Bauteils selber einen hohen Einfluss auf den Energiebedarf hat. Eine Dreifachverglasung ist mittlerweile Standard und wurde daher bereits von Anfang an mit bilanziert. Im Fall des Aktiv-Stadthauses kann durch die Wahl einer verbesserten Verglasung ($g=0,55$, ohne Kryptonfüllung, weiterhin Argon) und eines optimierten Rahmens (geringe Ansichtsbreite, besserer U_F -Wert) und nicht zuletzt durch einen optimierten Einbau (Einbauwärmebrücke = $0,025 \text{ W/mK}$) $3,63 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ an Heizwärmebedarf eingespart werden. Das Ziel ist hier die Optimierung der passiven, solaren Wärmegewinne über maximierte Glasanteile (schlanke Rahmenansichtsbreiten) und einen erhöhten Energiedurchlassgrad der Verglasung (g -Wert).

Planungsstand zum Projektabschluss (30.11.2012):

Durch die erhöhten Schallschutzanforderungen ($> 36 \text{ dB}$) am Standort ist eine Durchführung dieser Optimierungsmaßnahmen am gegebenen Standort nicht möglich. Die hohen Schallschutzanforderungen erfordern zwingend einen wärmetechnisch schlechteren Rahmen ($U_F=0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$), eine Verglasung mit einem schlechteren g -Wert ($0,44$) und eine Krypton-Füllung in der Dreifachverglasung ($U_g=0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$), die ökologisch unter anderen Anforderungen weniger zu empfehlen wäre. Die Einbausituation ist zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht genau geklärt. Daher wird hier die pauschale Einbauwärmebrücke von $0,04$ angesetzt. Der Heizwärmebedarf kann dennoch gegenüber der „Standard-Variante“ um immerhin $1,63 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ reduziert werden.

Optimierung Fensteranteil

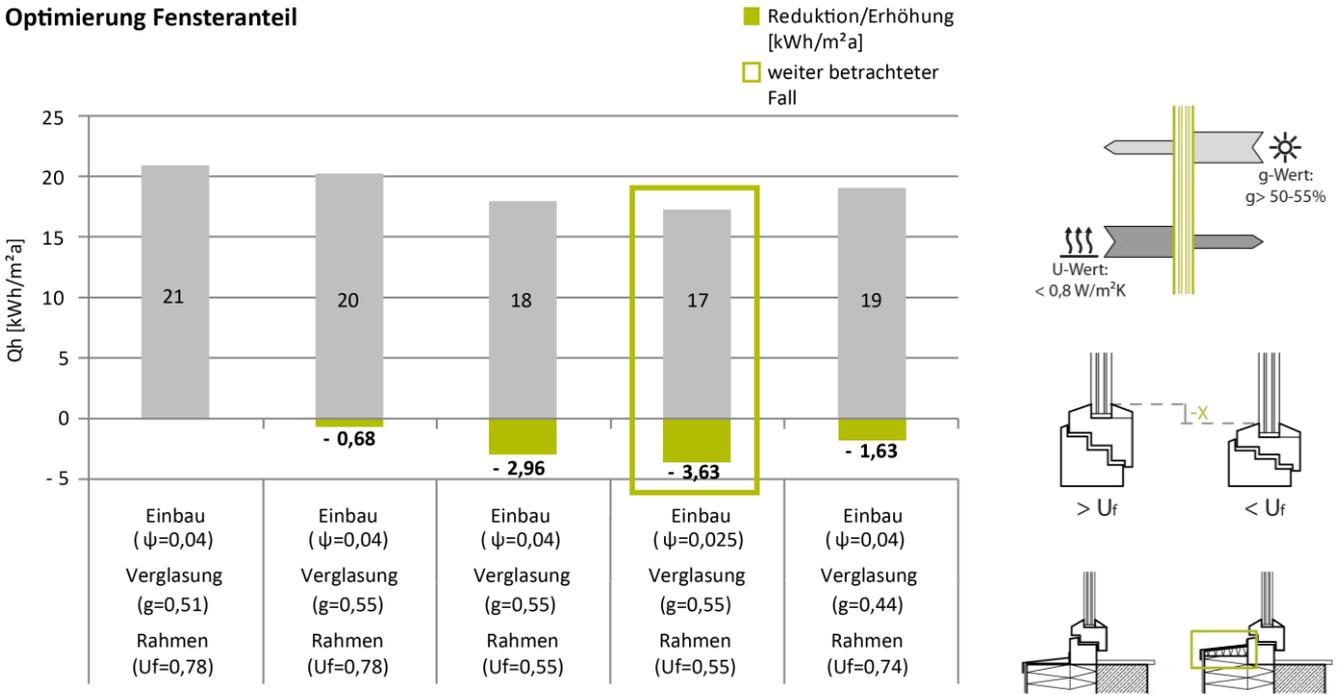


Abb. 23 Optimierung des Fensterbauteils, 1) Verglasung, 2) Rahmen 3) Einbauwärmebrücke, Quelle: FGee, TU Darmstadt

6) Fensterlage in der Leibung

Bei einer optimalen Fensterlage in der Leibung der Außenwand im Massivbau kann durch einen minimalen wirtschaftlichen Aufwand der Heizwärmebedarf um 0,6 kWh/m²a verbessert werden. Die Fensterlage hat gerade bei größeren Gebäuden durch die jeweilige Leibungsverschattung einen hohen Einfluss auf die solaren Wärmegewinne.

Optimierung Fensterlage

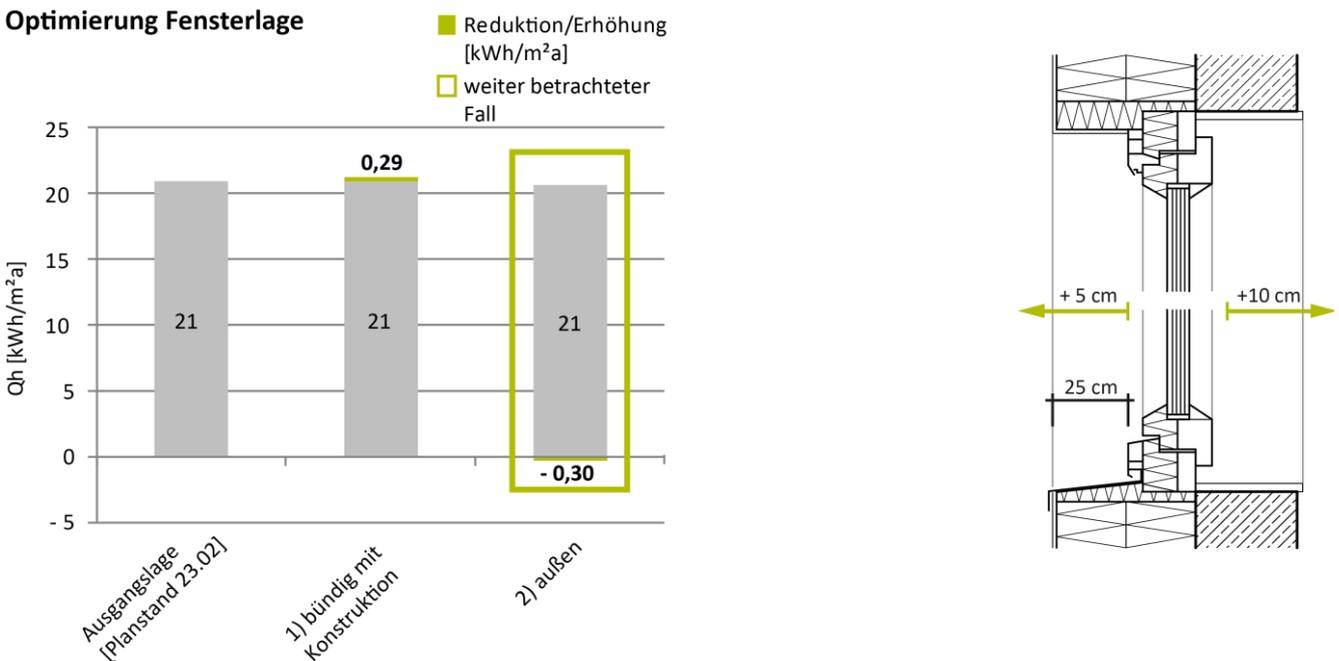


Abb. 24 Einbausituationen Quelle: FGee, TU Darmstadt

Planungsstand zum Projektabschluss (30.11.2012):

Da zum Projektende feststeht, dass die Außenwände im Demonstrativ-Bauvorhaben im Holzrahmenbau ausgeführt werden, ist die optimale Lage aufgrund der Leibungsverschattung in der Dämmebene im vorderen Drittel anzusetzen. Daher wird davon ausgegangen, dass das Optimierungspotenzial hier ähnlich (-0,3 kWh/m²a) ausfallen wird.

7) Luftdichtheit

Eine Recherche von Gebäuden zwischen 2.000 und 4.000 m² Energiebezugsfläche nach PHPP ergab, dass diese Gebäude im Durchschnitt eine Luftdichtheit von $n_{50} \leq 0,42$ 1/h einhalten. Gebäude mit einer EBF von > 10.000 m² erreichen durchschnittlich $n_{50} \leq 0,26$ 1/h. Diese Werte zeigen, dass eine bessere Luftdichtheit als im Neubau bei einem Passivhaus gefordert ($n_{50} \leq 0,6$ 1/h) durchaus realistisch ist. Eine Optimierung des Heizwärmebedarfs um 0,94 kWh/m²a ist somit anzustreben und durch eine konsequente Planung und Qualitätssicherung am Bau zu überprüfen.

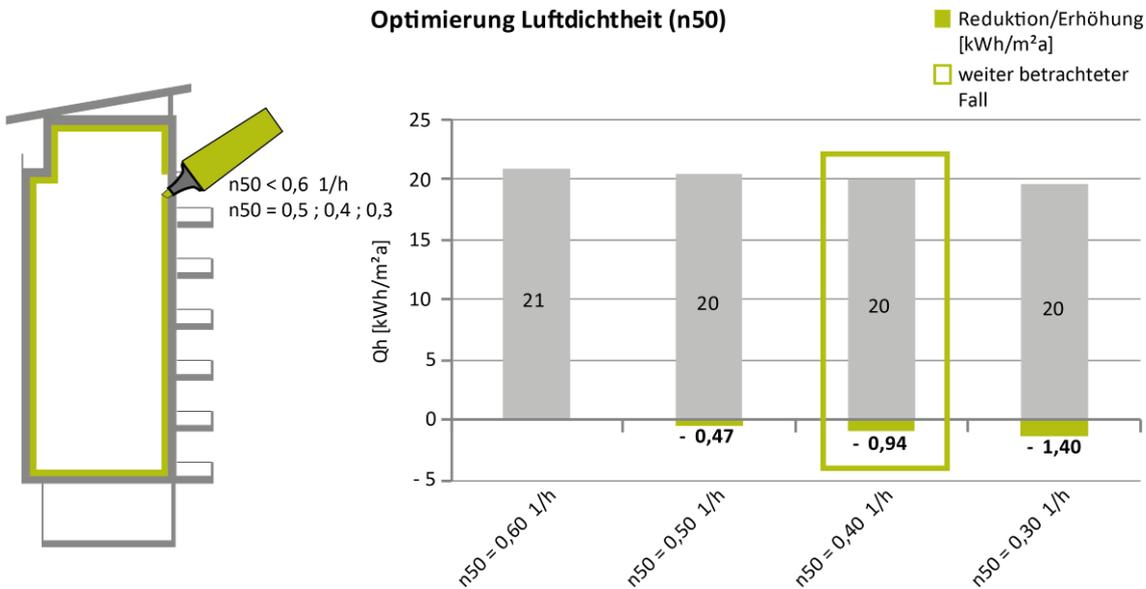


Abb. 25 Durchgehende luftdicht Gebäudehülle, Untersuchung unterschiedlicher Luftdichtheitswerte, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Planungsstand zum Projektabschluss (30.11.2012):

Da der Bau zum Abschluss des Forschungsberichts nicht begonnen und somit noch kein Differenzdrucktest durchgeführt werden konnte, kann für das Demonstrativ-Bauvorhaben noch kein Rückschluss gezogen werden.

8) Wärmebrückenfreies Konstruieren

Nach EnEV 2009 kann entweder ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag $\Delta U = 0,10$ W/m²K oder $\Delta U = 0,05$ W/m²K mit Nachweis der Ausführung nach DIN 4108-2 angesetzt werden. Für ein Gebäude nach Passivhaus-Bauweise sind diese pauschalen Ansätze bilanziell kaum durch andere Maßnahmen auszugleichen.

Optimierung Detailplanung (ΔU)

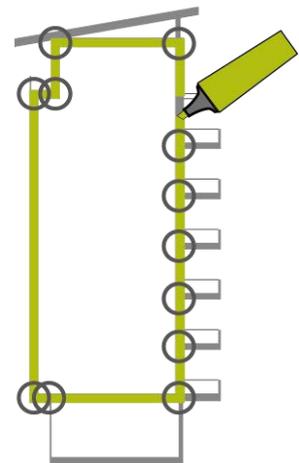
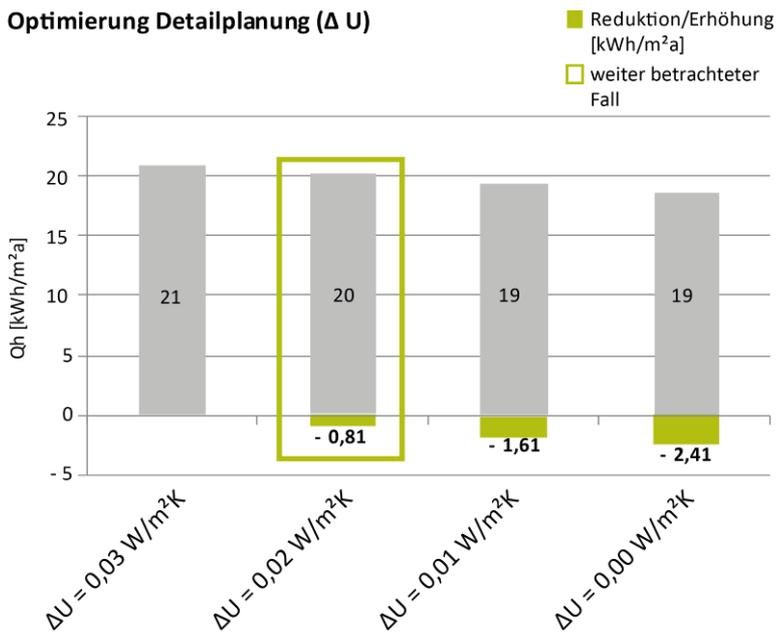


Abb. 26 Untersuchung unterschiedlich optimierter Detailplanungen bzgl. Wärmebrückenfreiheit, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Nach Angaben des Passivhaus-Instituts in Darmstadt wurde bei einem großen Mehrfamilienhaus mit nicht optimaler Ausführung (Isokörbe, Kompaktheit) ein Wärmebrückenzuschlag von $\Delta U=0,018$ W/m²K aus einer detaillierten Wärmebrückenberechnung berechnet. Eine theoretische Optimierung bis zu einem komplett wärmebrückenfreien Gebäude ($\Delta U=0,000$ W/m²K) wäre generell denkbar, ist aber bei einem Gebäude dieser Größe mit erhöhten statischen und schallschutztechnischen Anforderungen eher unrealistisch.

Planungsstand zum Projektabschluss (30.11.2012):

Der Einfluss der Detailplanung und Qualitätssicherung in der Ausführung ist hoch (Einsparungspotenzial $Q_H=-0,81$ kWh/m²a). Da zum Abschluss des Forschungsprojekts noch keine detaillierte Wärmebrückenberechnung vorlag, ist eine weitere Reduktion zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich.

9) Wahl des Lüftungsgeräts

Die Wahl von kontrollierten Lüftungsgeräten mit einem höheren Wärmerückgewinnungsgrad (92 %) hat einen hohen Einfluss auf den Heizwärmebedarf (-1,97 kWh/m²a). Der Einfluss auf den Platzbedarf und die Wirtschaftlichkeit (gerade bei einem dezentralen Lüftungskonzept) ist nicht zu unterschätzen.

Planungsstand zum Projektabschluss (30.11.2012):

Aus Platzgründen (Einbau im Schacht der Badezimmer) können Lüftungsgeräte mit dem besseren Wärmerückgewinnungsgrad im Aktiv-Stadthaus nicht eingebaut werden.

Optimierung Lüftungsgerät

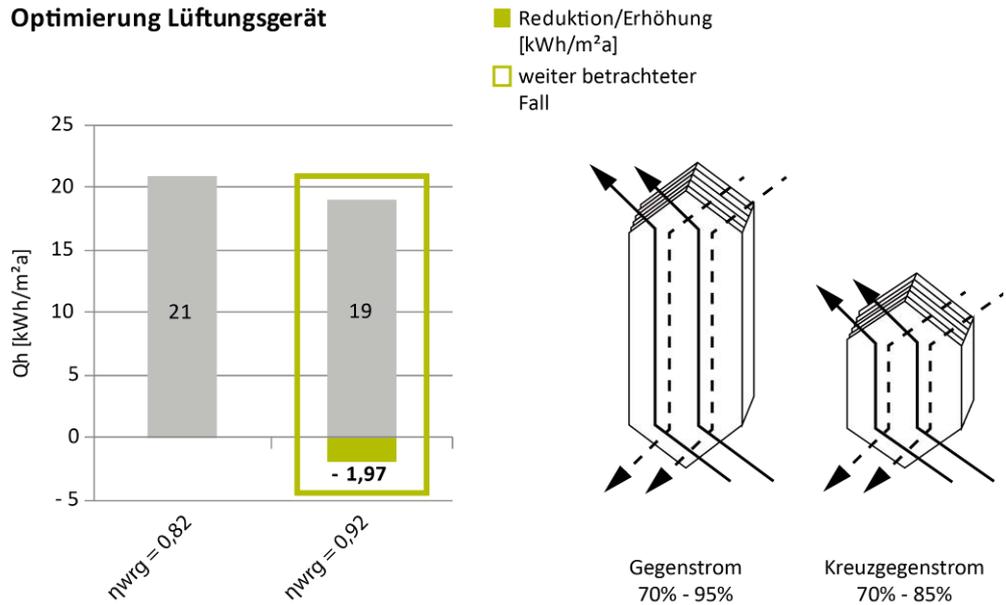


Abb. 27 Einfluss optimiertes Lüftungsgerät mit besserem Wärmerückgewinnungsgrad, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Fazit Optimierungsschritte Heizwärmebedarf:

Mit den betrachteten Maßnahmen ließe sich theoretisch eine Reduzierung des Heizwärmebedarfes um insgesamt 10,06 kWh/m²a in der PHPP-Bilanz erzielen. Nach aktuellem Planungsstand hat sich jedoch nur eine Reduktion von 1,82 kWh/m²a eingestellt.

Mögliche Optimierung Heizwärmebedarf

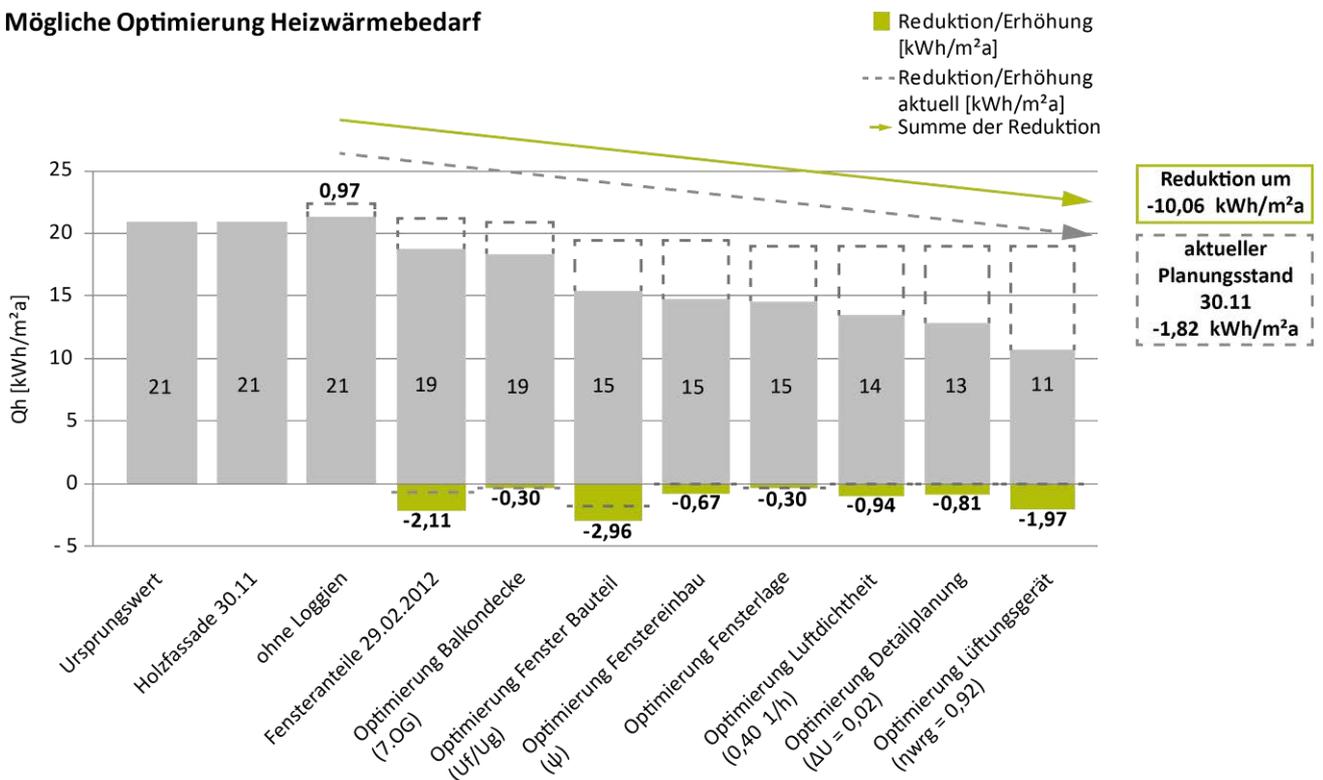


Abb. 28 Optimierung des Heizwärmebedarfs – Gesamtpotential; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Mit einem Anteil von 29 % ist die Optimierung des Fensterbauteils (schmalere/tiefere Rahmen, besserer g-Wert der Verglasung) eine der einflussreichsten Maßnahmen (siehe Abb. 29). Durch die erhöhten Schallschutzanforderungen (> 36 dB) ist eine Durchführung dieser Optimierungsmaßnahme am Standort leider nicht in vollem Umfang möglich.

Fast genauso viel Einfluss hätte die Wahl von besseren Lüftungsgeräten (besserer Wärmerückgewinnungsgrad – Einfluss 20 %). Aus Platzgründen (Einbau im Schacht der Badezimmer) können die Lüftungsgeräte mit dem besseren Wärmerückgewinnungsgrad jedoch nicht im Aktiv-Stadthaus eingebaut werden.

Alleine durch Planung realisierbare Maßnahmen (s. Abb. 29) haben zusammen einen Einfluss von 48 %. Hierzu gehören die Optimierung der Fensterflächenanteile (21 %), die Optimierung der Luftdichtheit (sinnvoll aufgrund der Projektgröße $n_{50} = 0,40$ 1/h) und das wärmebrückenfreie Konstruieren ($\Delta U = 0,018$ W/m²K).

Planungsstand zum Projektabschluss (30.11.2012):

Die hohen Anforderungen an den Schall- und Brandschutz (Fenster), Platzgründe (Lüftungsgerät) und die noch nicht vorhandene Fertigstellung lassen eine Umsetzung aller der Einsparungspotenziale im Demonstrativbauvorhaben nicht zu. Die Optimierung der Luftdichtheit und der Detailplanung besteht weiterhin (Potenzial in Summe von 1,75 kWh/m²a s. Abb. 28).

Mögliche Einsparung bei Kombination der Maßnahmen

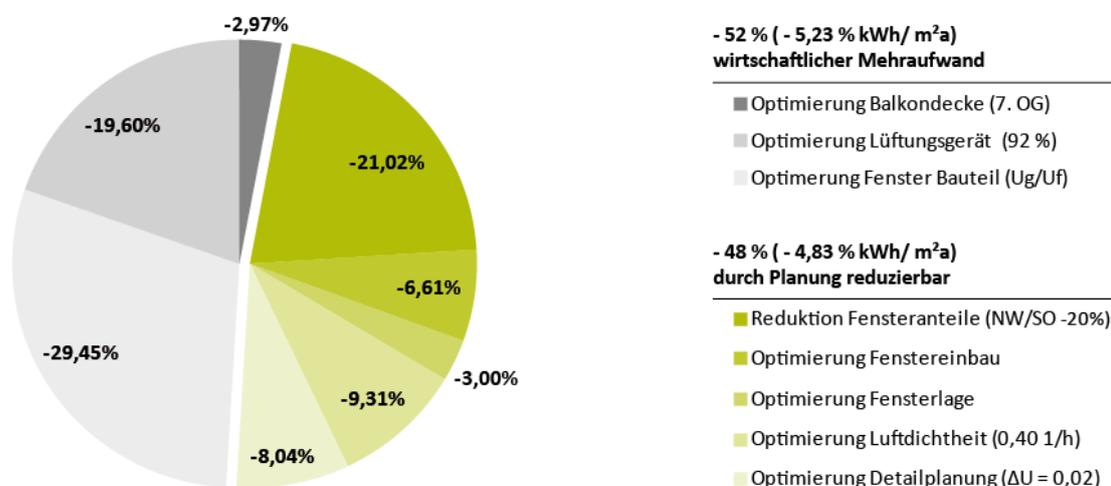


Abb. 29 Optimierung des Heizwärmebedarfs: Prozentuale Anteile der einzelnen Maßnahmen unter Zuweisung der Maßnahmen mit finanziellem Mehraufwand (grau) und durch die Planung beeinflussbare Reduktionsmöglichkeiten (grün); Quelle: FGee, TU Darmstadt

Einfluss des Heizenergiebedarfs – Plus-Energie-Bilanz

Das Optimierungspotenzial des Jahresheizwärmebedarfs von 10,06 kWh/m²a muss bei einem Nur-Strom-Konzept im Verhältnis zum Gesamtenergiebedarf betrachtet werden. Durch den Einsatz einer Wärmepumpe wird nur ein Teil des Wärmebedarfs über Strom gedeckt. Der Hauptanteil wird über die Umweltwärme „bilanzfrei“ bereitgestellt. Die Effizienz der Wärmepumpe ist abhängig von der Jahresarbeitszahl (JAZ=2,1).

Der Endenergiebedarf für Heizwärme und Trinkwarmwasser mit Wärmepumpe ohne Optimierungsmaßnahmen beträgt nach PHPP 17,54 kWh/m²a. Bei Beachtung der Optimierungsmaßnahmen wird dieser um -4,79 kWh/m²a auf 12,57 kWh/m²a

gesenkt. Somit wird der Endenergiebedarf durch die Wärmepumpe um den Faktor der JAZ reduziert und das Maß des Optimierungspotenzials (Nutzwärme) sinkt.

 Einfluss des Heizenergiebedarfs auf die Plus-Energie-Bilanz	
<u>bei einem Nur-Strom-Konzept:</u>	
Q_H (ohne Optimierung):	20,91 kWh/m ² a
Q_H (<u>mit</u> Optimierung):	10,85 kWh/m ² a
Q_{TWW} (mit und ohne Optimierung):	15,92 kWh/m ² a
Optimierungspotenzial (36,83 kWh/m ² a – 26,77 kWh/m ² a) =	
- 10,06 kWh/m²a	
Q_E für Wärmepumpe (ohne Optimierung):	17,54 kWh/m ² a (= $Q_H + Q_{TWW} / JAZ$)
Q_E für Wärmepumpe (<u>mit</u> Optimierung):	12,75 kWh/m ² a (= $Q_H + Q_{TWW} / JAZ$)
Optimierungspotenzial (17,54 kWh/m ² a – 12,75 kWh/m ² a) =	
- 4,79 kWh/m²a	

Die Reduktion des Netzstrombedarfs und die Ertragsoptimierung spielen bei einer Plus-Energie-Bilanz eines Nur-Strom-Konzepts somit eine wesentlich größere Rolle. Dennoch ist die Optimierung der Gebäudehülle nicht zu vernachlässigen, da diese auch eine Komfort- und Behaglichkeitssteigerung bewirkt. Zudem sind die bauphysikalischen Einflussfaktoren (Vermeidung von Tauwasserausfall, etc.) und der reale Lastgang (Stundenbilanz) nicht zu unterschätzen.

4.2.4. Optimierung des Strombedarfs

Erstmals wird bei Wohngebäuden beim Effizienzhaus-Plus-Standard zusätzlich zum Hilfsstrombedarf auch der Haushalts- und Beleuchtungsstrombedarf mit bilanziert. Vorgegeben wird hier eine „[...]Ergänzung zur Nachweisprozedur der EnEV die End- und Primärenergiebedarfswerte für die Wohnungsbeleuchtung und für die Haushaltsgeräte und -prozesse in der Berechnung zu berücksichtigen. Dabei ist ein pauschaler Wert von 20 kWh/m²a (davon Beleuchtung: 3 kWh/m²a; Haushaltsgeräte: 10 kWh/m²a; Kochen: 2 kWh/m²a; sonstiges: 5 kWh/m²a), jedoch maximal 2.500 kWh/a je Wohneinheit anzunehmen. [...]“⁸

Bei energetisch optimierten Gebäuden ist der Wärmebedarf durch den Ansatz eines Nur-Strom-Konzepts oft nicht mehr ausschlaggebend für das Erreichen einer Netto-Plus-Bilanz (Anteil Strombedarf für die Wärmepumpe zum weiteren Strombedarf gering). Einen großen Anteil am Gesamtenergiebedarf besitzt demgegenüber der Strombedarf für Beleuchtung und Haushaltsstrom. Im Gegensatz zum Heizwärmebedarf ist dieser nicht über bauliche Maßnahmen zu reduzieren. Die Optimierung des Strombedarfs bedingt u.a. den Einsatz effizienter Geräte und Beleuchtung, dessen Einfluss und Bilanzmöglichkeiten hier analysiert wurden.

Optimierung des Haushaltsstroms – Eine Frage der Bilanz

In den Anforderungen an den Effizienzhaus-Plus-Standard heißt es, dass „[...]Geräte mit höchstem Energieeffizienzlabel verwendet [...]“ werden sollten. Genauer wird es für die Förderung eines Gebäudes in diesem Standard vorausgesetzt: „[...]Das zu fördernde Haus ist durchgängig mit Geräten des höchsten Energieeffizienzlabels (in

⁸ BMVBS, Definition Effizienzhaus-Plus

der Regel Label A⁺⁺ oder besser nach der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung vom 30. Oktober 1997 [BGBI, I S.2617], zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 19. Februar 2004 [s. BGBI. I S. 311] – ENVKV-) und intelligente Zähler auszustatten.[...]“⁹

Optimierung Haushaltsstrombedarf

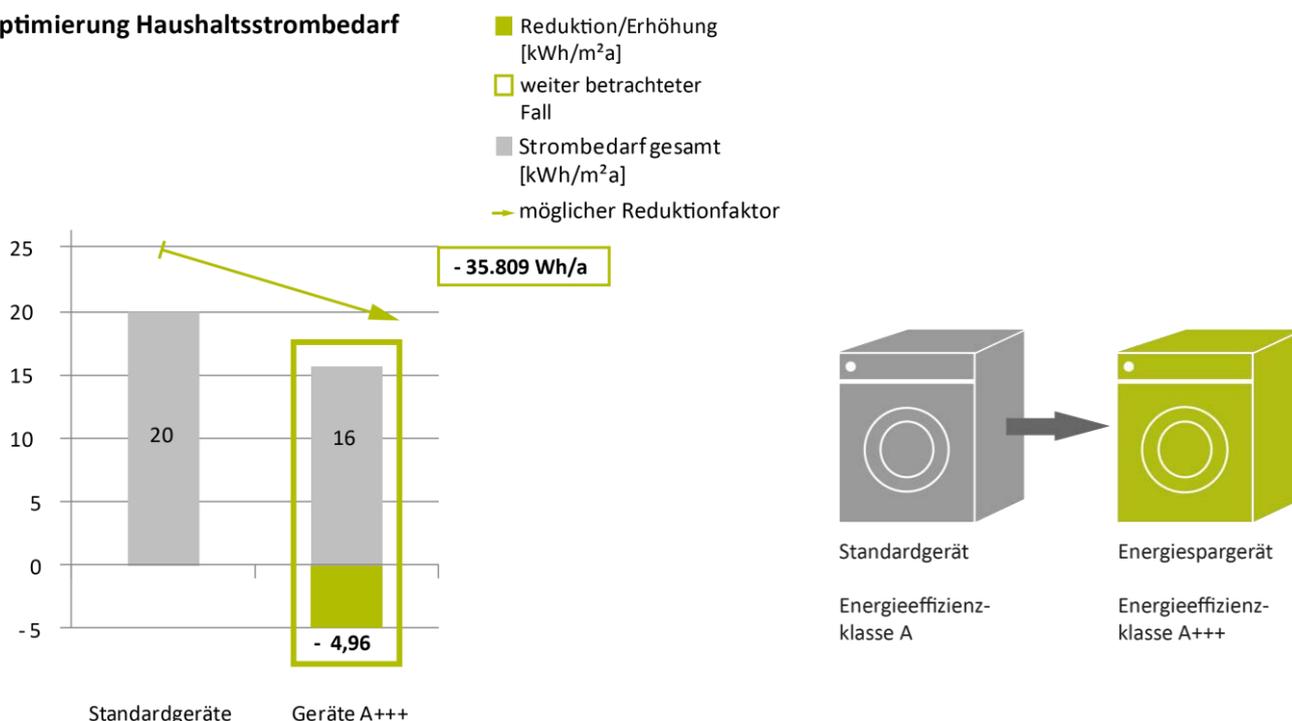


Abb. 30 Optimierungspotential des Strombedarfs über die Haushaltsgeräte; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Durch den Einsatz von A⁺⁺⁺-Geräten im Vergleich zu konventionellen A-Geräten (bzw. B-Geräten bei Wäschetrocknern) können in der PHPP-Bilanz bereits 5 kWh/m²a eingespart werden. Die ABG stellt in Aussicht für die Bewohner Einbauküchen mit A⁺⁺⁺-Geräten bereitzustellen, um so deren Einsatz auch gewährleisten zu können (s. Abb. 30). Der in der Grafik dargestellte Bedarf enthält nicht nur den Strombedarf für Haushaltsgeräte¹⁰, sondern auch für Beleuchtung und sonstigen Strom (Unterhaltungsmedien), nicht aber den Strombedarf für Hilfsstrom. Somit ist er mit der Pauschale des BMVBS vergleichbar. Der erreichbare Strombedarf von 16 kWh/m²a (ohne Optimierung der Leuchtmittel) zeigt, dass eine detaillierte Bilanz für den Plus-Energie-Standard empfohlen werden kann (s. Kapitel 4.1).

Der Einsatz von A⁺⁺⁺-Geräten besitzt einen hohen Einfluss auf die Strombilanz. Im Mietwohnungsbau kann dies z.B. durch die Bereitstellung der Geräte durch den Vermieter sichergestellt werden.

Die wirtschaftliche Überprüfung von A⁺⁺⁺-Geräten wurde auf Grundlage einer Studie der dena¹¹ zu energieeffizienten Geräten durchgeführt. Dieser Studie wurden die durchschnittliche Lebensdauer der Geräte und typische Strombedarfe zu den jeweiligen Effizienzlabels entnommen.

⁹ BMVBS, Definition Effizienzhaus-Plus

¹⁰ Kühlschrank, Spülmaschine, Herd, Backofen, Waschmaschine, Trockner

¹¹ www.stromeffizienz.de (3/2012)

Durchschnittlicher Bedarf [kWh/ a]	A+++	A++	A (B Trockner)
Kühl-/Gefrierkombination	150	230	345
Geschirrspüler (bei 3 Anw./Woche)	195	262	327
Herd (bei 1 Anw./Tag)	150	150	150
Waschmaschine (bei 3 Anw./Woche)	159	210	238
Wäschetrockner (bei 3 Anw./Woche)	147	234	538

Abb. 31 Durchschnittlicher Strombedarf pro Jahr - Haushaltsgeräte; Quelle: Datengrundlage: dena, überarbeitet durch: FGee, TU Darmstadt

Bei der Gesamtbetrachtung der Wirtschaftlichkeit aller Geräte (Waschmaschine, Wäschetrockner, Kühl-Gefrierkombination, Herd/Backofen und Spülmaschine) bei einer durchschnittlichen Lebensdauer der Geräte von 13,5 Jahren stellt sich eine wirtschaftliche Anschaffung von A⁺⁺⁺-Geräten vor allem gegenüber den vom Verbrauch ebenfalls noch zu empfehlenden A⁺⁺-Geräten heraus. Sie amortisieren sich im direkten Vergleich schon nach 5 Jahren (ggü. A-Geräten nach 9 Jahren). In der Gesamtkostenbetrachtung stellen sich die A⁺⁺⁺-Geräte am besten dar (s. Abb. 32). Als Hauptverbraucher und somit auch Optimierungspotenzial stellten sich der Kondensrockner und der Kühlschrank heraus.

Gesamtbetrachtung Haushaltsgeräte

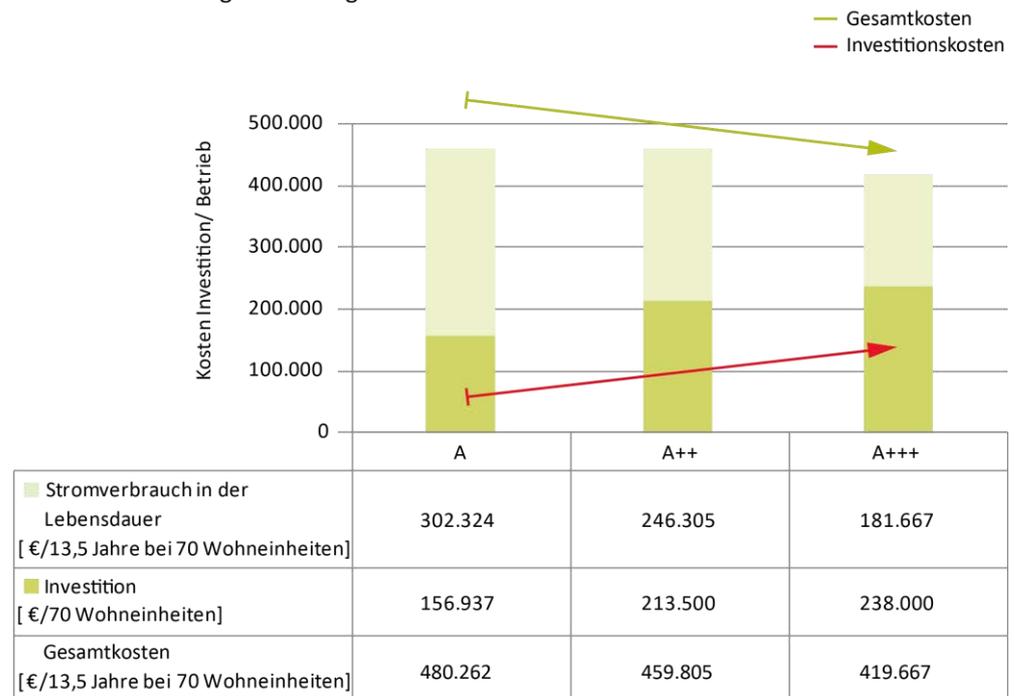


Abb. 32 wirtschaftliche Betrachtung von A⁺⁺⁺, A⁺⁺ und A-Haushaltsgeräten im Vergleich; Quelle: Datengrundlage: dena, Berechnung: FGee, TU Darmstadt

→ *Eine detaillierte Darstellung der einzelnen Haushaltsgeräte ist in der Anlage 1 zu finden.*

Optimierung des Beleuchtungsstrombedarfs

Nach Anforderungen des Effizienzhaus-Plus-Standards wird geraten, dass „[...] effiziente Raumbeleuchtung (LED oder Energiesparlampen in Verbindung mit Bedarfskontrollsystemen). [...]“ eingesetzt werden. Im PHPP-Tool wurde für das Aktiv-Stadthaus beim Beleuchtungsstrom bisher in der Bilanz ein Anteil an Energiesparlampen (ESL) von 50 % bilanziert. Untersucht wird, die Bilanz auf 75 %, bzw. 100 % zu erhöhen (1,01, bzw. 2,03 kWh/m²a Einsparung s. Abb. 33), da zukünftig die effizienteren LED-Lampen verstärkt auf den Markt kommen werden und so auch für den privaten Nutzer interessant werden.

Der Nutzereinfluss ist hier dennoch nicht zu unterschätzen. Empfohlen wird, dass in allen öffentlichen Bereichen (Verkehrsflächen wie Treppenhaus, Keller, Parkgeschoss) des Gebäudes LED-Beleuchtungen mit Präsenzmeldern eingesetzt werden. Um auch das Bewusstsein der Bewohner zu erweitern, wird ein „Starterkit“ mit ESL angedacht.

Optimierung Beleuchtungsstrombedarf

- Reduktion/Erhöhung [kWh/m²a]
- weiter betrachteter Fall
- Strombedarf gesamt [kWh/m²a]
- möglicher Reduktionfaktor

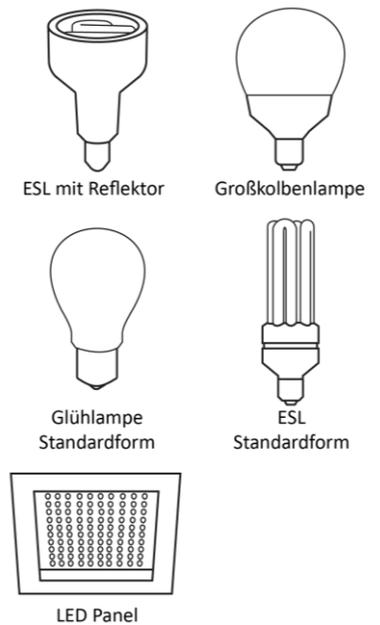
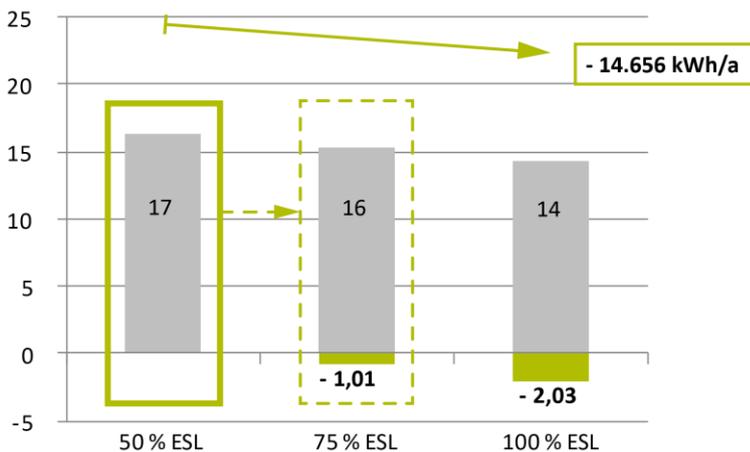


Abb. 33 Optimierungspotential des Strombedarf – Beleuchtung; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Einfluss des Strombedarfs – Plus-Energie-Bilanz

Bei der Wahl einer Nur-Strom-Konzeption mit einer Wärmepumpe, wie beim Demonstrativbauvorhaben geplant, hat die Reduktion des Beleuchtungs- und Haushaltsstrombedarfs einen wesentlich größeren Einfluss auf die Plus-Energie-Bilanz als der Jahresheizwärmebedarf (s. Einfluss des Heizenergiebedarfs). Daher sollte eine Reduktion des Bedarfs durch effiziente Leuchtmittel und Geräte in Zukunft immer mehr im Fokus stehen. Die Wirtschaftlichkeit der A⁺⁺⁺-Geräte ist bereits heute gegeben. Auch wenn diese nicht immer bei Mietwohnungen vom Vermieter zur Verfügung gestellt werden können, sollte der Vermieter in einem Nutzerhandbuch auf das erhebliche Kosteneinsparungspotenzial hinweisen.

Der Gesamtstrombedarf ist stark vom Nutzerverhalten und der Anzahl der Bewohner (s. Wohndichte, Kap. 4.12.3) abhängig. Die Sensibilisierung der Nutzer ist daher nicht nur für Plus-Energie-Gebäude von zentraler Bedeutung (s. Nutzerinterface, Kap. 6).

4.3. Lokale Verfügbarkeit von regenerativen Energieträgern

Parallel zu der Bedarfsoptimierung wurde die Verfügbarkeit von Energieträgern am Gebäudestandort untersucht. Der Energiebedarf soll vollständig aus lokalen regenerativen Energiequellen gedeckt werden. Für die weitere Evaluierung der Energiekonzeptionen konnten dafür am Standort nur wenige Energiequellen ermittelt werden.

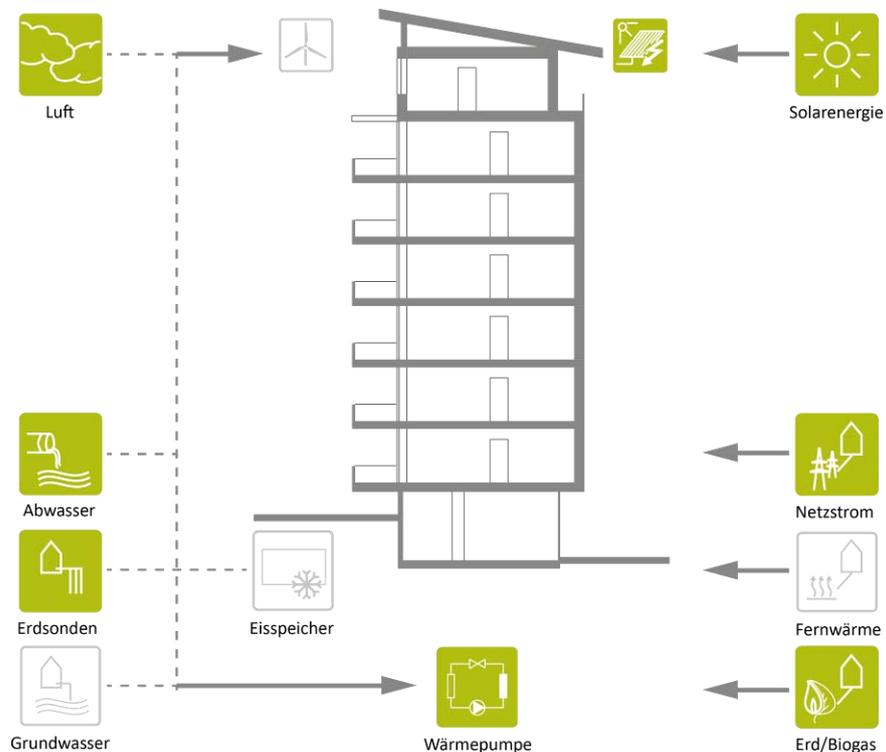


Abb. 34 Analyse der Verfügbarkeit von Energiequellen am Gebäudestandort; Quelle: STZ

Nachdem die Fernwärme- (kein Erreichen des Effizienzhaus-Plus-Standards auf Endenergiebasis) und die Grundwassernutzung (verschmutztes Grundwasser) als Energieträger ausgeschlossen werden konnten, wurden Abwasser, Erdsonden, Eisspeicher und Luft für eine Wärmepumpennutzung untersucht. Das Flusswasser des Mains als Wärmequelle kam aufgrund der erforderlichen Querung von fremden Grundstücken nicht in Frage. Für eine Geothermienutzung am Standort sind lediglich Erdsonden geeignet. Ein Synergieeffekt durch eine Nutzung von Gründungspfählen konnte aufgrund einer fehlenden statischen Relevanz ausgeschlossen werden. Die untersuchte Variante eines Eisspeichers zur Optimierung einer Solarthermiekonzeption musste aufgrund keines verfügbaren Ortes für das Speichervolumen ausgeschlossen werden. Zur Stromgewinnung kam eine Windenergienutzung ebenfalls nicht in Frage, da auch an einem nahe gelegenen Standort auf einer zweifachen Nabenhöhe des Demonstrativ-Bauvorhabens keine sinnvolle Leistung erreicht werden konnte.

Ein hohes Potenzial wird in der Abwasserwärmenutzung gesehen. Um dieses näher zu ermitteln, wurden Messungen in einer Dauer von einem Monat durchgeführt (siehe Kap. 4.3.3). Die Solarstrahlung liegt am Gebäudestandort mit 1.000 – 1.050 kWh/m² im deutschen Mittel und soll in der weiteren Konzeption vorrangig über Photovoltaik zur Stromerzeugung genutzt werden. Zudem wird ein BHKW mit Biogas als Energieträger in der folgenden Energiekonzeption vergleichend betrachtet. Weitere Ergebnisse der Analyse können aus der Tabelle (Tab.1) der folgenden Seite entnommen werden.

Evaluierung von nutzbaren Energiequellen und Technologien am Gebäudestandort

	Quelle	Technologie	Nutzen	Verfügbarkeit/Bemerkung
netzgebunden	Netzstrom	Netzanschluss	Strom	Netzanschluss vorhanden; kann als Puffer von Zeiten keiner Abnahme bzw. am Standort nicht zu erzeugendem Strom dienen.
	Ökostrom	Netzanschluss	Strom	
	Fernwärme	Übergabestation	Wärme	
dezentral	Solarstrahlung	passive Solarenergienutzung	Wärme	- die Solarstrahlung liegt mit 1000-1050 kWh/m ² a im deutschen Mittel - geringe Abminderung der Globalstrahlung durch Rausdrehung aus der Südachse
		Luftkollektor	Wärme	
		Solarthermie	Wärme	
		Photovoltaik	Strom	
		PV-Hybridkollektor	Wärme/Strom	- Effektive Nutzfläche auf dem Dach
	Windenergie	Windkraftanlage	Strom	- Windgeschwindigkeit zwischen 2-2,5 m/s (Nabenhöhe 10m) - geringes Potenzial
	Erdreich	Erdkanal	Wärme/Kälte	- Generelle Eignung - mäßige Wärmeleitfähigkeit $\lambda \sim 1,8 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ - Große Sondenlängen erforderlich - keine Pfahlgründung erforderlich (Synergieeffekt ist auszuschließen)
		Erdkollektor	Wärme/Kälte	
		Erdsonden	Wärme/Kälte	
		Energiepfähle	Wärme/Kälte	
	Grundwasser	Förder- und Schluckbrunnen	Wärme/Kälte	- Obere Grundwasserschicht verschmutzt - Schwankender Grundwasserspiegel - Erforderliche Bohrtiefe 70 bis 80 m
Abwasser	Abwasser-WP	Wärme	- Abwasserkanal in Gutleutstraße wird untersucht	
Außenluft	Luft-Luft-WP	Wärme	- geringer Wirkungsgrad der WP zu erwarten	
	Luft-Wasser-WP	Wärme		
Anlieferung	Holzpellets/-hackschnitzel	Heizkessel	Wärme	- die Nutzung eines Biogas-BHKWs wird angedacht
		Heizkessel mit KWK	Wärme/Strom	
	Pflanzenöl	BHKW	Wärme/Strom	
	Biogas	Heizkessel	Wärme	
	BHKW	Wärme/Strom		

Grüne Markierung: Weitere Evaluierung in der folgenden Gebäudeenergiekonzeption

Tab. 1 Quelle: FGee, TU Darmstadt; STZ

4.3.1. Solaraktive Nutzung der Gebäudehülle

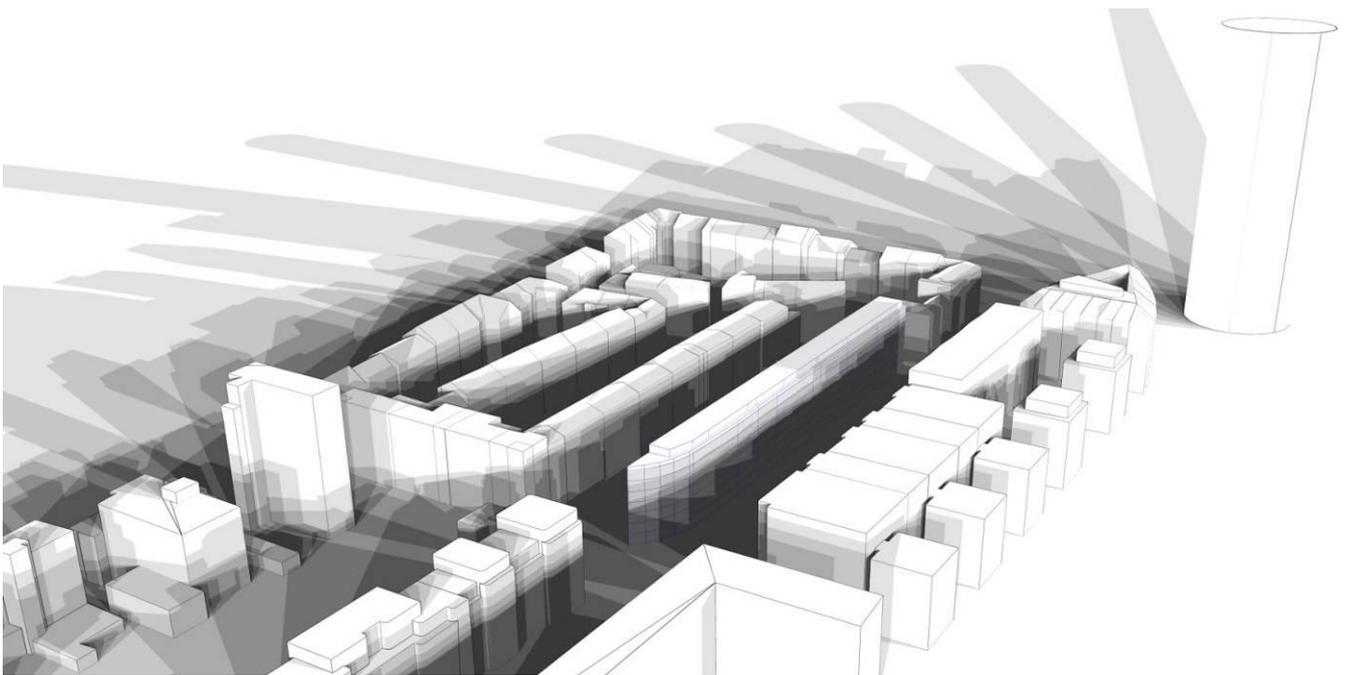


Abb. 35 3D-Modell der Umgebungsbebauung des Bauvorhabens „Aktiv-Stadthaus“ mit Darstellung der Verschattung am 22. Dez. (Winterfall); Quelle: FGee, TU Darmstadt

Das Gebäude ist 28° aus der Südachse gedreht. Die Herausdrehung bringt nur geringfügige Ertragsminderungen mit sich (siehe Abb. 36). Eine größere Herausforderung stellt die Verschattung der Fassadenfläche des innerstädtischen Gebäudevolumens dar. Nach Verschattungsanalyse, Ertragsbilanz und Amortisationsbetrachtung konnte ermittelt werden, dass die Dachfläche voll solaraktiv nutzbar ist. Für die Fassade werden aufgrund der innerstädtischen Verschattungssituation die einzelnen Geschosse separat betrachtet. Die Ertragsanalyse wird im folgenden Kapitel detailliert beschrieben.

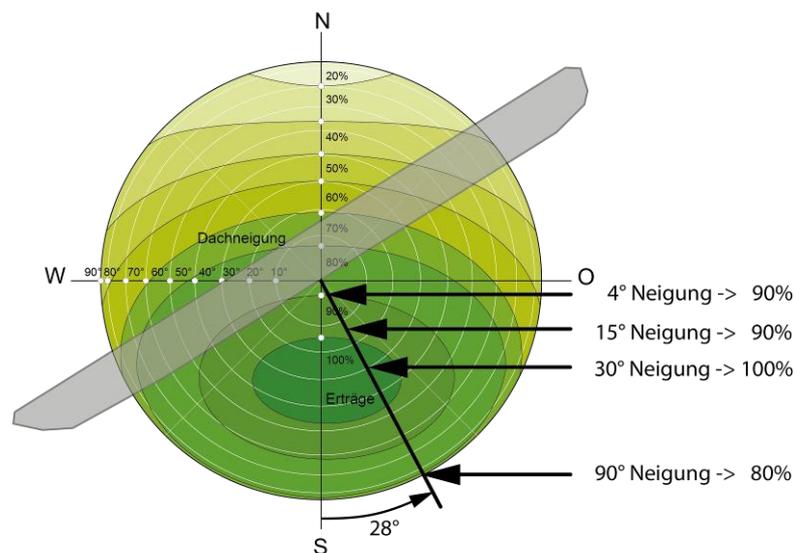


Abb. 36 Strahlungsminderung durch Herausdrehung des Grundrisses aus der Südachse; Quelle: FGee, TU Darmstadt

→ Die Verschattungsstudie ist detailliert in der Anlage 2 nachzulesen.

4.3.2. Photovoltaik

Die Photovoltaik stellt für die Plus-Energie-Konzeption einen wesentlichen Bestandteil für die Stromproduktion am Gebäude dar. Für die Bilanzierung des möglichen PV-Ertrages wurden mehrere mögliche Varianten von Dachausführungen, wie auch der Integration in die Fassaden untersucht. Ziel war, einen höchst möglichen Ertrag zu gewährleisten und gleichzeitig eine hohe architektonische Qualität zu erzielen. Alle Varianten wurden auf das architektonische Erscheinungsbild hin abgestimmt.

Die hohe Verschattung der Fassade sowie das im Vergleich zu einem Einfamilienhaus ungünstige Verhältnis von Dachfläche zur Energiebezugsfläche bedingen eine weitgehende Ausnutzung der zur Verfügung stehenden solaraktiven Flächen, um dem angestrebten Plus-Energie-Standard nahe zu kommen oder ihn zu erreichen.

Ertragsstudie

Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass die Belegung des Daches mit Modulen eines durchschnittlichen Wirkungsgrades von 14 % (polykristalline Module) sowie eine Aktivierung des 5. - 7. OGs für einen Plus-Energie-Standard nicht ausreichend sind. In dem folgenden Abschnitt werden daher die untersuchten PV-Belegungsvarianten zur Ertragssteigerung für das Dach und die Fassade erläutert.

Nutzung der Dachfläche

Ausgehend von der Basisvariante mit einem Flachdach wurden im Laufe der Projektbearbeitung zusätzlich die Dachvarianten „Fliegendes Dach“ und Pultdach untersucht. Ausgehend von der Basisvariante mit Flachdach in Abb. 39 kann der Stromertrag auf dem „fliegenden Dach“ durch die größere nutzbare Fläche und der Verwendung von Hochleistungsmodulen (Modulwirkungsgrad von 19,5 %) um 110 % erhöht werden. Die Module werden hierbei in einem Winkel von lediglich 10° gegeneinander geneigt aufgestellt. Diese Art der Aufstellung bedingt zum Teil eine Nord-Nord-West-Ausrichtung. Mit dieser Aufstellungsvariante wird ein maximaler Ertrag erzielt, jedoch zu Lasten eines spezifischen Ertrags von 876 kWh/kW_p.

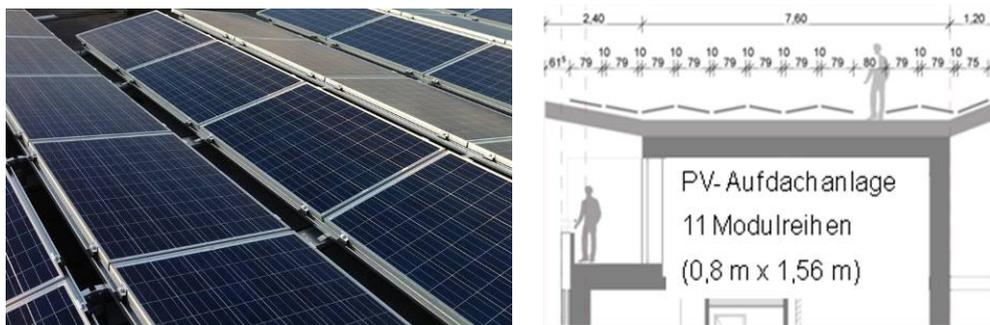


Abb. 37 Bild links: gegeneinander aufgestellte Module als PV-Aufdachanlage; Quelle: www.zaugg-rohrbach.ch

Abb. 38 Zeichnung rechts: Schnitt mit Darstellung der angedachten PV-Aufdachanlage „fliegendes Dach“ des Aktiv-Stadthauses (Planungsstand: Feb. 2012); Quelle: HHS Planer + Architekten AG

Ein Pultdach, welches effektiv die höchste solaraktive Flächenausnutzung auf dem Dach verspricht, wurde zunächst architektonisch ausgeschlossen, aber im Laufe der Projektbearbeitung wieder in die Planung aufgenommen. Weil die gesamte Dachfläche des Aktiv-Stadthauses nach Süd-Süd-Ost ausgerichtet ist und eine durchgehende Neigung von 10° besitzt, resultiert daraus ein PV-Stromertrag von etwa 212 MWh/a. Gegenüber dem „Fliegenden Dach“ sinkt die installierte Leistung, der spezifische Stromertrag steigt aufgrund der besseren Modulausrichtung auf

945 kWh/kW_p. Hierbei kommen die bereits erwähnten Hochleistungsmodule zum Einsatz.

Für die Bilanz des BMVBS ist der Stromertrag für das geforderte mittlere Klima (Würzburg) zu ermitteln. Der reale Standort in Frankfurt weist jedoch andere Klimaverhältnisse auf. Nur diese sind in der Praxis für die Erfüllung der Plus-Energie-Anforderungen relevant. Aufgrund einer geringeren Globalstrahlung am Standort Frankfurt wird gegenüber Würzburg ein um sechs Prozentpunkte niedrigerer Stromertrag erzeugt. Für die weitere Bilanzierung und Projektplanung wird der tatsächliche Ertrag des Standorts Frankfurt am Main weiter geführt (vgl. Abb. 30)

Variantenvergleich PV auf Dach- und Fassadenflächen, Aktiv-Stadthaus Frankfurt

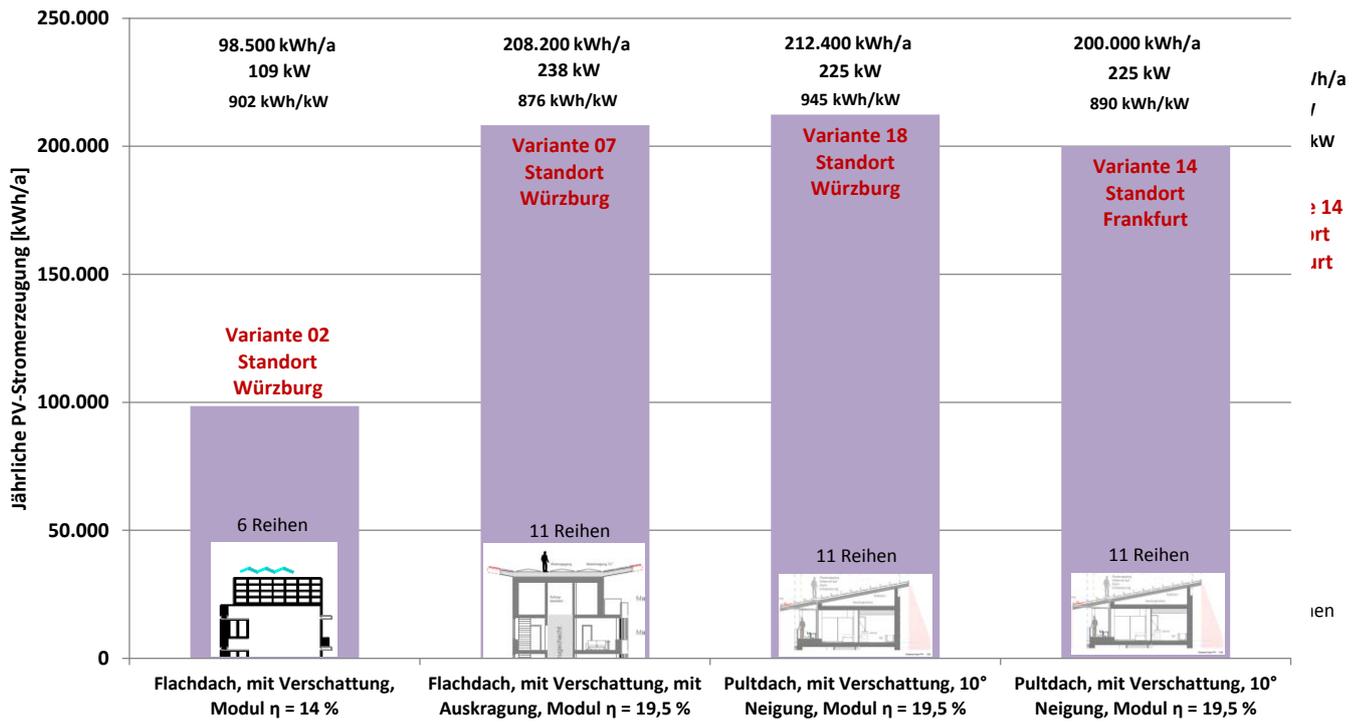


Abb. 39 Variantenvergleich Stromertrag von PV-Dachanlagen, Stand: April 2012, Quelle: STZ

Der aktuelle Planungsstand (30.11.2012) erlaubt unter Berücksichtigung der Brandschutzanforderungen und einer optimierten Modulbelegung auf dem Pultdach die Installation von 249 kW_p Hochleistungsmodulen. Der damit erzielbare PV-Ertrag auf dem Dach beläuft sich für den Standort Würzburg auf 235 MWh/a, für Frankfurt auf 222 MWh/a. In der nachfolgenden Abbildung ist der aktuelle Belegungsplan mit den Hochleistungsmodulen dargestellt. Die zwei senkrecht verlaufenden Flächen ohne Module sind aufgrund der Brandschutzvorschriften vorzusehen. Hier ist mit den PV-Modulen ein ausreichend großer Abstand zu den Brandwänden in diesen Bereichen einzuhalten. Ersichtlich wird die optimale Ausnutzung der vorhandenen Dachfläche.

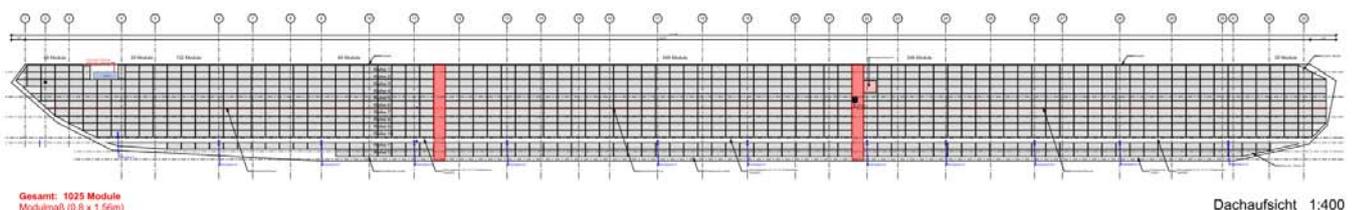


Abb. 40 PV-Dachanlage, Planungsstand 12.08.2012, Quelle: HHS Planer + Architekten AG

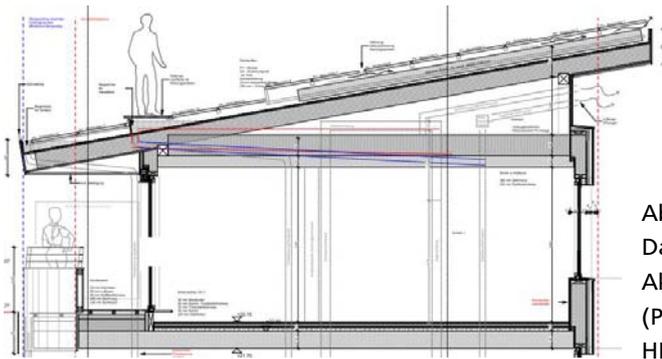


Abb. 41 Schnitt durch die PV-Dachanlage auf dem Pultdach des Aktiv-Stadthauses.
(Planungsstand 30.11.12); Quelle: HHS Planer + Architekten AG

Nutzung der Fassadenfläche

Bei einem Mehrfamilienhaus verschiebt sich im Vergleich zu einem Einfamilienhaus das Verhältnis der Dachfläche zur Fassadenfläche. Die Dachfläche besitzt beim Aktiv-Stadthaus im Vergleich zur Fassade einen geringeren Anteil (siehe Kap. 4.12). Dies macht die Betrachtung einer möglichen Aktivierung der Fassade bei dieser Gebäudetypologie relevant. In der Fassade ist die architektonische Integration der aktiven Technologie in das Gestaltungskonzept von besonderer Bedeutung.

Die Fassadenfläche des 7.OGs ist aufgrund der Verschattung durch den Dachvorsprung nicht mehr nutzbar. Die Erweiterung der Dachfläche (siehe Pultdach) erzeugt jedoch im Verhältnis zur Fassadenfläche aufgrund einer besseren Ausrichtung einen höheren Ertrag.

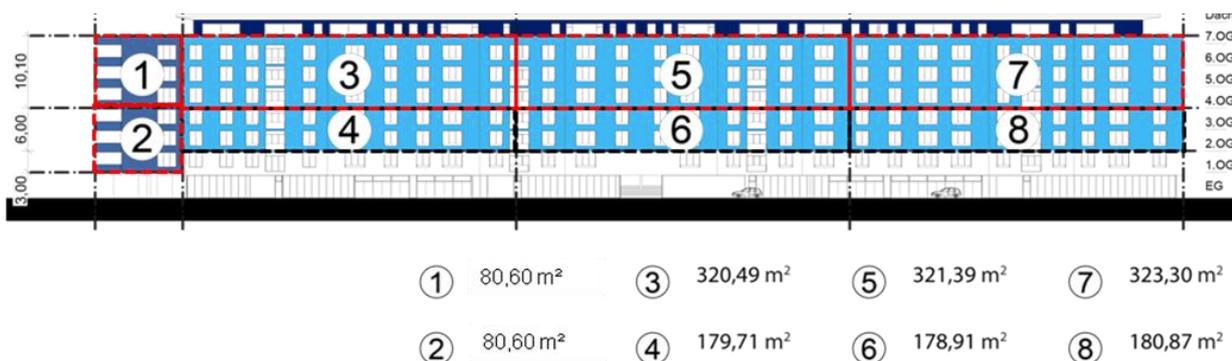
Bei der Fassadenaktivierung wurden auf Grundlage der Verschattungsstudie die Erträge ausgewählter Fassadenflächen bestimmt. Ausgehend von einer mittleren Strahlung im 6. OG von $710 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ reduzieren sich aufgrund der Verschattung durch die umliegenden Gebäude die Einstrahlungswerte auf:

- 6. OG $710 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
- 5. OG $680 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
- 4. OG $630 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
- 1. OG $555 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

Als Fassadenmodule wurden zunächst CIS-Dünnschichtmodule mit einem Modulwirkungsgrad von 11 % angenommen. Die Dünnschichtmodule besitzen für die Fassadenintegration das Potential einer höheren Schwachlichtausnutzung, einer geringeren Empfindlichkeit gegen Temperatursteigerungen sowie den Vorteil eines homogenen Erscheinungsbildes.

In der Südkurve wurde für die solare Aktivierung das 2. bis 6. OG (vgl. Abb. 42, Flächen 1, 2) betrachtet. Darüber konnte eine Ertragssteigerung um 3 % in Bezug zur Aktivierung der Dachfläche (Variante „Fliegendes Dach“) erzielt werden (vgl. Abb. 43). Durch die Aktivierung der restlichen Fassadenfläche (Fassadenfläche 3, 5 und 7) konnte eine weitere Ertragssteigerung um 10 % in Bezug zur Aktivierung der Dachfläche erzielt werden (vgl. Abb. 43).

Abb. 42 Evaluierung der solaren Aktivierung von Fassadenflächen des Aktiv-Stadthauses; Quelle: FGee, TU Darmstadt



Variantenvergleich PV auf Dach- und Fassadenflächen, Aktiv-Stadthaus Frankfurt

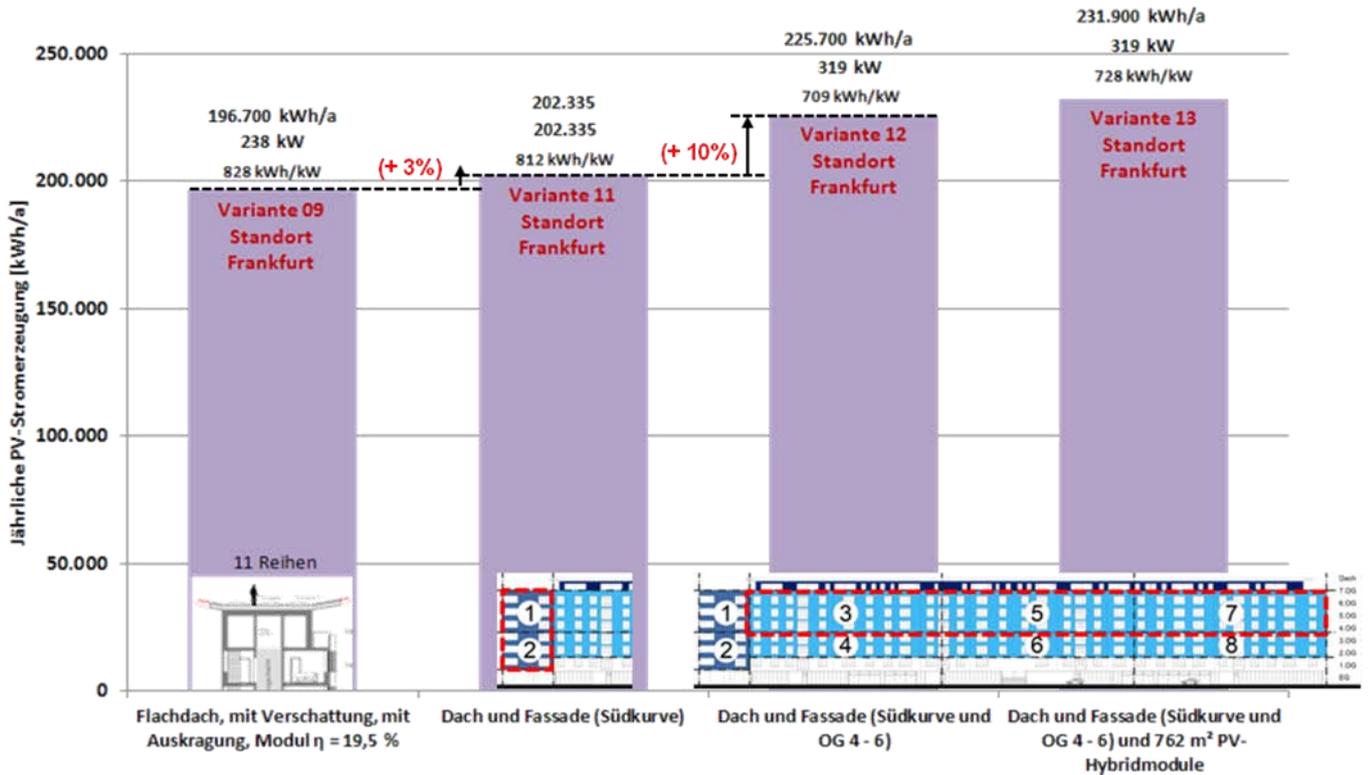


Abb. 43 Ertragsstudie der PV-Aufdachanlage inkl. Fassadenintegration des Aktiv-Stadthauses, Stand: 29.02.12; Quelle: STZ

Aufgrund der aktuellen Erkenntnisse aus dem Planungsprozess wird eine vollständige Aktivierung der Fassadenfläche anvisiert. In Abhängigkeit der Modulgröße wurden zwei PV-Fassadenvarianten entwickelt, die eine aktivierbare Fläche von 940 m² (Variante 4) und 800 m² (Variante 2) aufweisen (siehe folgende Zeichnung).

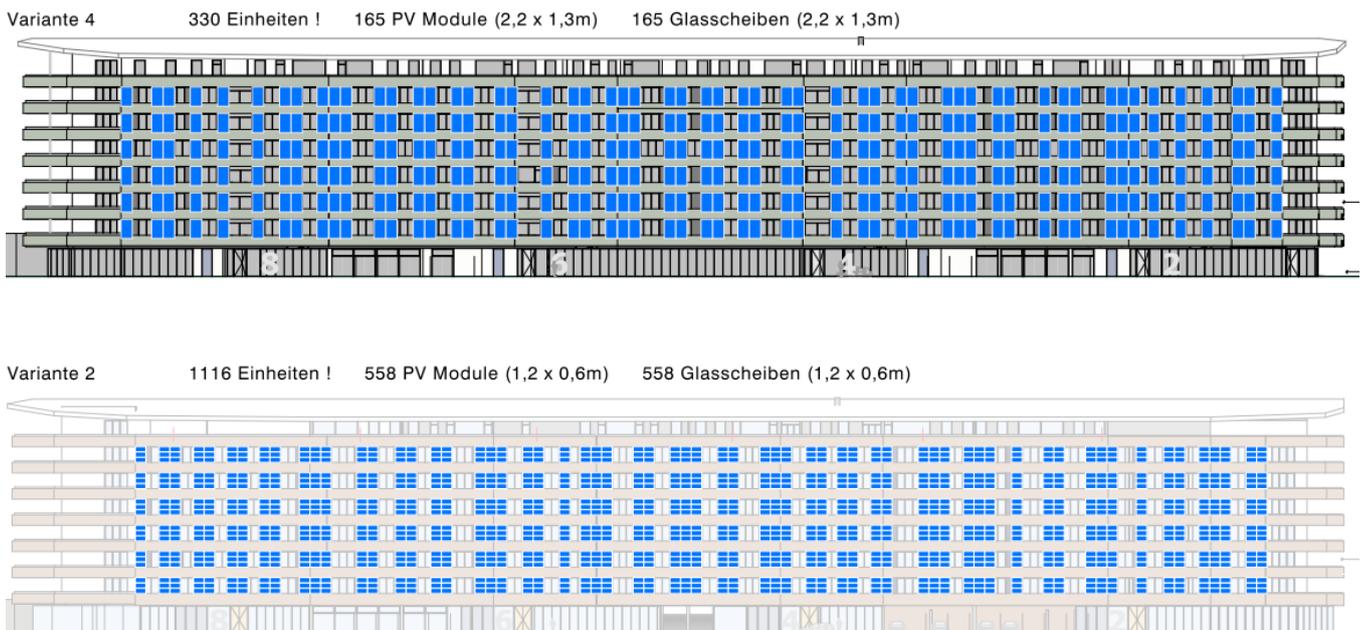


Abb.44 Solar aktivierbare Fassadenflächen, Planungsstand 23.05.2012, Quelle: HHS Planer + Architekten AG

Mit der großen Fassadenvariante und der Verwendung von amorphen Dünnschichtmodulen mit einem Modulwirkungsgrad von 8,4 % resultiert ein Stromertrag in Höhe von rund 40 MWh/a. Dies entspricht einem spezifischen Stromertrag an der Fassade von 500 kWh/m²a. Eine Ertragssteigerung an der Fassade ist lediglich durch die Nutzung von Modulen mit einem höheren Modulwirkungsgrad erreichbar. In einem weiteren Schritt wurden zusätzlich monokristalline Module simuliert, die die installierbare Leistung von bisher 80 kW_p auf 110 kW_p steigern lassen. Der spezifische Ertrag sinkt bei diesen Modulen auf 495 kWh/kW_p. Absolut steigt jedoch der potenzielle Stromertrag auf 55 MWh/a. Bei kristallinen Modulen sind mit den projektspezifischen Rahmenbedingungen niedrigere PV-Investitionskosten je kWh zu erwarten.

PV-Technologie	Fassadenfläche	Maße	Modulpreis	Preis pro m ²	Anzahl Module	Investkosten	Jahresertrag	Spezifische Investkosten
	[m ²]	[mm]	[€]	[€/m ²]	[-]	[€]	[kWh/a]	[€/kWh]
Amorphes Silizium	940	2200 x 1300	715	250	330	235.950	40.430	5,8
Monokristallin	940	2170 x 1300	687	244	330	226.710	54.970	4,1

Abb. 45 Ertrags- und Kostenvergleich von amorphen Silizium-Modulen zu monokristallinen Modulen für die Installation in der Fassade; Quelle: STZ

Insgesamt wird in der Ertragsgegenüberstellung ersichtlich, dass das größte Potential in der Dachfläche liegt, welches mit der besseren Orientierung sowie dem Moduleinsatz mit einem höheren Wirkungsgrad zu begründen ist. Dennoch ist die Fassadenfläche zum Erzielen des Plus-Energie-Standards erforderlich, was die folgenden Bilanzen (Kap. 4.6.2 Plusenergiebilanz) zeigen werden. Zudem besitzt die Fassadenintegration das Potential das Image eines Plus-Energie-Gebäudes gut sichtbar nach außen zu transportieren. Nicht aufgesetzt, sondern integriert wird die solaraktive Hülle zu einem Teil des Gebäudes. Die Module übernehmen die Funktion der Gebäudehülle und bieten somit die Synergie einer aktiven Fassade.

Fassadenintegration

Eine angedachte vorgehängte, hinterlüftete PV-Fassade mit einer derzeitigen Dämmstärke von 30 cm bedingt eine erhöhte Anforderung an die Unterkonstruktion. Um die Auskrantung der Fassadenelemente zu minimieren wird eine STB-Holz-Mischbauweise mit einer Holzelementfassade untersucht. Durch die Verlagerung der Dämmebene in die Tragstruktur der Fassade, lässt sich an Auskrantung einsparen. Zudem besitzt die Materialwahl einen positiven Einfluss auf die Ökobilanz.



Abb. 46 Bild links: PV-Fassadenintegration in ein Wohn- und Bürogebäude; Quelle: B. Weller, Photovoltaik, Edition Detail; Bild mitte: PV-Fassadenintegration, Fa. KACO Firmengebäude; Quelle: www.würthsolar.de; Detail rechts: Fassadendetail in Holzbauweise mit einer vorgehängten, hinterlüfteten PV-Fassade Quelle: www.würthsolar.de; bearbeitet durch FGee

4.3.3. Abwasserwärmenutzung

Direkt vor dem Grundstück auf der Südostseite des Gebäudes verläuft ein Abwasserkanal. Eine Kontrollmessung ergab hohe Abwassertemperaturen im Kanal von etwa 20° C, jedoch eine sehr geringe Durchflussmenge von ca. 15 l/s am Tag abnehmend auf bis zu 2 l/s in der Nacht.

Alternativ dazu steht ein Kanal (Hauptsammler) in der nördlichen Parallelstraße der Gutleutstraße, zur Nutzung zur Verfügung. In diesem Kanal ist eine ausreichend große Durchflussmenge vorhanden. Der Leitungsweg zwischen Kanal und Heizzentrale mit ca. 200 m Trasse wurde geprüft. Etwa 170 m Trasse können in den Untergeschossen der Gebäude entlang der Hafensstraße geführt werden. Die Gebäude befinden sich im Eigentum der ABG. Die restlichen 30 m müssen im öffentlichen Bereich geführt werden. Die Umsetzung der Abwasserwärmenutzung im Kanal in der Gutleutstraße aus kanalbetrieblicher Sicht wird aktuell (Stand 30.11.12) geprüft. Aufgrund der niedrigen Wärmeträgertemperatur in den Rohrleitungen findet kein signifikanter Wärmeübergang vom Wärmeträger an die Umgebung statt. Für den Fall, dass die Umgebung wärmer ist, wird dem Wärmeträgermedium sogar auf der Strecke Wärme zugeführt.



Abb. 47 Bsp. für einen Abwasserwärmetauschereinbau;
Quelle: STZ

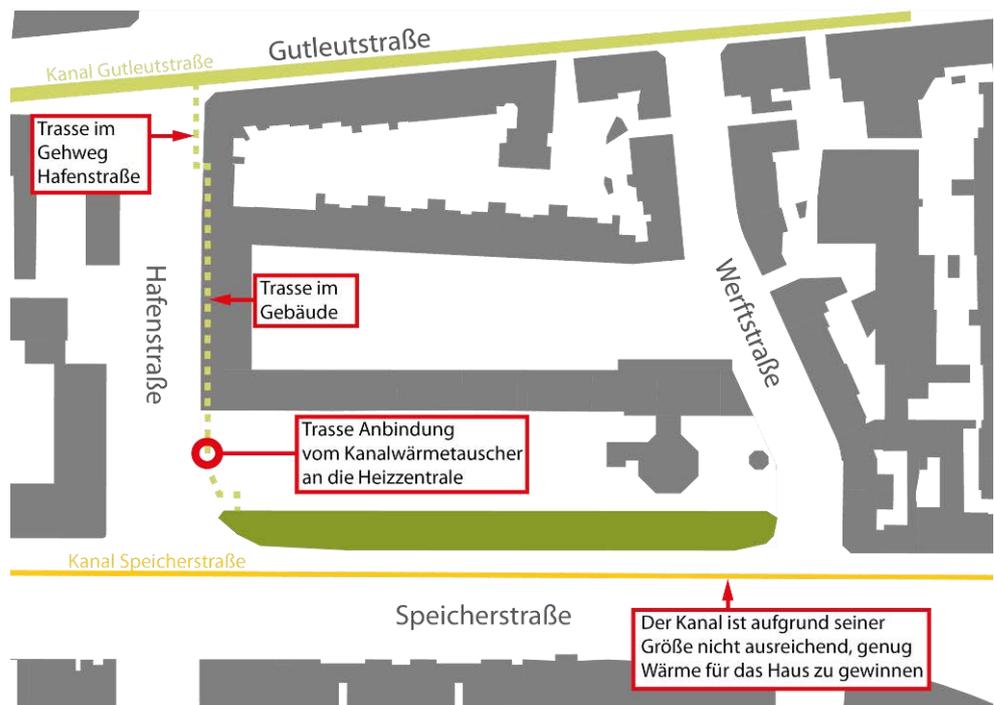


Abb. 48 Konzeption der Abwasserwärmenutzung für das Aktiv-Stadthaus; Quelle: STZ, FGee

4.4. Evaluierung der Energiekonzeption

4.4.1. Untersuchte Konzepte

Ausgehend von den Zielsetzungen zur Erreichung des Plus-Energie-Standards werden für das „Aktiv-Stadthaus“ vier Energiekonzeptionen untersucht. Neben der für Plus-Energie-Einfamilienhäuser typischen „Nur-Strom Konzeption“ (Variante A), werden aufgrund des hohen Warmwasserbedarfs der Mehrfamilienhaustypologie zudem eine Solarthermie-Konzeption (Variante B) sowie eine BHKW-Konzeption (Variante C) betrachtet. Allen drei Konzeptionen gemein ist die Deckung des Strombedarfs über eine Photovoltaikanlage sowie die Einbindung einer Wärmepumpe für die Wärmebereitung. Für die Wärmepumpentechnologie wird für alle drei Konzeptionen jeweils unter den Wärmequellen Abwasserwärme und Erdsonden unterschieden. Im Vergleich der Wärmequellen der Wärmepumpentechnologien generiert die Abwasserwärmenutzung einen geringeren Strombedarf (besserer COP) und wird daher für den Einsatz in den Technologiekonzeptionen weiter betrachtet.

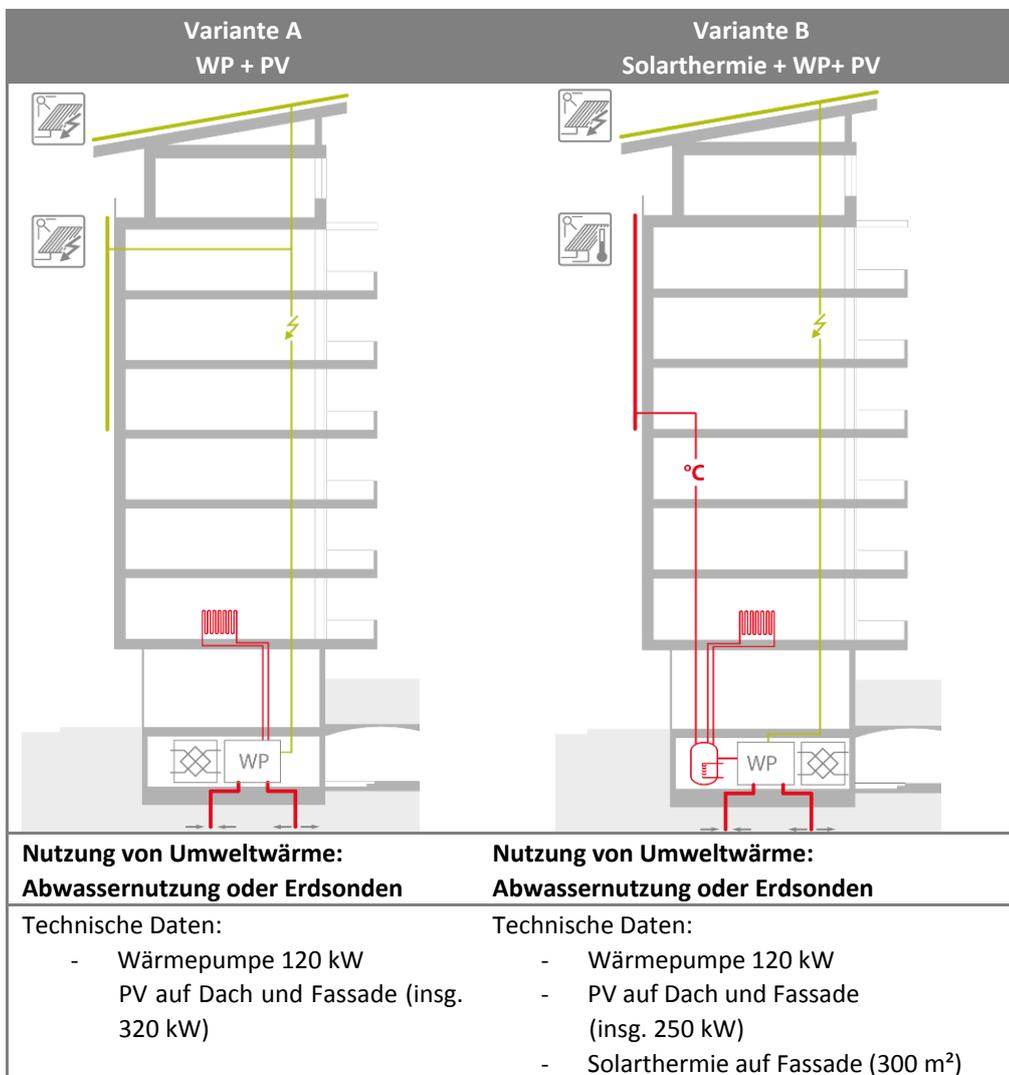


Abb. 49 Energieschemen Konzeptvarianten A und B, Quelle: STZ, überarbeitet FGee

Zusätzlich zu den drei genannten Konzepten wird die Bilanz bei einem komplett unabhängigen System mit Fernwärmeanschluss (Variante D) untersucht. Gleich bleibt hierbei die bereits bei A-C betrachtete PV-Anlage.

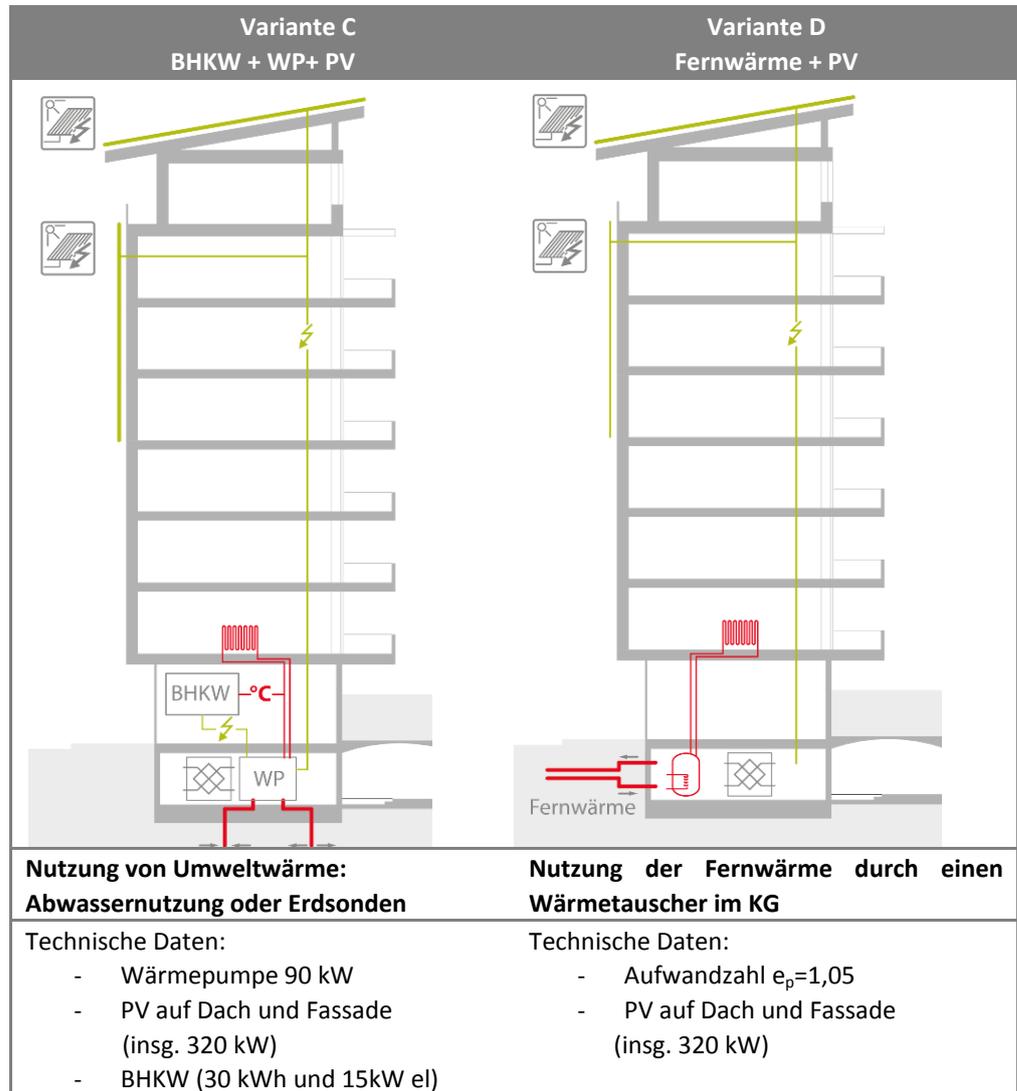


Abb. 50 Energieschemen Konzeptvarianten C und D, Quelle: STZ, überarbeitet FGee

Die Bilanz der Technologiekonzeptionen in Abb. 51 zeigt, dass mit dem Planungsstand vom 31.03.2012 endenergetisch die Plusenergiebilanz bei den Varianten ohne BHKW und Fernwärme knapp verfehlt wird (abzüglich des Bedarfs der Elektromobilität). Der damalige Planungsstand beinhaltet neben der Aktivierung des Daches lediglich an der Fassade die Südkurve und die Geschosse 4. OG – 6. OG. Endenergetisch stellt sich die WP+PV- Konzeption (A) am besten dar. Bei der Variante mit Solarthermie wird ersichtlich, dass die Photovoltaik und Solarthermie in direkter Konkurrenz um die verfügbaren Flächen stehen. Kommt für die Wärmeerzeugung eine Wärmepumpe zum Einsatz ist die endenergetische Vorteilhaftigkeit der Photovoltaik gegenüber der Solarthermie gegeben. Die BHKW+WP+PV-Konzeption (C) stellt sich neben der Fernwärmekonzeption (D) durch den zusätzlich notwendigen Brennstoff-Bedarf (bei BHKW: Bio-Erdgas, Fernwärme: Müllheizkraftwerk und HKW konventionell) bilanztechnisch am schlechtesten dar.

Spezifischer Endenergiebedarf und Stromerzeugung [Jahresbilanz]

Standort: Frankfurt a.M.

Wärmequelle: Abwasserwärme

PV: Dach + Südrichtung + OG 4-6 + PVH

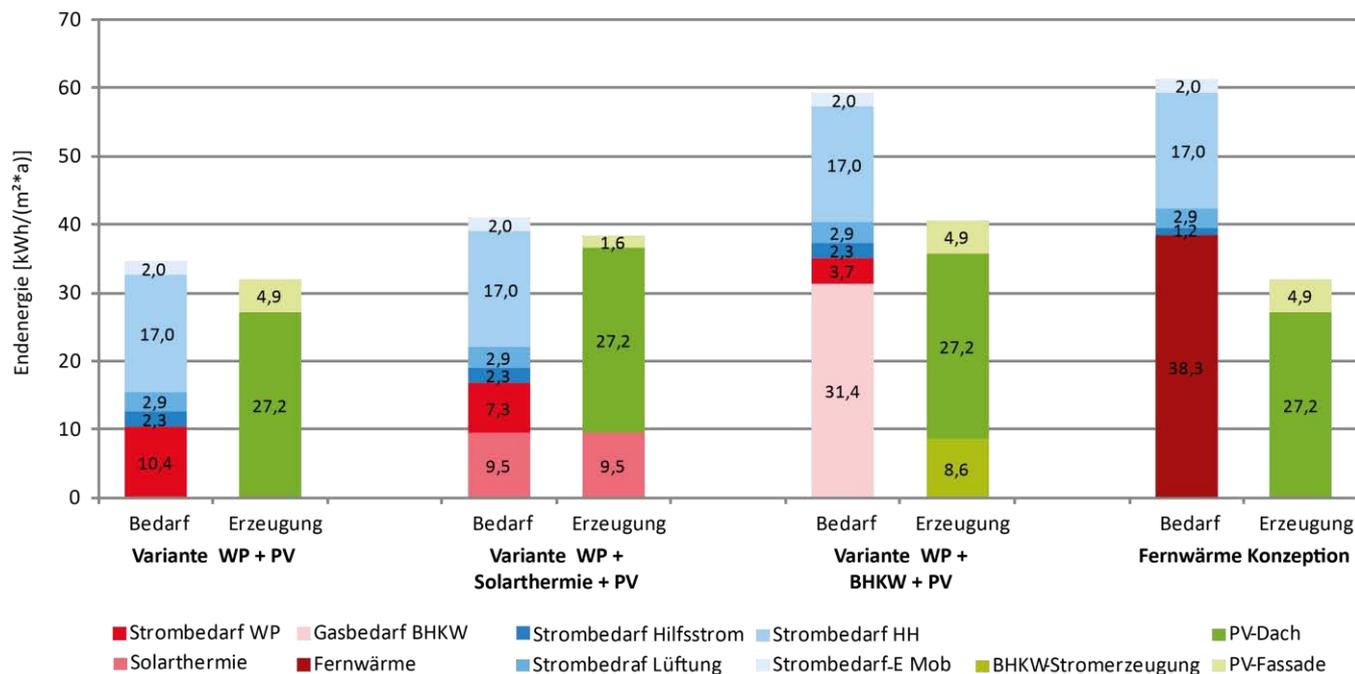


Abb. 51 Variantenvergleich – Endenergie (PHPP), Planungsstand: 31.03.2012; Quelle: STZ

Spezifischer Primärenergiebedarf und Stromerzeugung [Jahresbilanz]

Standort: Frankfurt a.M.

Wärmequelle: Abwasserwärme

PV: Dach + Südrichtung + OG 4-6 + PVH

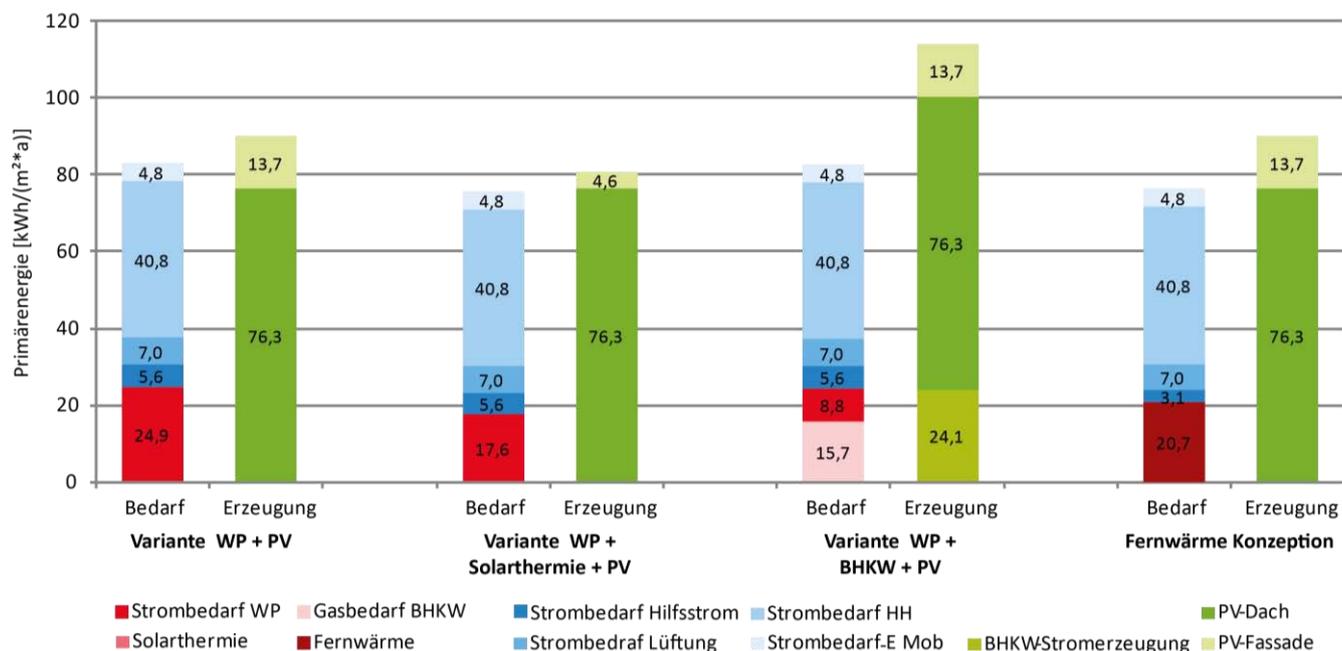


Abb. 52 Variantenvergleich – Primärenergie (PHPP), Planungsstand: 31.03.2012; Quelle: STZ

Primärenergetisch erzielen alle Konzeptionen ein Plus (inkl. des Bedarfs für Elektromobilität). Am besten stellt sich durch die zusätzliche Stromproduktion die BHKW+WP+PV-Konzeption dar (siehe Abb. 52). Besonders der für den Verdrängungs-Strommix anrechenbare Primärenergiefaktor garantiert einen niedrigen Primärenergiebedarf bei Systemen mit hoher regenerativer oder KWK-Stromerzeugung. Ebenso stellt sich der Primärenergiefaktor für Bio-Erdgas von $f_p=0,50$ als positiv heraus. Bedingt durch den niedrigen Primärenergiefaktor der Fernwärme ($f_p = 0,54$) resultiert für diese Energiekonzeption ein gutes Ergebnis auf Ebene der Primärenergie. Die Bilanzen wurden zunächst mit Hilfe des Bilanzierungstools „Passivhaus-Projektierungs-Paket“ (PHPP) ermittelt.

Energieträger ^a		Primärenergiefaktoren f_p	
		insgesamt	nicht erneuerbarer Anteil
		A	B
Fossile Brennstoffe	Heizöl EL	1,1	1,1
	Erdgas H	1,1	1,1
	Flüssiggas	1,1	1,1
	Steinkohle	1,1	1,1
	Braunkohle	1,2	1,2
Biogene Brennstoffe	Biogas	1,5	0,5
	Bioöl	1,5	0,5
	Holz	1,2	0,2
Nah-/Fernwärme aus KWK ^b	fossiler Brennstoff	0,7	0,7
	erneuerbarer Brennstoff	0,7	0,0
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	fossiler Brennstoff	1,3	1,3
	erneuerbarer Brennstoff	1,3	0,1
Strom	allgemeiner Strommix	2,8	2,4
	Verdrängungsstrommix	2,8	2,8
Umweltenergie	Solarenergie	1,0	0,0
	Erdwärme, Geothermie	1,0	0,0
	Umgebungswärme	1,0	0,0
	Umgebungskälte	1,0	0,0
Abwärme innerhalb des Gebäudes	aus Prozessen, siehe 3.1.32	1,0	0,0

^a Bezugsgröße Endenergie: Heizwert H_i .

^b Angaben sind typisch für durchschnittliche Nah-/Fernwärme mit einem Anteil der KWK von 70 %.

Abb.53 Primärenergiefaktoren nach DIN V 18599 (2011), Quelle: BMVBS: "Wege zum Effizienzhaus-Plus", 2011

Abschließend wird festgestellt, dass die Technologiekonzeption WP + PV für das Aktiv-Stadthaus endenergetisch das beste Ergebnis erzielt. Primärenergetisch erfüllen alle Varianten die Anforderungen, jedoch nur gem. Bilanzierung nach PHPP. Die Konzeption WP + PV wird im weiteren Vorgehen weiter verfolgt.



Grenzwerte des Effizienzhauses-Plus – End- und Primärenergiebilanz:

Eine positive **Endenergiebilanz** als Bedingung für ein Effizienzhaus-Plus kann dazu führen, dass andere Energiekonzepte als Umweltwärmekonzepte, wie Wärmepumpe + Umweltwärme oder Solarthermie, nicht mehr in Betracht gezogen werden (Umweltwärme wird ohne Verluste bilanziert). So können Fernwärme- und Biomassekonzeptionen (BHKW) in der Regel bei Mehrfamilienhäusern ausgeschlossen werden. Dies kann sich vor allem bei der Evaluierung des **Effizienzhaus-Plus-Standards im Bestand** als kritisch herausstellen, da gerade z.B. bei Denkmalschutzgebäuden weiterhin ein hoher Temperaturhub zur Raumwärmeerzeugung notwendig sein kann. Wärmepumpen-, bzw. Solarthermie-Konzeptionen sind hier daher oft nicht effizient durchführbar.

Durch die niedrigen **Primärenergiefaktoren** (s. Abb.53) für Biomasse, bzw. Fernwärme stellen sich diese Konzepte primärenergetisch sehr positiv dar. Bei **Biomasse** sollte hier vor allem die Brennstoffherstellung und -herkunft mehr im Fokus stehen. Eine notwendige Abfallverwertung sollte positiver bilanziert werden als z.B. ein extra dafür in weiter Ferne aufwendig hergestellter Brennstoff.

Bei **Fernwärme** werden die Primärenergiefaktoren durch die Kraftwerke festgelegt und sind stark abhängig von der Brennstoffart, der Energieerzeugung und der Ermittlung der Verteilverluste außerhalb des Gebäudes bis zur Übergabestation (Städte-, Kommune-, Gebäudeweise).

4.4.2. Wirtschaftlichkeit

In der Betrachtung der Wirtschaftlichkeitsberechnung (Abb. 54) der Energiekonzepte (unterschieden nach Erdsonden (ES)- und Abwassernutzung (AW)) stellte sich bei den Investitionskosten das „WP (AW) + PV“-Konzept als das wirtschaftlichste heraus. Wobei alle Konzepte nur maximal 6 % in den Gesamtinvestitionskosten auseinander liegen. Den größten Anteil an den Investitionskosten haben die Heizungstechnik und die Photovoltaik. Die Fernwärme-Konzeption wurde bei der Wirtschaftlichkeit nicht weiter betrachtet, da diese Konzeption zur Erreichung eines Effizienzhaus-Plus-Standards direkt ausgeschlossen wurde.

Bei der Analyse der Jahresgesamtkosten ergibt sich ein ähnliches Bild (siehe Abb. 55). Das Energieversorgungskonzept „WP (AW) + PV“ weist die niedrigsten Jahresgesamtkosten auf. Alle untersuchten Varianten zeigen nur eine geringe Abweichung untereinander. Der treibende Faktor für die Jahresgesamtkosten sind bei allen Varianten die kapitalgebundenen Zahlungen.

Die Auswertungen der Energiebilanzen und der Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigen, dass die Variante „WP (AW) + PV“ aus energetischer und finanzieller Sicht zu bevorzugen ist. Im Laufe des Planungsprozesses wurde diese Variante präzisiert und hinsichtlich des Erreichens des Plus-Energie-Standards optimiert.

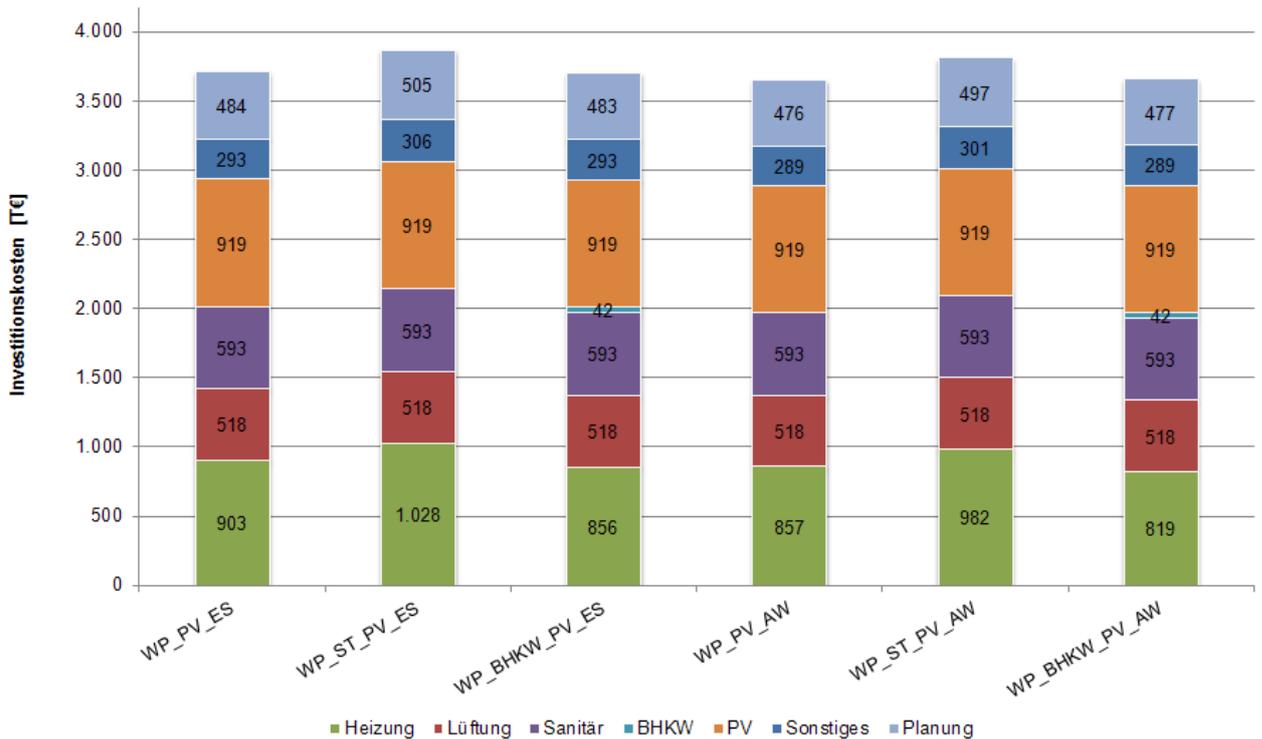


Abb. 54 Gegenüberstellung der Investitionskosten der Anlagenkonzeptionen WP + PV; WP + Solarthermie + PV sowie WP + BHKW + PV unterschieden nach Erdsonden(ES)- und Abwassernutzung(AW); Quelle: STZ

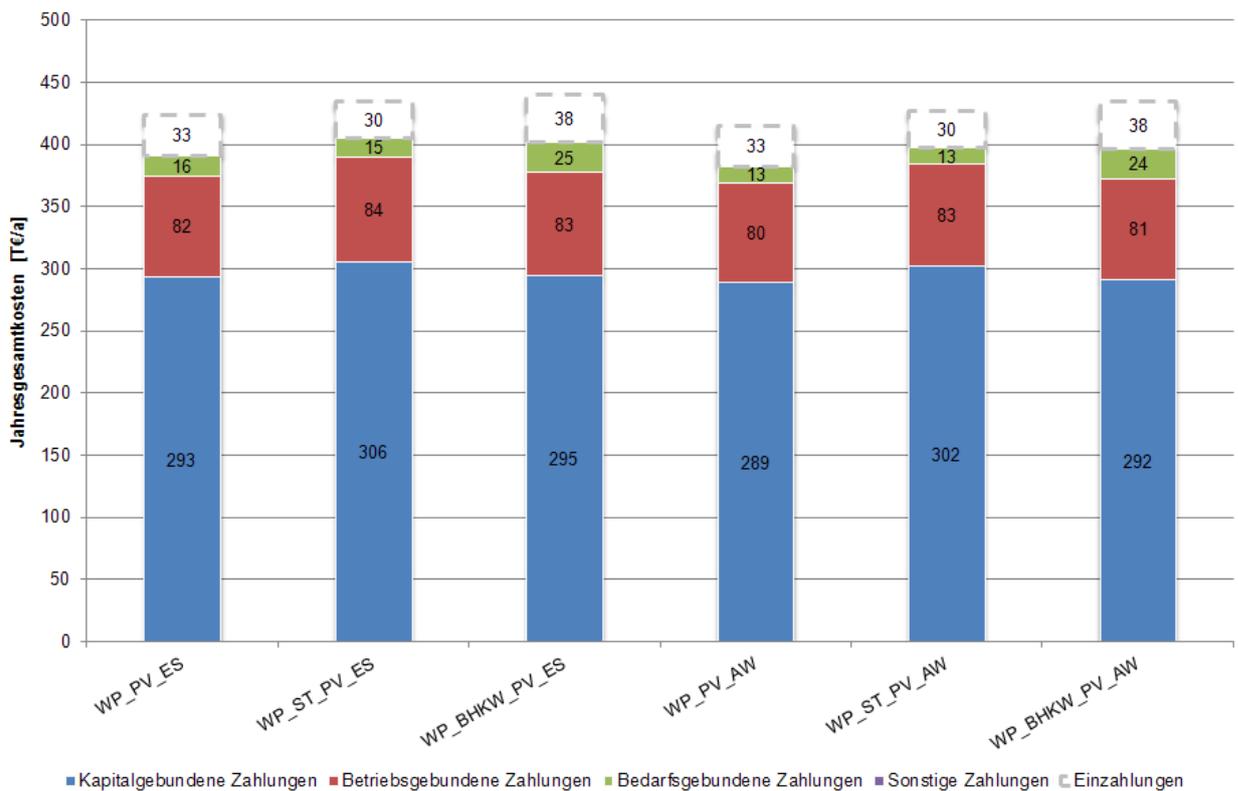


Abb. 55 Gegenüberstellung der Jahresgesamtkosten der Anlagenkonzeptionen WP + PV; WP + Solarthermie + PV sowie WP + BHKW + PV unterschieden nach Erdsonden(ES)- und Abwassernutzung(AW); Quelle: STZ

4.5. Die Energiekonzeption – Aktuelle Planung (Stand 30.11.12)

Nachdem der Bauherr sich auf die Energiekonzeptvariante „WP (AW) + PV“ festgelegt hatte, wurden die Randbedingungen konkretisiert und die Konzeptansätze in die aktuelle Planung überführt. Im Folgenden sind die aktuellen Anlagenkonzeptionen erläutert, die sich im Laufe des Planungsprozesses geändert haben, aber notwendig sind für das Erreichen des Plus-Energie-Standards. Das folgende Energieflussschema (Abb. 56) gibt die aktuelle Energiekonzeption wieder.

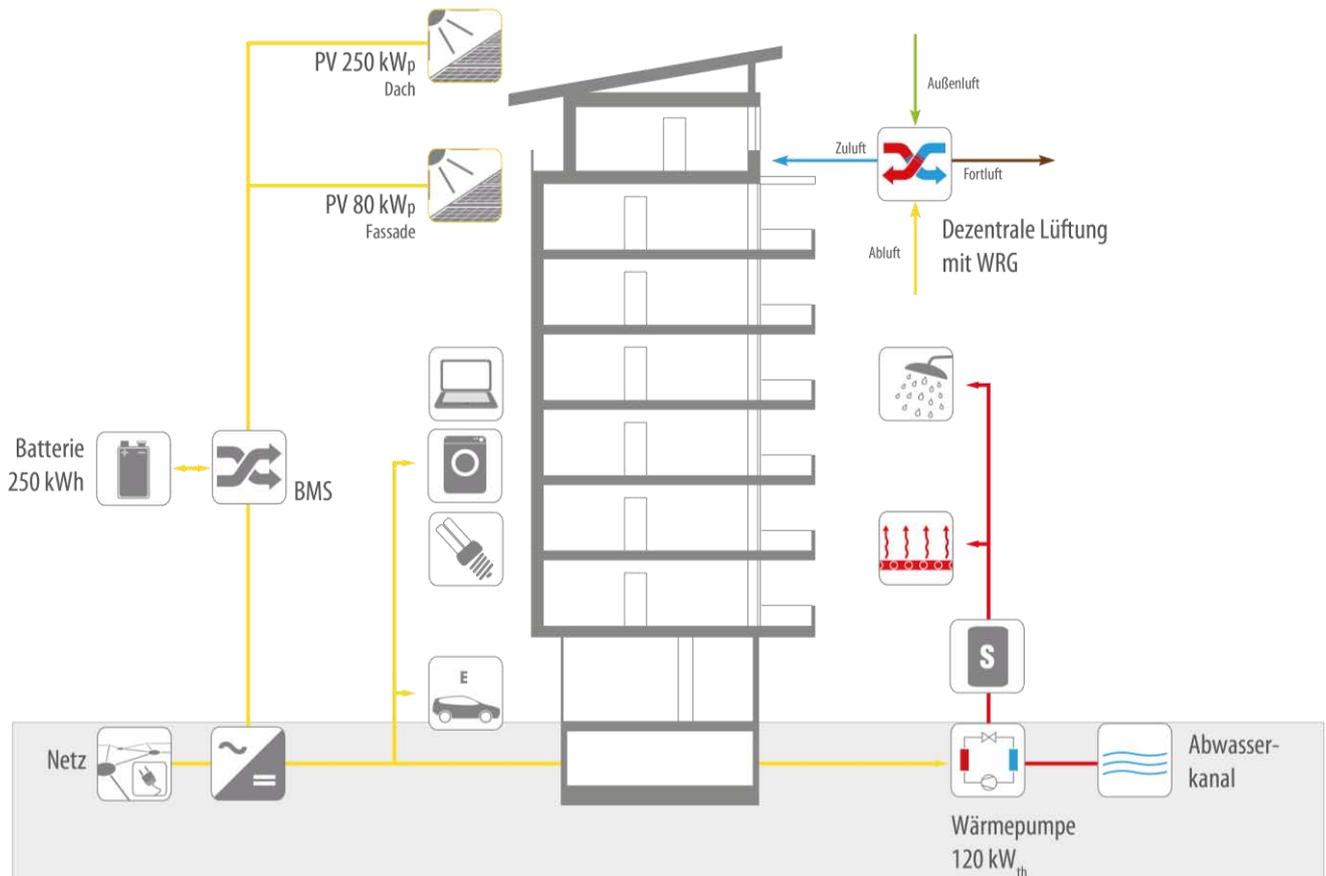


Abb. 56 Energieflussschema des Aktiv-Stadthauses; Quelle: STZ

4.5.1. Wärmeerzeugung

Abweichend von der ursprünglichen Energiekonzeption kommt als Wärmequelle der Abwasserkanal in der Speicherstraße aufgrund zu geringer Abwassermengen nicht in Frage. Als Alternative kann hierzu, wie bereits in Kapitel 4.3.3 erwähnt, der Abwasserkanal in der Gutleutstraße genutzt werden.

Zusätzlich soll die in den Wechselrichtern und im Batterieraum anfallende Abwärme genutzt werden. Für die Wärmepumpe kann damit direkt im Gebäude, ohne weite Übertragungswege, eine Abwärmequelle erschlossen werden und zur Kühlung der elektrischen Systemkomponenten beigetragen werden.

Zur Wärmeerzeugung kommt in der Heizzentrale eine Wärmepumpe mit einer Heizleistung von insgesamt 120 kW zum Einsatz. Zur Redundanz wurde ein Gasbrennwertkessel mit einer thermischen Leistung von 140 kW in der Heizzentrale im Untergeschoss des Gebäudes eingeplant. Als zentrale Warmwasserspeicher kommen drei Pufferspeicher mit jeweils 5.000 l Speichervolumen zum Einsatz.

4.5.2. Wärmeverteilung

Für die Wärmeverteilung sind zwei Versorgungsleitungen mit zwei unterschiedlichen Temperaturniveaus für Wärmespeicher vorgesehen. Mit einem Heizkreislauf im Niedrigtemperaturbereich (VL 35-30°) wird das Gebäude mit einer Fußbodenheizung geheizt. Eine raumweise Regelung der Raumtemperatur kann mit der Fußbodenheizung gewährleistet werden. Ein weiterer Heizkreislauf kann mit ca. 55°C im Vorlauf auf die individuellen Heizwünsche der Mieter in den Nassräumen reagieren, sowie das Warmwasser bereitstellen, das ggf. durch einen optionalen elektrischen Nacherhitzer auf Zieltemperatur gehoben werden kann.

Durch den niedrigen Vorlauf des ersten Heizkreislaufes, kann die Wärmepumpe hocheffizient (hoher COP) arbeiten. Die erzeugte Heizwärme wird aus der Heizzentrale über vier Steigleitungen im Gebäude zu den einzelnen Wohnungen geführt.

Zentrale Wärmeversorgung mit 4-Leiter-Netz

- Fußbodenheizung
- Zusätzliche Heizkörper im Bad

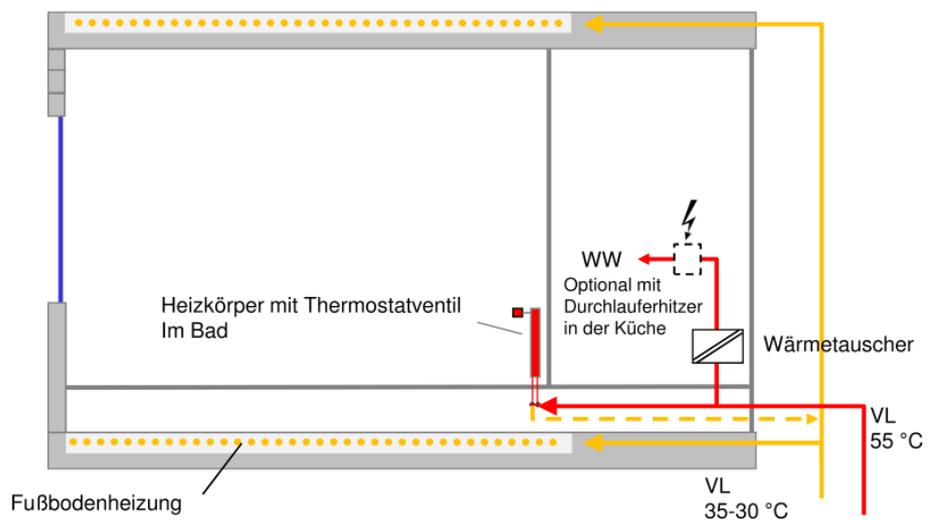


Abb.57 Konzeption der Wärmeverteilung mit zwei Versorgungsleitungen; Quelle: STZ

Die technische Einbindung von Wärmepumpe, Wärmespeicher und Wärmeverteilung mit dem 4-Leiter-Netz ist in dem folgenden Schema abgebildet.

Monovalente Wärmeerzeugung

- Zwei unterschiedliche Temperaturniveaus für Wärmespeicher
- Niedertemperatur für FBH

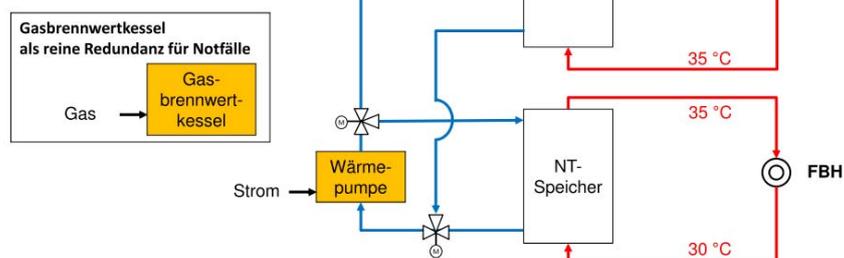


Abb. 58 Monovalente Wärmeerzeugung; Quelle: STZ

4.5.3. Lüftung

Nach der Abwägung von Vor- und Nachteilen eines dezentralen gegenüber einem zentralen Lüftungskonzept, hat man sich aktuell zur weiteren Verfolgung der dezentralen Konzeption entschieden.

Das Konzept der zentralen Gebäudelüftung besitzt den Vorteil geringerer Wartung, benötigt jedoch größere Schachtmaße (>30cm) und besitzt höhere brandschutztechnische Anforderungen. Zudem müsste Raum für die zentralen Lüftungsanlagen geschaffen werden.

Eine dezentrale Lüftungsanlage hat den Vorteil, dass bei Eigentumswohnungen der psychologische Effekt einer „eigenen“ Lüftungstechnik besteht. Weitere Vorteile sind geringere Leitungsführungen und Brandschutzanforderungen. Um übermäßig große Deckenabkofferungen zu vermeiden, wurde in den Wohnungen auf getrennte Führungen von Frisch- und Fortluftleitungen gesetzt. Die Frischluft wird hierbei in der Regel auf der Nordseite angesaugt und auf der Südseite ausgeblasen. Das Lüftungsgerät wird in den Nassräumen wandhängend installiert.

Zertifikat

Passivhaus geeignete Komponente

Für kühl-gemäßigtes Klima, gültig bis 31.12.2012

Passivhaus Institut
Dr. Wolfgang Feist
64283 Darmstadt
GERMANY



Abb. 59 dezentrales Lüftungsgerät; Quelle: www.paul-lueftung.net, 03.01.2011

4.5.4. Photovoltaik

Für die lokale Stromerzeugung kommt eine Photovoltaikanlage auf dem Dach und an der Südfassade zum Einsatz. Auf dem Dach werden PV-Module mit einem Wirkungsgrad von 19,5 % verwendet. Durch die Nutzung von monokristallinen Hocheffizienzzellen und antireflexbeschichtetem Glas erreichen die Module Effizienzwerte, die auf dem PV-Markt aktuell Spitze sind. Durch die optimale Ausnutzung der vorhandenen Dachflächen kann damit eine installierte Leistung von 249 kW_p erreicht werden. Der resultierende Stromertrag der PV-Dachanlage beträgt für den Standort Frankfurt rund 222 MWh/a.

Aufgrund der Anforderungen zur Erfüllung des Plus-Energie-Standards wird aktuell von einer vollständigen Aktivierung der Südfassade ausgegangen. Speziell auf die Fassadengeometrie ausgerichtete Abmaße von Dünnschichtmodulen erlauben eine gute Ausnutzung der Fassade auf einer Fläche von rund 940 m². Mit der geplanten, gebäudeintegrierten Anlage kann insgesamt eine installierte Leistung von 80 kW_p an der Fassade untergebracht werden. Der damit erzielbare Stromertrag liegt bei 40 MWh/a.

4.6. Energiebedarf und Plus-Energie-Bilanz

4.6.1. Energiebedarf

Mit der Berücksichtigung der aktuellen Randbedingung der Bauphysik und der Anlagentechnik resultiert anhand der Berechnung nach der DIN V 18599 ein Nutzenergiebedarf in Höhe von 30 kWh/(m²*a). Dieser teilt sich auf 18 kWh/(m²*a) für die Heizwärme und 12 kWh/(m²*a) für die Warmwasserbereitstellung. Auf Endenergiebasis konnte ein Energiebedarf von 14 kWh/(m²*a) ermittelt werden, der einem absoluten Bedarf von rund 123 MWh/a entspricht (inklusive Hilfsstrom und Lüftung). Zur Bilanz nach DIN V 18599 kommt der Strombedarf für Haushaltsgeräte, Kochen, Beleuchtung und Sonstiges nach dem pauschalen Ansatz des BMVBS von 20 kWh/m²a und der beheizten Wohnfläche als Bezugsfläche (s. Kapitel 4.1).

4.6.2. Plusenergiebilanz

Zur Erfüllung des Plus-Energie-Standards nach BMVBS ist für ein Gebäude eine negative Jahrenergiebilanz erforderlich. Die aktualisierte Plus-Energie-Bilanz stellt dabei den Energiebedarf der lokal erzeugten erneuerbaren Strommenge gegenüber. Für das Aktiv-Stadthaus ergibt sich mit einem mittleren Klima am Standort Würzburg sowohl auf End- als auch auf Primärenergieebene eine negative Jahresbilanz. Dies bedeutet, dass die mit der PV-Anlage erzeugte Jahresstrommenge höher ist als der Endenergiebedarf im Gebäude.

In der endenergetischen Bilanz besitzt das Gebäude einen Bedarf von 28,8 kWh/(m²*a) (exkl. E-Mobilität). Mit einer Erzeugung von 32,2 kWh/(m²*a) wird ein Plus von 11 % erzielt (Primärenergiebilanz: - 19 %).

Spezifischer Endenergiebedarf [Jahresbilanz]

Flächenbezug nach EnEV (DIN V 18599): 8764 m²
Standort: Würzburg

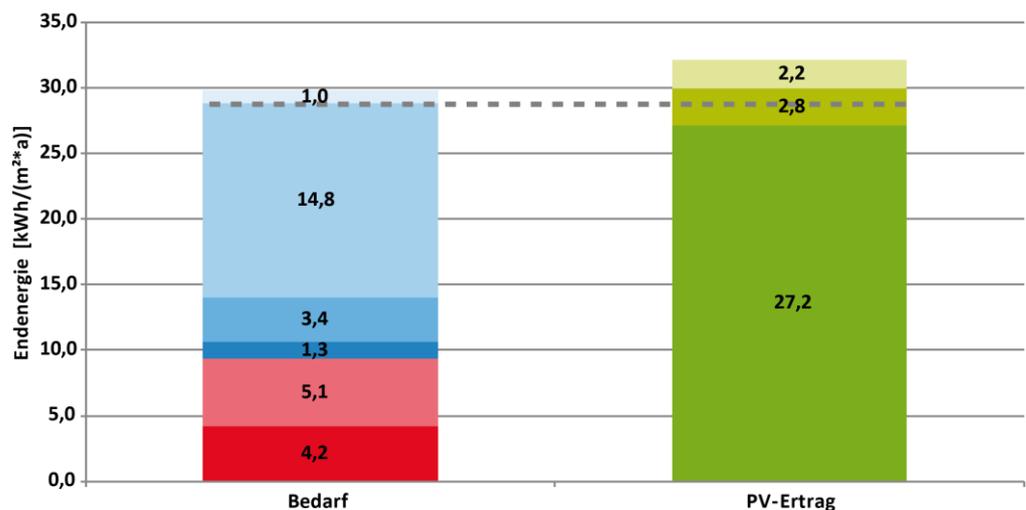


Abb. 60 Endenergiebilanz, Standort Würzburg, Stand 22.10.12; Quelle:STZ

Spezifischer Primärenergiebedarf [Jahresbilanz]

Flächenbezug nach EnEV (DIN V 18599): 8764 m²
Standort: Würzburg

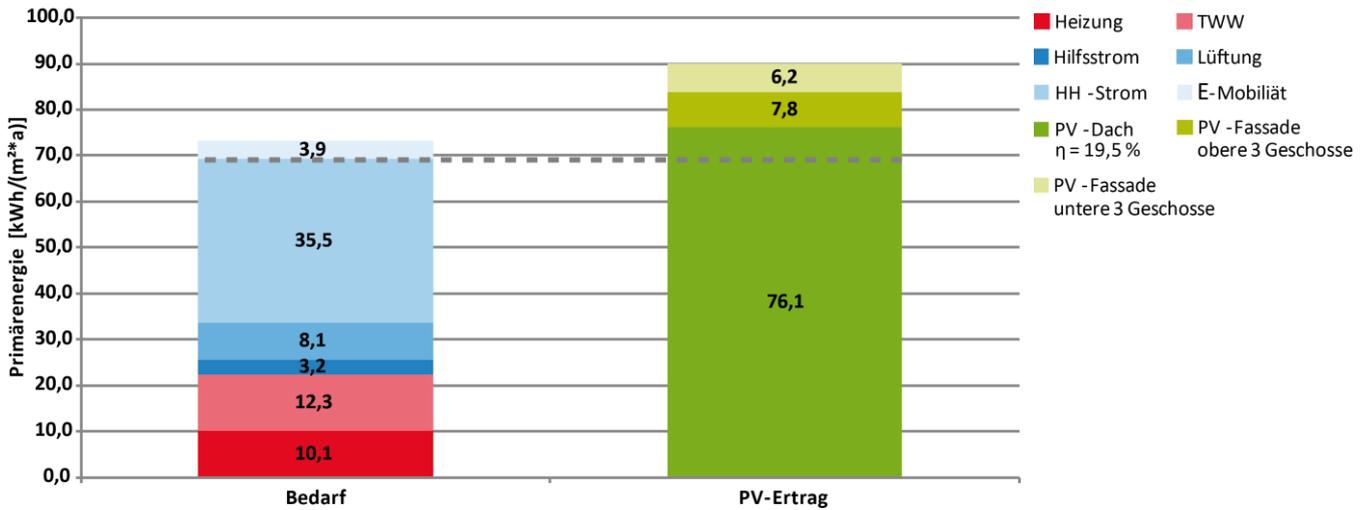


Abb. 61 Primärenergiebilanz, Standort Würzburg, Stand 22.10.12; Quelle:STZ

Der in der Praxis relevante Standort Frankfurt hat einen geringeren solaren Ertrag zur Folge. Dennoch kann mit den entwickelten PV-Anlagenkonzeptionen ein Überschuss sowohl auf End- und Primärenergie erreicht werden. In der nachfolgenden Abbildung ist zu erkennen, dass eine negative Jahresendenergiebilanz resultiert. Aufgrund des Nur-Strom-Konzepts ist diese Aussage auch direkt auf die Jahresprimärenergiebilanz übertragbar. In der endenergetischen Bilanz mit Bezug auf Frankfurt wird ein tatsächliches Plus von 5 % erzielt. Absolut sind dies 13.100 kWh/a. Umgerechnet bedeutet dies eine Fahrleistung von 54.583 km/a an E-Mobilität (bei 2,4 kWh/10km). Die Problematik des Standortbezugs ist für die Konzipierung eines Plus-Energie-Gebäudes zu berücksichtigen (siehe Kap. 4.1.1).

Spezifischer Endenergiebedarf [Jahresbilanz]

Flächenbezug nach EnEV (DIN V 18599): 8764 m²
Standort: Frankfurt

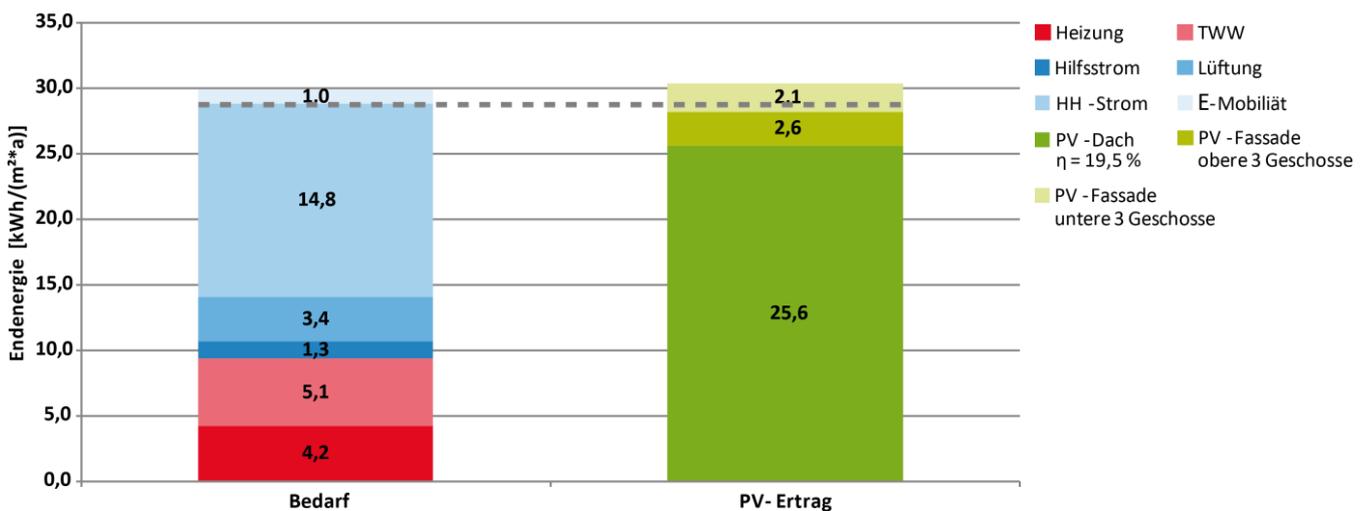


Abb. 62 Endenergiebilanz, Standort Frankfurt, Stand 22.10.12; Quelle:STZ

4.6.3. Eigennutzungsgrad

Zusätzlich zum Bewertungskriterium der negativen Jahresenergiebilanz fordert das BMVBS die Ausweisung des erneuerbaren Eigennutzungsgrades auf Basis einer Monatsbilanz. Der PV-Eigennutzungsgrad weist das Verhältnis von selbst genutzter zu erzeugter Energie aus. Für das Aktiv-Stadthaus nimmt der PV-Eigennutzungsgrad für den Standort Würzburg einen Wert von 54 % ein. Dies verdeutlicht, dass bei der Betrachtung des Energieüberschusses die zeitliche Auflösung eine elementare Rolle spielt. Bei der Jahresbilanz konnte nachgewiesen werden, dass die solare Stromerzeugung 12 % über dem Bedarf liegt. Auf Basis der Monatsbilanz sinkt dieser Wert um 58 % auf 54%. In Abb. 63 ist die monatliche Verteilung von Erzeugung und Bedarf dargestellt.

Monatlicher Strombedarf und -erzeugung, Variante WP + PV

Standort: Würzburg

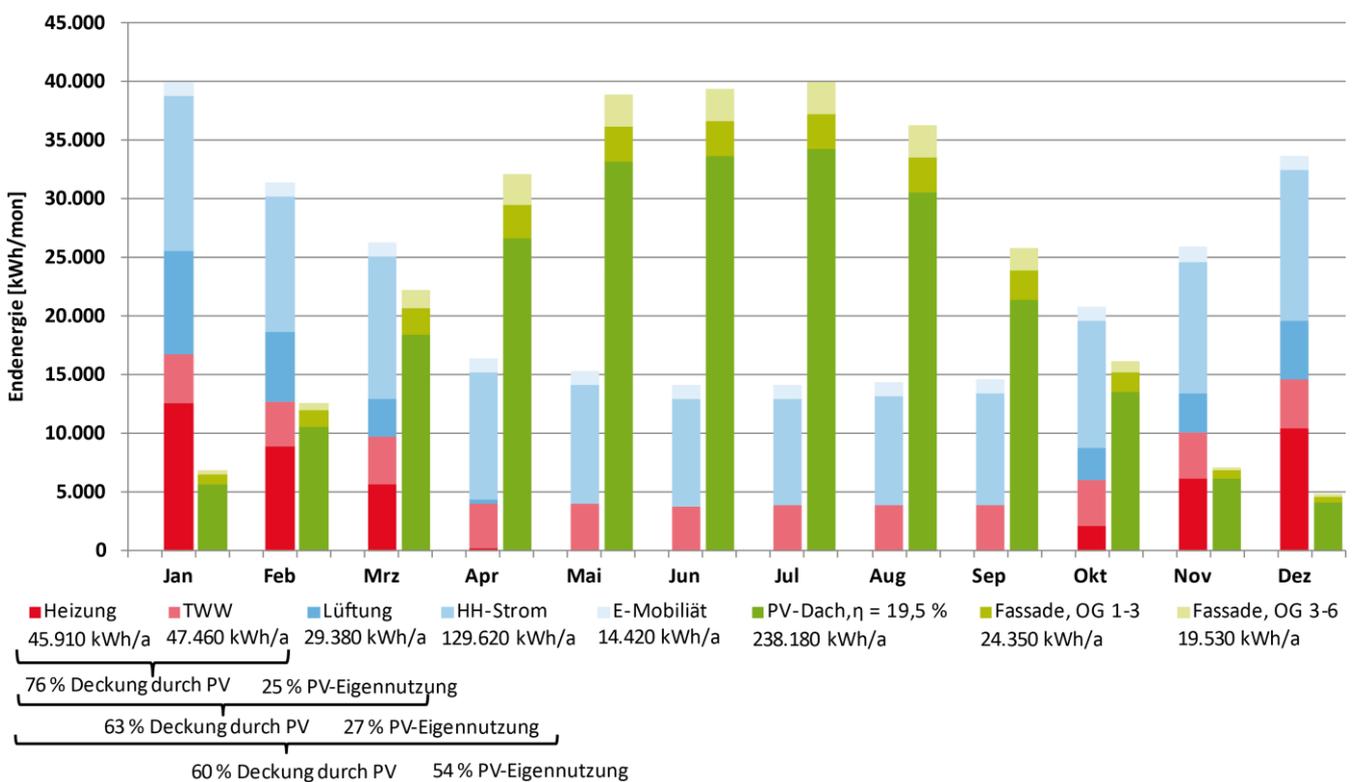


Abb. 63 Untersuchung des Eigennutzungsgrades, monatlicher Strombedarf und -erzeugung, Standort Würzburg, Stand 22.10.12; Quelle: STZ

In Abb. 64 sind die Abhängigkeiten der drei Komponenten – Endenergiebedarf Verbraucher, Energieertrag Photovoltaik und Netzstrom – mit den jeweiligen Energieflüssen dargestellt:

- Energiebedarf wird zu 57 % über die Eigenerzeugung PV und zu 43 % durch das Netz gedeckt.
- Der PV-Ertrag wird zu 54 % zum Eigengebrauch genutzt und zu 46 % ins Netz eingespeist.
- Ins Netz fließen 53 % aus dem PV-Ertrag und 47 % werden in das Gebäude zur Verbrauchsdeckung geführt.

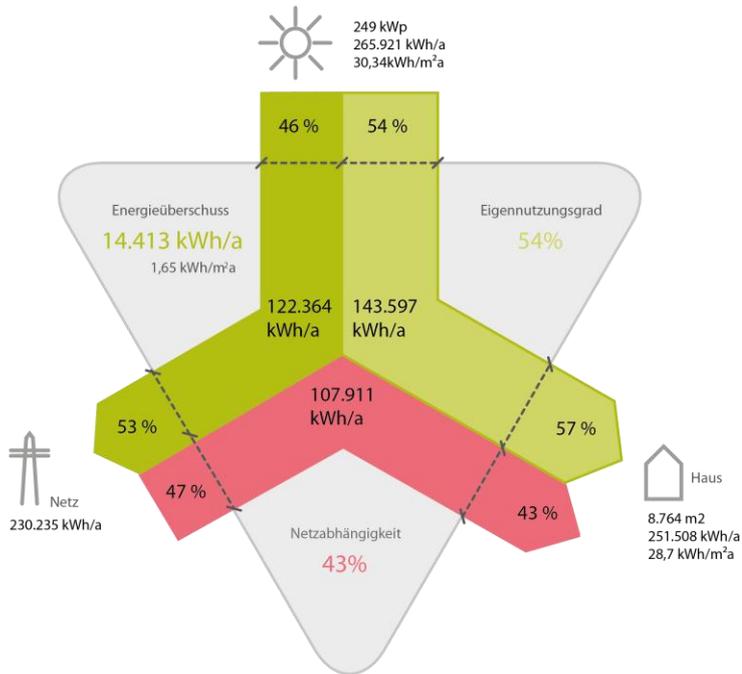


Abb. 64 Darstellung der Abhängigkeiten von Netz, Energiebedarf und Energieertrag – Monatsbilanz ohne Stromspeicher am Standort Frankfurt, Quelle: FGee und INA GmbH

Betrachtet man die gleiche Darstellung in der Tagesbilanz (s. Abb. 65) erkennt man schnell, dass die Netzabhängigkeit mit 65 % im realen Betrieb wesentlich größer ist. Der Eigennutzungsgrad dagegen fällt wesentlich geringer aus (33 %). Bei einer genauen Betrachtung der Abhängigkeiten der Energiebilanz wird schnell klar, dass nicht die Größe des Energieüberschusses sondern der Eigennutzungsgrad und die Netzabhängigkeit die bedeutenden Größen im Betrieb sein werden.

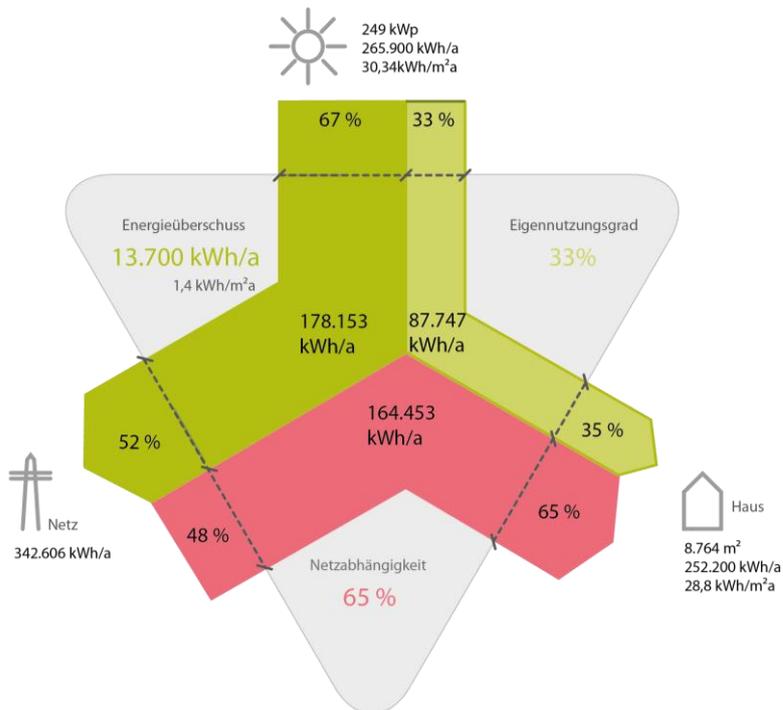


Abb. 65 Darstellung der Abhängigkeiten von Netz, Energiebedarf und Energieertrag – Stundenbilanz ohne Stromspeicher am Standort Frankfurt, Quelle: FGee und INA GmbH

- ☞ Vergleich Monatsbilanz zur Stundenbilanz (Standort Frankfurt):
- Der Eigennutzungsgrad fällt von 54 % auf 33 %
 - Die Netzabhängigkeit steigt von 43 % auf 65 %
 - Der Energieüberschuss fällt von 14.413 kWh/a auf 13.700 kWh/a (s. Abb. 64 und Abb. 65)

4.6.4. Stromspeicher

Durch die Nutzung von Stromspeichertechnologien kann der Anteil des selbstgenutzten PV-Stroms im Gebäude erhöht werden. Stationäre Stromspeichertechnologien wie Blei-Säure-Batterien und auf Lithium basierende Akkumulatoren erlauben die zeitlich getrennte Nutzung des Stroms. Speziell im Wohnungsbau existiert die Problematik, dass der höchste Strombedarf in den Abendstunden liegt, an denen die PV-Anlage keinen Strom produziert. Für das vorliegende Projekt soll ein Stromspeicher mit einer Speicherkapazität von rund 210 kWh zum Einsatz kommen. Die Auslegung der Speicherkomponenten erfolgte hierbei auf Basis der Berechnungen für den realen Standort Frankfurt. Mit der genannten Stromspeichergröße lässt sich der PV-Eigennutzungsgrad von 33 % auf 49% erhöhen (s. Abb. 66). Die Netzabhängigkeit hingegen sinkt von 65 % auf 50 %. Die spezifischen Stromspeicherkosten für die analysierte LiFePo-Batterie belaufen sich auf 30 – 40 ct/kWh.

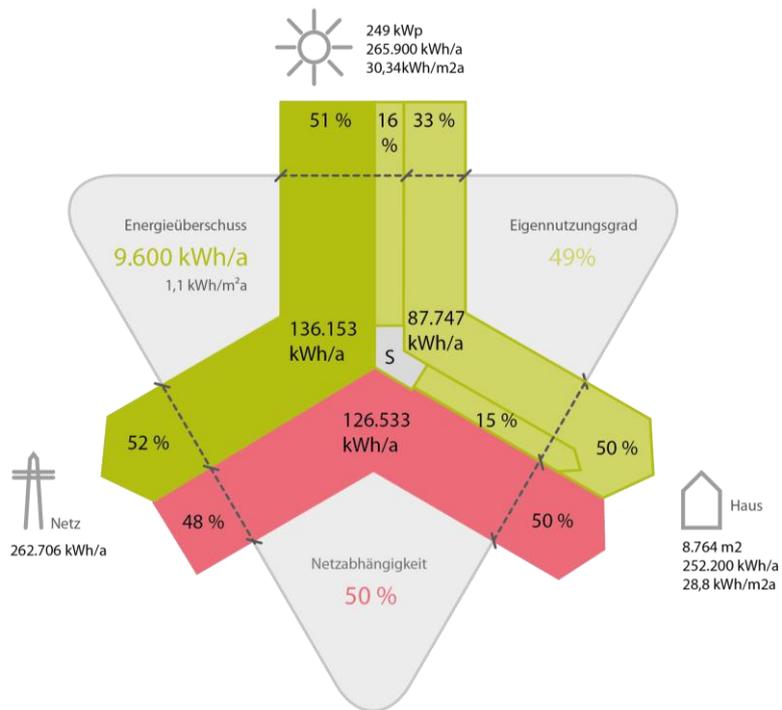


Abb. 66 Darstellung der Abhängigkeiten von Netz, Energiebedarf und Energieertrag – Stundenbilanz mit Stromspeicher am Standort Frankfurt, Quelle: FGee und INA GmbH

Vergleich Stundenbilanz ohne und mit Stromspeicher (Standort Frankfurt):

- Der Eigennutzungsgrad steigt von 33 % auf 49 %
- Die Netzabhängigkeit fällt von 65 % auf 50 %
- Der Energieüberschuss fällt von 13.700 kWh/a auf 9.600 kWh/a (s. Abb. 65 und Abb. 66)

Das zukünftige Ziel ist nicht mehr einen möglichst hohen Überschuss an Energie zu erzeugen, sondern den Eigennutzungsgrad zu steigern, z.B. durch Lastverschiebungen innerhalb des Gebäudes (s. Kap. 0 Lastmanagement). Die Netzabhängigkeit sollte möglichst entsprechend den Lastsituationen im Stromnetz verlaufen:

- Spitzenlast im Netz – geringe Netzabhängigkeit des Plus-Energie-Gebäudes,
- Erzeugungsüberschüsse im Netz – hohe Netzabhängigkeit des Plus-Energie-Gebäudes) s. Kap. 4.8 Netzintegration von Plus-Energie-Gebäuden

Abb. 67 zeigt eine Vollkostenberechnung für das Energieversorgungskonzept des Aktiv-Stadthauses. Aus dieser Grafik wird ersichtlich, dass sich mit größeren Stromspeichern der Eigennutzungsgrad nur bis zu einem bestimmten Punkt, hier bis etwa 54 %, sinnvoll steigern lässt. Ebenso steigen mit zunehmender Speicherkapazität auch erneut die spezifischen Speicherkosten an und limitieren auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten die Speicherkapazität.

In dieser Betrachtung wurden in den Kosten für die PV die Sowiesokosten der Fassade abgezogen.

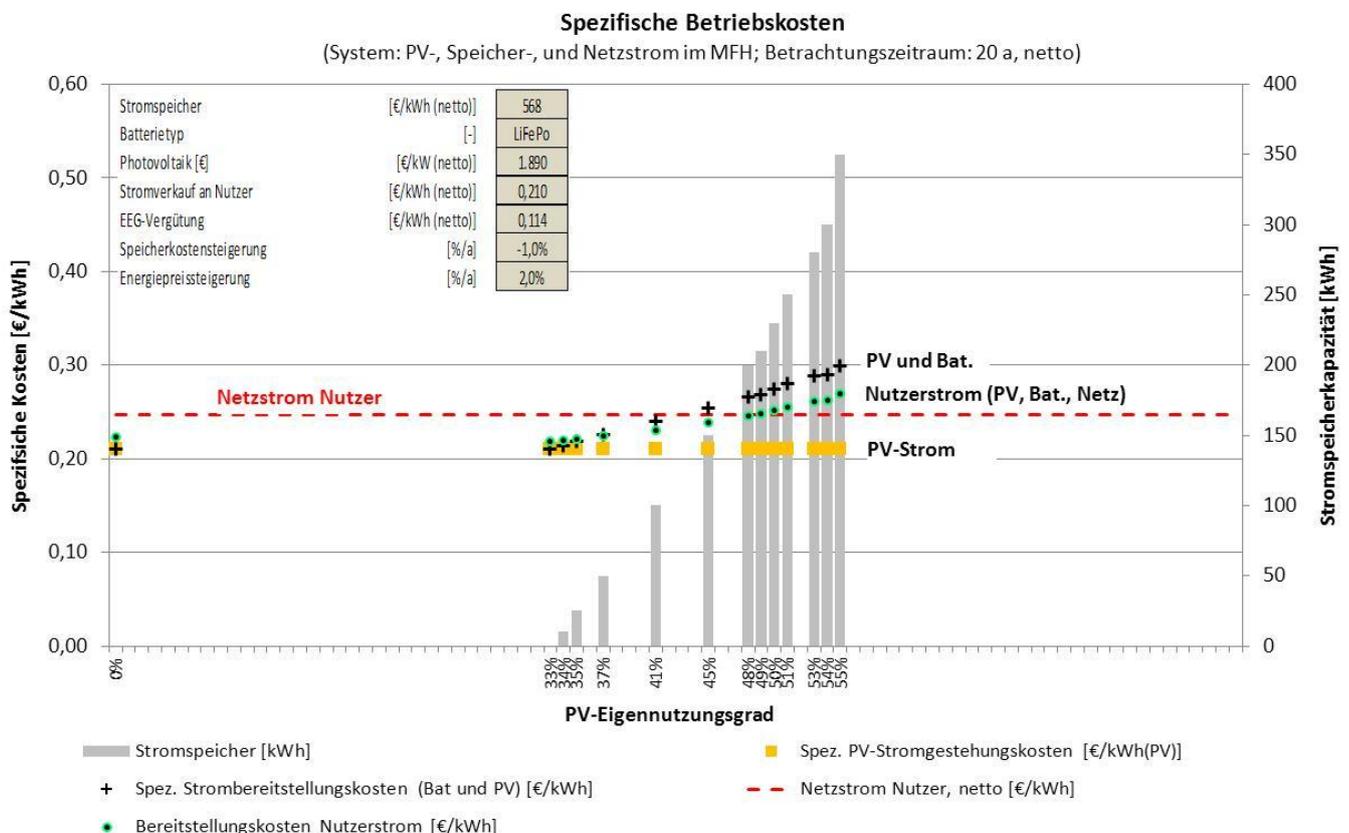


Abb. 67 Vollkostenberechnung für das Energieversorgungskonzept des Aktiv-Stadthauses;
Quelle: STZ

Die aktive Einbindung der Elektromobilität als Car-Sharing-Konzeption in das Gebäude und Energiemanagement spielt im Gesamtkonzept zudem eine wichtige Rolle. Um die Diskrepanz der auf dem Car-Sharing-Gedanken basierenden hohen Wagennutzung – gerade tagsüber – mit den daraus resultierenden nächtlichen Standzeiten, und der nachts nicht verfügbaren Solarstromertrags auszugleichen, kann zusätzlicher Speicherbedarf eine sinnvolle Ergänzung sein. Dieser soll ausschließlich für die Elektromobilität zur Verfügung stehen und den Eigennutzungsgrad weiter erhöhen. Der Speicher soll die Fahrzeuge während der Standzeiten am Abend und in der Nacht mit gespeichertem PV-Strom laden. Nach Berechnungen bedarf es einer aus dem Stromspeicher abrufbaren Strommenge von 40 kWh/d. Diese soll durch einen Stromspeicher mit einer gesamten Speicherkapazität von 250 kWh bereitgestellt werden.

Neben dem präferierten Lithium-Eisen-Phosphat-Stromspeicher (LiFePo) wurden weitere Technologien wie Blei-Säure- und Redox-Flow-Batterien untersucht. Aufgrund der projektspezifischen Anforderungen konnten diese Technologien nicht überzeugen. Mit dem geplanten Stromspeichersystem soll eine hohe Anzahl Entlade- und Ladezyklen erreicht werden. Die LiFePo-Batterien besitzen eine deutlich höhere Zyklenfestigkeit und bessere Tiefentladeeigenschaften gegenüber den Blei-Säure-Batterien. Redox-Flow-Batterien zeichnen sich zwar durch noch höhere Zyklenzahlen und einen flexibel gestaltbare Speicherkapazität aus, sind jedoch aus wirtschaftlicher Sicht in der geforderten Größe nicht konkurrenzfähig. Nachfolgend sind die einzelnen Eigenschaften der Stromspeicher abgebildet, die für den Vergleich der Technologien verwendet wurden.

Stromspeicher	Nutzbare Speicherkapazität	Ladewirkungsgrad	Spezifische Speicherkosten (netto)
LiFePo	75 %	90 %	715 €/kWh
Blei-Säure	50 %	85 %	350 €/kWh
Redox-Flow	90 %	75 %	1.350 €/kWh

Abb. 68 Gegenüberstellung der Speicherkapazität, des Ladewirkungsgrades sowie der spezifischen Kosten verschiedener Stromspeicher; Quelle: STZ

4.7. Lastmanagement

Eine weitere Möglichkeit den PV-Eigennutzungsgrad zu erhöhen besteht darin, die Nutzungszeiten von Verbrauchern in die Zeit der Stromproduktion zu verschieben. Das Lastmanagement im MFH wurde im Rahmen der Projektbearbeitung sowohl auf der Ebene der Haushaltsgeräte als auch für zentrale Verbraucher, wie die Wärmepumpe, untersucht.

4.7.1. Stromlastmanagement bei Haushaltsgeräten

Für das automatisierte Verschieben zeitlich variierbarer Lasten bedarf es ansteuerbarer Verbraucher, ein für den Mehrfamilienhausbau geeignetes Kommunikationsmedium und ein zentrales Energiemanagementsystem. Nach der Analyse der Verbraucherstruktur im Haushaltsbereich eignen sich lediglich Spülmaschine, Waschmaschine, Trockner und Kühlschrank für das Stromlastmanagement. Insgesamt sind diese Geräte für 40 % des Strombedarfs in einer Wohnung mit Geräten der Effizienzklasse A⁺⁺⁺ verantwortlich.

	A+++	A++	A	
	1 WE	1 WE	1 WE	
Geschirrspüler	195 (12%)	262 (14%)	327 (15%)	kWh/a
Waschmaschine	159 (10%)	210 (11%)	238 (11%)	kWh/a
Trockner	147 (9%)	234 (12%)	273 (13%)	kWh/a
Kühl-Gefrierkombination	150 (9%)	230 (12%)	345 (16%)	kWh/a
Kochen	436	436	436	kWh/a
Beleuchtung	196	196	196	kWh/a
Elektronik	136	136	136	kWh/a
Kleingeräte etc.	145	145	145	kWh/a
Sonstiges: Durchlf. erh. Küche	46	46	46	kWh/a
Summe Gesamthaushaltstrom	1.610	1.895	2.142	kWh/a
	75,2	88,5	100,0	%

Abb. 69 Gegenüberstellung des Strombedarfs verschiedener Haushaltsgeräte; Quelle: STZ

Unter der Annahme, dass bei der „Weißen Ware“ (exkl. Kühlschrank) einer von drei Vorgängen pro Woche zeitlich verschoben werden kann, ergibt sich ein gesamtes Lastverschiebepotenzial von 7,5 % des Haushaltsstrombedarfs. Wird davon ausgegangen, dass in allen Wohnungen das Stromlastmanagement angewendet wird, kann ein Lastverschiebepotenzial in Höhe von 3,5 % des Gebäudestrombedarfs erreicht werden. Der PV-Eigennutzungsgrad kann mit dieser Maßnahme um 3,5 % angehoben werden.

Effizienzklasse	Verschiebung Spülmaschine [kWh/a]	Verschiebung Waschmaschine [kWh/a]	Verschiebung Trockner [kWh/a]	Gesamtverschiebung [kWh/a]	Steigerung des PV Eigennutzungsgrades [%]
A+++	3.385	2.719	2.465	8.570	3,5
A++	4.530	3.536	3.850	11.920	4,9
A	5.634	4.009	4.438	14.080	5,8

Abb. 70 Untersuchung der Lastverschiebepotentiale durch ansteuerbare Haushaltsgeräte und resultierende Steigerung des PV-Eigennutzungsgrades; Quelle: STZ

Da für das Stromlastmanagement bei Haushaltsgeräten ansteuerbare Verbraucher erforderlich sind, wurden die Investitionskosten für diese Geräte in einer vergleichenden Analyse mit einbezogen. Die Mehrkosten für die Investition in ansteuerbare Geräte gegenüber Standardgeräten der Effizienzklasse A⁺⁺⁺ liegen je Wohnung bei rund 3.000 €. Als Vergleichsgröße dient ein Stromspeicher, der die gleiche Lastverschiebung wie mit dem Stromlastmanagement bei Haushaltsgeräten erlaubt. Bei dem Vergleich stellt sich heraus, dass die Investitionskosten für den zentralen Stromspeicher deutlich unter den Mehrkosten für ansteuerbare Geräte liegen.

Effizienzklasse	Lastverschiebung	Stromspeicher Kapazität	Investitions-kosten Stromspeicher	Mehrkosten durch A+++ Geräte mit Ansteuerbarkeit	Differenz
	kWh/a	kWh	€	€	€
A+++	8.570	30	60.000	217.000	157.000
A++	11.920	45	90.000	545.000	152.000
A	14.080	55	110.000	299.000	189.000

Abb. 71 Kostenvergleich der Lastverschiebung über ansteuerbare Haushaltsgeräte im Vergleich zu einem Stromspeicher gleichen Verschiebepotentials; Quelle: STZ

Aus diesem Grund werden lediglich in fünf Wohneinheiten ansteuerbare Haushaltsgeräte installiert sein. Im Rahmen des Gebäudemonitorings wird der Verbrauch dieser Geräte detailliert erfasst, um einen Vergleich mit den Lastgängen in den Wohnungen ohne Lastmanagement anstellen zu können. Weiterhin ist es sinnvoll, manuelles Stromlastmanagement zu fördern, um den Eigennutzungsgrad merkbar zu erhöhen. Im vorliegenden Projekt soll dies durch die gezielte Information der Bewohner, über die Energieflüsse im Gebäude, geschehen. Leicht verständliche Nutzungsempfehlungen werden über das Nutzerinterface in den Wohnungen kommuniziert.

4.7.2. Lastverschiebung zentraler Verbraucher

Neben der Verschiebung einzelner Haushaltsgeräte besteht die Möglichkeit, zentrale Großverbraucher in das Stromlastmanagement mit einzubinden. Indem der zentrale Verbraucher Wärmepumpe in Zeiten von Solarstromüberschuss zusätzlich zum Bedarf Wärme produziert, und diese in einen Wärmespeicher einspeist, können die Betriebszeiten der Wärmepumpe zum Teil verschoben werden. Ebenso kann in einem Stromspeicher zwischengespeicherter Strom verwendet werden, um in den Morgenstunden den elektrischen Strom für den Wärmepumpenbetrieb bereitzustellen. Für die Wärmepumpe resultiert dabei ein Lastverschiebepotenzial in Höhe von rund 19 MWh/a. Bezogen auf den gesamten Gebäudestrombedarf beträgt dieses Verschiebepotenzial einen Anteil von 7,6%. Mit der beschriebenen Maßnahme kann der Eigennutzungsgrad um bis zu 8% gesteigert werden.

	Lastmanagement [kWh/a]	Verschiebe- potenzial Anteil am Gesamt- nutzungsgrad [%]	Steigerung des PV Eigennutzungs- grades (kumuliert) [%]	Vergleich Steigerung PV- Eigennutzung mit einzelner Betrachtung [%]
Bezugswert	-	Gesamtbedarf (252.200 kWh/a)	PV-Stromerzeugung (244.340 kWh/a)	PV- Stromerzeugung (244.340 kWh/a)
Direkter Eigenverbrauch	86.940	-	35,6	35,6
WP Heizung				
th. Speicher				
el. Speicher	7.300	2,9	3,0	3,0
WP TWW				
th. Speicher				
el. Speicher	11.840	4,7	4,8	5,1
Haushalts- geräte A+++/A				
Geschirrspül- maschine				
Waschmaschine	7.220	2,9	3,0	3,5
Trockner				
Gesamt	113.300		46,4	

Abb. 72 Lastverschiebepotentiale inkl. Zentraler Verbraucher (WP) und resultierende Steigerung des PV-Eigennutzungsgrades; Quelle: STZ

Die Analyse verdeutlicht, dass mit der Einbindung eines einzelnen großen Verbrauchers in das Lastmanagement ein größeres Verschiebepotenzial resultiert als durch die vielen einzelnen Haushaltsgeräte in den Wohnungen. Voraussetzung hierfür ist ein funktionsfähiges Building-Management-System, das die einzelnen Informationen und Energieflüsse in einem Mehrfamilienhaus steuern kann.

4.8. Netzintegration von Plus-Energie-Gebäuden

Die vom BMVBS formulierte Definition des Effizienzhaus-Plus-Standards fordert neben der Einhaltung der EnEV 2009 einen Erzeugungüberschuss über einen Zeitraum von einem Jahr auf End- und Primärenergiebasis. Zusätzlich ist der erneuerbare Eigennutzungsgrad auszuweisen. Gebäude als dezentrale Kraftwerke sollen die Vernetzung von Architektur und Mobilität fördern und elementarer Bestandteil beim Ausbau erneuerbarer Energien sein. Für die weitere Integration von erneuerbaren Energien in die zukünftige Energieversorgung ist die dafür notwendige Infrastruktur bereitzustellen. So sind die Netze auszubauen, um den regenerativ erzeugten Strom in die Verbrauchszentren transportieren zu können. Das Gleichgewicht von Erzeugung und Verbrauch muss im Stromnetz auch zukünftig gewährleistet sein. Die fluktuierende Erzeugung von PV und Windkraft kann in Kombination mit Stromspeichern vergleichmäßigt werden. Auf der Bedarfsseite helfen kurzfristig abschaltbare Großverbraucher Lastspitzen zu reduzieren.

Die Plus-Energie-Gebäude sind daher nicht separiert zu betrachten. Integrale Gebäudekonzepte erweitern den Betrachtungs- und Bilanzierungshorizont auf die vorgelagerten Strom- und Wärmenetze. Eingebunden in ein „Smart-Grid“ können Plus-Energie-Gebäude die genannten Anforderungen erfüllen. Indem die Energie bevorzugt direkt im Gebäude genutzt wird, können lange Leitungsnetze vermieden und Übertragungsverluste minimiert werden. Integriert in ein übergeordnetes Energiemanagementsystem können viele dezentrale Stromspeicher sowohl Erzeugungsspitzen aufnehmen als auch zusätzlich Strom in das öffentliche Netz

einspeisen. Durch ein Energiemanagementsystem werden Informationen über die Netzzustände interpretiert und bei Bedarf gezielt interne Verbraucher zugeschaltet oder die Nutzung zeitlich verschoben.

Folgende Szenarien verbildlichen die verschiedenen Netzzustände und die daraus abgeleiteten Anforderungen an Plus-Energie-Gebäude. Die nachfolgenden Szenarien stellen nur eine kleine Auswahl von potenziellen Netzzuständen dar, verdeutlichen jedoch, welche Möglichkeiten von zusammen agierenden Plus-Energie-Gebäuden ausgehen (nicht auf das konkrete Energiekonzept des Aktiv-Stadthaus bezogen).

- Szenario 1: Das Plus-Energie-Gebäude wird einzeln betrachtet. Wird lokal Strom erzeugt, wird dieser prioritär im Gebäude direkt genutzt oder in Batterien gespeichert. Überschuss wird in das Netz eingespeist. Es findet keine Rückkopplung mit dem vorgelagerten Netz statt.
- Szenario 2: Das Plus-Energie-Gebäude interagiert mit dem öffentlichen Stromnetz. Der Bedarf im gesamten Netz ist hoch. Regenerative und konventionelle Kraftwerke erzeugen Strom. Zusätzlich wird der in den Plusenergie-Gebäuden produzierte Strom zwar direkt genutzt, aber nicht zwischengespeichert. Ziel ist es, den gesamten Überschuss zur Bedarfsdeckung im Netz bereitzustellen
- Szenario 3: Das Plus-Energie-Gebäude interagiert mit dem öffentlichen Stromnetz. Der Bedarf im gesamten Netz ist niedrig. Ein hoher Anteil erneuerbarer Anlagen trägt zur Stromproduktion bei. Das Netz weist eine zu hohe Erzeugungsleistung gegenüber dem Bedarf auf. Das Plusenergie-Gebäude nimmt Strom aus dem Netz auf und speichert ihn in der Batterie. Dadurch kann eine Abregelung erneuerbarer Anlagen umgangen werden.

Szenario 1:

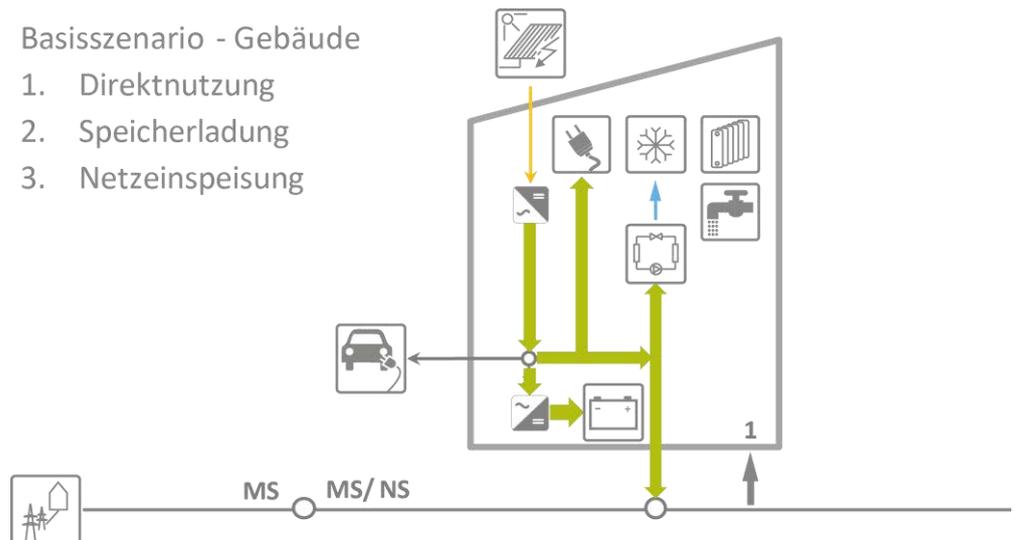


Abb.73 Basisszenario: Gebäudeebene; Quelle: STZ

Szenario 2:

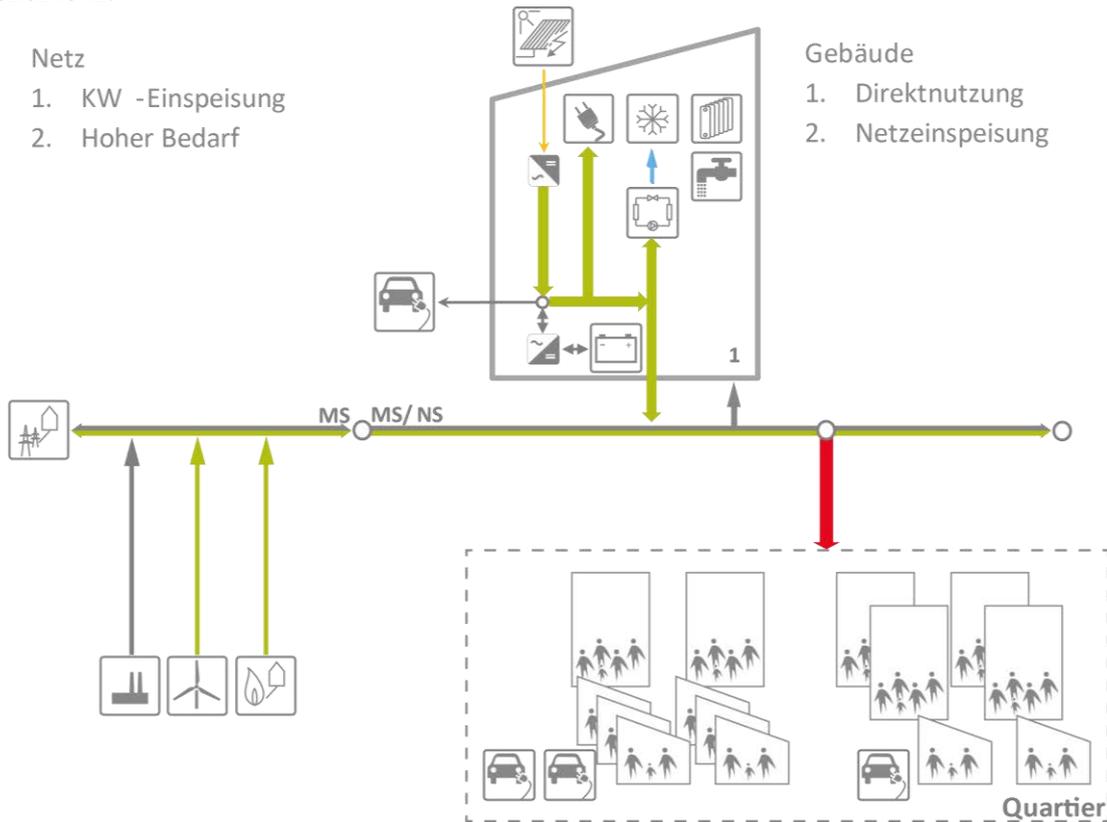


Abb. 74 Szenario 2: Quartiersebene, hoher Strombedarf im öffentlichen Netz; Quelle: STZ

Szenario 3:

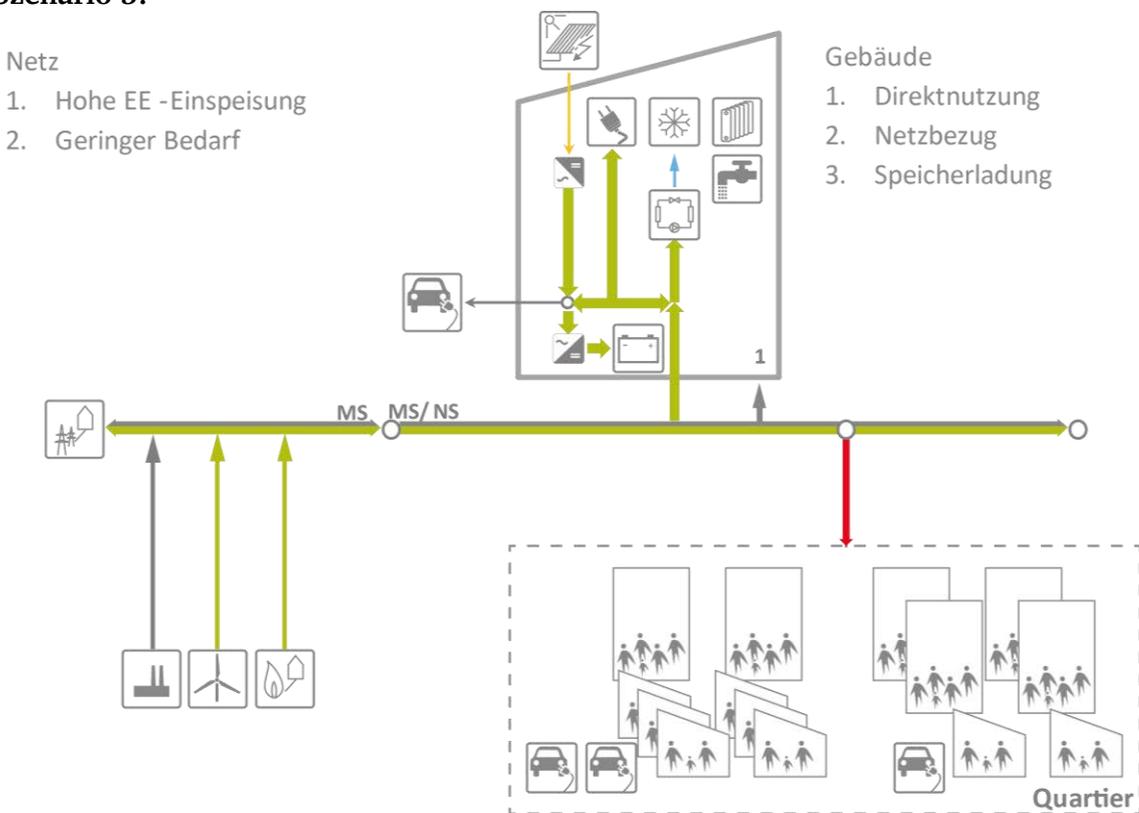


Abb.75 Szenario 3: Quartiersebene, geringer Strombedarf im öffentlichen Netz;Quelle: STZ

Die Nutzung mehrerer Plus-Energie-Gebäude als virtueller Stromspeicher erfordert eine Kooperation zwischen Energieversorger und Anlagenbetreiber. Indem die Stromspeicher in den Plus-Energie-Gebäuden zusätzlich zur Netzstabilisierung eingesetzt werden, hat dies einen direkten Einfluss auf die Lebensdauer des Stromspeichers. Die maximal nutzbare Zyklenzahl eines Akkumulators wird dadurch in einer kürzeren Zeit erreicht. Ersatzinvestitionen werden früher fällig als beim Standardbetrieb eines isoliert betrachteten Plus-Energie-Gebäudes. Aus diesem Grund bedarf es von Seiten der Energieversorger der Zahlung eines Bonus, um die Verkürzung der Lebensdauer wieder ausgleichen zu können. Nur damit resultiert ein wirtschaftliches Interesse des Anlagenbetreibers zur Erbringung dieser Netzdienstleistung.



Eine erfolgreiche Integration von Erneuerbaren Energien ins Stromnetz stellt zusätzliche Anforderungen an Plus-Energie-Gebäude:

- PV-Eigennutzungsgrad stellt nur **ein** Qualitätskriterium dar
- Reaktion auf Erzeugungsleistung und Leistungsbedarf im Netz (Besonders für Ausgleich auf lokaler und regionaler Ebene)
- Beteiligung am Regelenergiemarkt durch flexible Last (Poolbildung dezentraler Stromspeicher)

Ziel: Keine Abregelung erneuerbarer Anlagen!

Aufgrund der nur zum Teil ausgenutzten Speicherkapazität des Stromspeichers des Aktiv-Stadthauses in den Wintermonaten, wird für diesen eine Nutzung in diesen Zeiten als Pufferspeicher für das reguläre Stromnetz zur Netzunterstützung angedacht. Die Einbindung wird im Nachgang zu diesem Forschungsbericht weiter verfolgt.

4.9. Building-Management-System (BMS)

Ein BMS, das die Anforderungen für ein MFH im Plus-Energie-Standard erfüllt, ist momentan auf dem Markt nicht verfügbar. Durch ein Konsortium aus Vertretern des Forschungs- und Planungsteams, Industriepartnern und Systemintegratoren wird daher im laufenden Planungsprozess an der Entwicklung eines geeigneten BMS gearbeitet.

Das aktuell für das Aktiv-Stadthaus in Entwicklung befindliche BMS übernimmt neben dem Lastmanagement für die elektrischen Verbraucher auch die Rolle eines Energiemanagementsystems, das als zentrales Steuermedium zwischen PV-Anlage, Batteriespeicher, Elektromobilität, sonstigen Verbrauchern und dem öffentlichen Stromnetz kommuniziert. Die Entscheidung, ob eigen erzeugter Strom selbst genutzt, zur Batterieladung verwendet oder ins Netz eingespeist wird, übernimmt das zentrale Energiemanagementsystem.

In der Gebäudeautomation inbegriffen ist ebenso die Regelung der Wärmeversorgungsanlagen (siehe Kap. 4.7). Für den optimierten Betrieb des Gesamtsystems, bestehend aus Wärmepumpe und Pufferspeicher ist ein abgestimmtes Wärmequellenmanagement erforderlich. Besonderes Augenmerk ist auf das Zusammenspiel und die Ausnutzung der verschiedenen Wärmequellen (Abwasserkanal/ Abwärme) zu legen. Eine Wetterprognose-Regelung soll dabei

helfen den Wärmebedarf und Stromertrag vorherzusagen und die Wärmeerzeuger und Verbraucher entsprechend den klimatischen Randbedingungen zu regeln.

Folgende Komponenten und Aufgabenbereiche sind dem BMS zugeordnet:

Zentrale Aufgaben

- Aufzeichnen und Archivieren von Daten
- Verarbeiten von Verknüpfungen aus den Modulen Prognose, Messwerterfassung, Datenspeicherung und der Rückmeldungen aus Energiemanagement und der Gebäudeautomation
- Visualisierung der Daten und Auswertungen
- Datenbereitstellung für alle Module und Anwendungen
- Bedienebene und zentraler Zugriffspunkt

Prognose

- historische und stochastische Bereitstellung von Sollwerten

Gebäudeautomation

- Steuerung der TGA-Anlagen

Abrechnung

- Summenzählermodel (ELT)
- Nebenkostenabrechnung

Energie-Management

- Steuerung der Energieflüsse

In der nachfolgenden Abbildung sind die einzelnen Komponenten, Wechselwirkungen und Abhängigkeiten des BMS dargestellt.

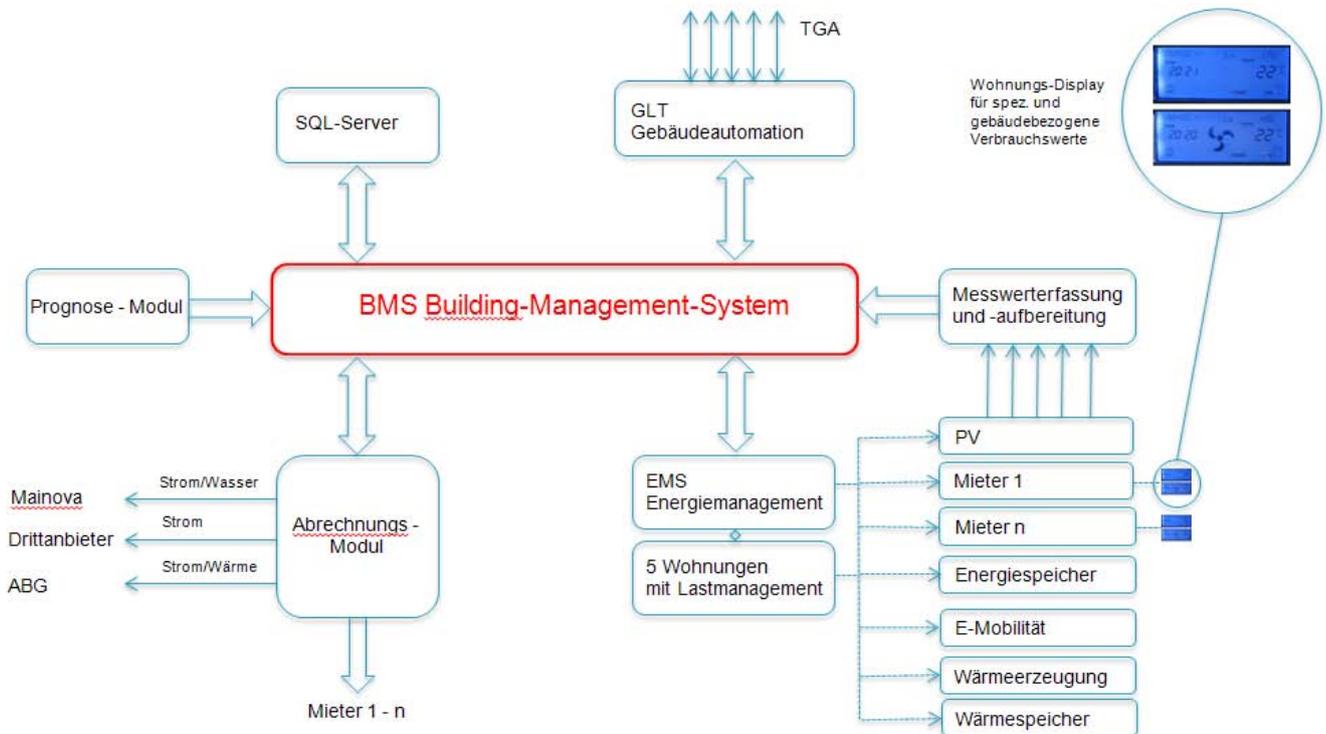


Abb. 76 BMS-Konzeption für das Aktiv-Stadthaus; Quelle: STZ

4.10. Stromvermarktung in Plus-Energie-MFH

Ein Mehrfamilienhaus im Plus-Energie-Standard birgt neben den technischen Herausforderungen auch organisatorische und verwaltungstechnische Fragestellungen, die noch nicht hinreichend geklärt sind. Die Vermarktung des eigen erzeugten PV-Stroms spielt hierbei eine zentrale Rolle. Es existieren für den Anlagenbetreiber zwei verschiedene Vermarktungsmöglichkeiten von PV-Strom, die sich wie folgt unterscheiden:

1. Komplette Einspeisung der durch die PV-Anlage erzeugten elektrischen Energie in das öffentliche Versorgungsnetz.
2. Direkter Eigenverbrauch der durch die PV-Anlage erzeugten elektrischen Energie im Gebäude, kombiniert mit einer Einspeisung des überschüssigen, nicht selbst verbrauchten Stroms in das öffentliche Versorgungsnetz.

Variante 1 stellt die in der Vergangenheit übliche Methode der Stromvermarktung dar. Der gesamte PV-Strom wird entsprechend dem EEG vergütet. Eine Nutzung im Gebäude findet nicht statt. In Plus-Energie-Gebäuden soll jedoch ein hoher erneuerbarer Eigennutzungsgrad erzielt werden. Aus diesem Grund verändern sich die Anforderungen auch an das Stromvermarktungskonzept. Der Strom wird nun direkt im Gebäude genutzt und lediglich der Überschuss in das öffentliche Netz eingespeist und gemäß § 32 EEG vergütet. In einem Mehrfamilienhaus sind dabei zwei Verbrauchergruppen zu unterscheiden. Zentrale Verbraucher, wie Allgemeinstrom, Aufzüge oder die Wärmepumpe, als auch die einzelnen Nutzungseinheiten der Mieter. Der Anlagenbetreiber tritt nun gegenüber den Mietern sowohl in der Rolle des Vermieters als auch des Stromversorger auf.

Als Stromversorger hat der Anlagenbetreiber dafür zu sorgen, dass die Nutzer im Gebäude unterbrechungsfrei mit Strom versorgt werden. Die Versorgung basiert dabei zum einen auf dem eigen erzeugten PV-Strom und dem Bezug von Netzstrom für die Zeiten, in denen die eigene Erzeugung zur Bedarfsdeckung nicht ausreicht. Neben der Versorgungssicherheit hat der Anlagenbetreiber dafür zu gewährleisten, dass die verbrauchten Strommengen den einzelnen Nutzern exakt zugewiesen werden können. Aus technischer Sicht wird die in Abb.77 dargestellte schematische Zählerstellenstruktur realisiert, so dass alle abrechnungsrelevanten Energie- und Massenströme im Gebäude erfasst werden können. Dem Anlagenbetreiber liegen damit die Verbrauchsdaten für Wasser, Strom und Wärme vor. Zwar kann rein rechtlich unter Berücksichtigung von § 11 Abs. 2 der Heizkostenverordnung (Wärmeversorgung mit einer Wärmepumpe) auf Zählstellen in den Wohnungen verzichtet werden. Die Betriebsoptimierung und das Monitoringkonzept erfordern jedoch in jeder Wohnung intelligente Energiemengenzähler (Wärme, Strom).

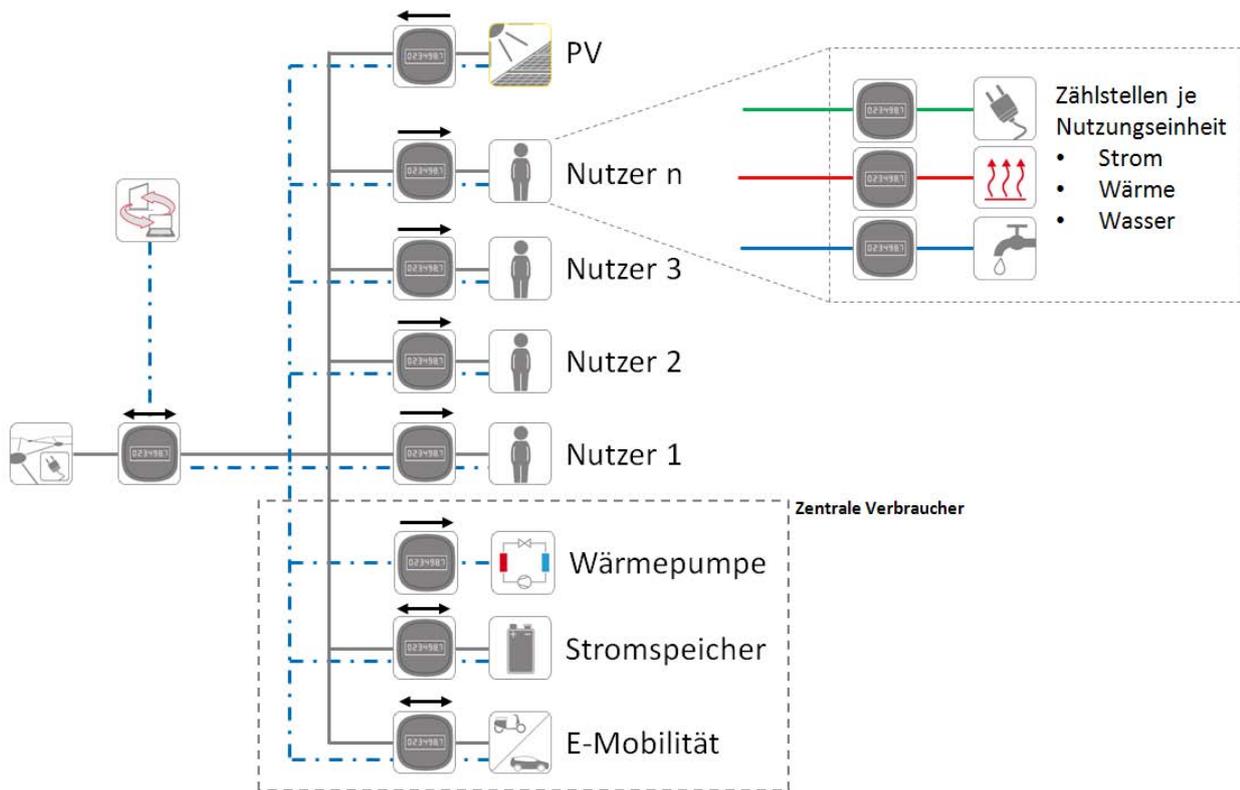


Abb.77 Summenzählermodell für das Aktiv-Stadthaus; Quelle: STZ

Das geplante Stromvermarktungsmodell existiert bereits unter der Bezeichnung „Summenzählermodell“. Im März 2012 hat die „Clearingstelle EEG“ hierzu ein Empfehlungsschreiben veröffentlicht, in dem die Handhabung von „Eigenverbrauch von Solarstrom nach § 33 Abs. 2 EEG 2009“ erörtert wird. Danach liegt die unternehmerische Gesamtverantwortung beim Anlagenbetreiber. Zudem muss der Anlagenbetreiber beachten, dass den Mietern, nach § 20 Abs. 1 Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), das Recht auf die freie Wahl des Energieversorgers weiterhin gewährt wird. Ist die Bindung an die Stromabnahme nicht ausdrücklich im Mietvertrag verankert, muss diese Randbedingung im Versorgungskonzept berücksichtigt werden. Aus technischer Sicht ist dies mit der Realisierung des Summenzählermodells machbar. Die Abrechnung des Stroms mit den Mietern erfolgt hierbei über den Anlagenbetreiber. Die Abrechnung der Einspeisevergütung des PV-Stroms erfolgt über die kaufmännisch-bilanzielle Weitergabe (§ 8 Abs. 2 EEG) über sog. virtuelle Zählpunkte (§ 4 Abs. 3b Satz 2 KWKG).

Für den Anlagenbetreiber ergeben sich weitere rechtliche Rahmenbedingungen für die Umsetzung des vorgeschlagenen Stromvermarktungsmodells. Als Versorger muss er zunächst eine Erlaubnis nach § 4 Stromsteuergesetz (StromStG) beantragen. Diese wird vom Hauptzollamt unter Voraussetzung der in § 4 Abs. 2 StromStG aufgelisteten Kriterien erteilt. Eine Anzeige der Energiebelieferung nach § 5 EnWG muss bei der Regulierungsbehörde nicht angezeigt werden. Laut § 5 EnWG ist „die Belieferung von Haushaltskunden ausschließlich innerhalb einer Kundenanlage“ von dieser Pflicht befreit.



Grundlagen Stromvermarktung in Mehrfamilienhäusern

- PV-Anlagenbetreiber ist gleichzeitig Stromversorger der Mieter
- PV-Strom wird prioritär im Gebäude direkt genutzt und gespeichert
- Erzeugungsüberschüsse werden in das öffentliche Netz eingespeist und nach EEG vergütet
- Erforderlicher Netzstrom wird vom Anlagenbetreiber bezogen und an die Mieter weitergegeben
- Wohnungsweise Erfassung des Wärme- und Stromverbrauchs
- Heizkostenverordnung findet keine Anwendung aufgrund der Wärmeversorgung mittels Wärmepumpe



Stromvermarktung in Mehrfamilienhäusern - gesetzliche Vorgaben

Zusätzlich zu beachtende, gesetzliche Vorgaben beim PV-Stromverkauf an die Mieter:

- Erlaubnis nach § 4 StromSTG **muss beantragt werden**
Diese wird laut § 4 StromSTG vom Hauptzollamt unter Voraussetzung der in § 4 Abs.2 StromSTG aufgelisteten Kriterien erteilt.
- Anzeige der Energiebelieferung nach § 5 EnWG muss bei der Regulierungsbehörde NICHT angezeigt werden.
Laut § 5 EnWG ist „die Belieferung von Haushaltskunden ausschließlich innerhalb einer Kundenanlage“ von dieser Pflicht befreit.

4.10.1. Abrechnungsmodell „Energiepauschale“

Aus technischer und rechtlicher Sicht werden mit dem Summenzählermodell alle erforderlichen Randbedingungen erfüllt. Für die Abrechnung des Energiebedarfs mit den Mietern wird vom Bauherrn ein „Warmmietenmodell“ präferiert. Die Zahlung einer monatlichen Energiepauschale von den Mietern an den Anlagenbetreiber ist dafür Voraussetzung. In der Energiepauschale sind sowohl die Wärmeversorgung als auch ein zuvor definiertes Kontingent an Strom enthalten. Die Bemessung des Stromkontingents orientiert sich an dem errechneten Strombedarf einer äquivalenten Wohnung mit einer ausschließlichen Ausstattung mit hocheffizienten Haushaltsgeräten. Wird das Stromkontingent überschritten, muss der Mieter einen entsprechenden Arbeitspreis für jede zusätzlich verbrauchte Kilowattstunde Strom entrichten. Damit besteht indirekt ein finanzieller Anreiz zur effizienten Stromnutzung, der zur Erfüllung des Plus-Energie-Standards beiträgt.

Weiterhin hat jeder Mieter die freie Wahl des Stromversorgers. Zwar verpflichten sich die Mieter vertraglich zur Zahlung der Energiepauschale, dennoch kann ein Mieter den Strom von einem Dritten beziehen. In diesem Fall hat der Mieter monatlich die Energiepauschale als auch die Stromrechnung an den externen Stromversorger zu errichten. Da dieser finanzielle Mehraufwand von den Mietern in der Regel nicht in Kauf genommen wird, ist eine hohe Beteiligung an dem internen Stromvermarktungsmodell zu erwarten. Ebenso sichert sich der Anlagenbetreiber damit den wirtschaftlichen Betrieb des Energieversorgungssystems im Gebäude. Alle anfallenden Kosten müssen daher durch die Energiepauschale abgedeckt werden. Zu berücksichtigende Kosten und Erlöse für den Anlagenbetreiber sind:

- Fixe Kostenbestandteile für Messung, Abrechnung und Vertrieb
- Stromgestehungskosten der PV- und Stromspeicheranlage
- Kosten für externen Strombezug
- Steuern und Abgaben
- Erlöse aus PV-Stromeinspeisung

Der Vorteil dieses Stromvermarktungsmodells liegt neben der zum Teil erneuerbaren Stromerzeugung im Gebäude an der hohen Preisstabilität für den Nutzer. Da sich die Kosten zum großen Teil aus den Kapitalkosten zusammensetzen und diese einmalig anfallen, kann der Anlagenbetreiber einen relativ stabilen Energiepreis garantieren. Marktabhängige Strompreissteigerungen beeinflussen lediglich den vom öffentlichen Stromnetz zusätzlich bezogenen Strom.

4.10.2. Berechnung der „Energiepauschale“

Für die Wirtschaftlichkeit des vorgeschlagenen Stromvermarktungskonzepts müssen die anfallenden Kosten des Anlagenbetreibers gedeckt werden. Auf der Kostenseite sind hierbei alle Kapitalkosten für die Wärme- und Strombereitstellung, die Betriebskosten für Instandsetzung, Wartung und Stromeinkauf. Diesen Kosten stehen die Erlöse durch die Vergütung des eingespeisten PV-Stroms gegenüber. Da die EEG-Vergütung allein nicht zur Deckung der Kosten ausreicht, muss der Anlagenbetreiber die „Energiepauschale“ von den Mietern verlangen.

In der folgenden Zusammenstellung ist das prinzipielle Vorgehen zur Berechnung der Energiepauschale aufgelistet:

1. Berechnung des **Wärme- und Strombedarfs** des Gebäudes
2. Ermittlung der Strommengen für
 - PV-Stromerzeugung
 - Strombedarf (Haushaltsstrom, Allgemeinstrom, Wärmepumpe)
 - Anteil Direktnutzung, Speicherung und Einspeisung
3. Definition der Berechnungsparameter
 - Anlagenkosten (PV, Stromspeicher, Wärmeerzeugung)
 - Preise für Strombezug und Verkauf
 - Einspeisevergütung
 - Zinssätze und Steigerungsrate
4. Ermittlung der **Jahresgesamtkosten** (Kapitalkosten und Betriebskosten) für die Wärmebereitstellung, Stromerzeugung und -speicherung in Anlehnung an die **VDI 2067**
5. Festlegung von kostendeckenden **monatlichen Abschlagszahlungen** für Wärme und Strom (unter Berücksichtigung von Verwaltungskosten, Gewinnmarge etc.)

Für das Aktiv-Stadthaus resultiert mit den aktuell verwendeten Randbedingungen eine erforderliche, monatliche Pauschale für Strom und Wärme von jeweils 60 € pro Wohneinheit. Wird diese Pauschale vom Anlagenbetreiber als Erlös verbucht, verbleibt ein jährlicher Überschuss in Höhe von rund 5,4 T€. Mit diesem Erlös muss der Anlagenbetreiber seinen Aufwand für die Abrechnung und Vermarktung begleichen. Die einzelnen Bestandteile der Ausgaben und Einnahmen sind in Abb. 78 aufgeführt. Dabei wird angenommen, dass sich alle Nutzer an dem Stromvermarktungsmodell beteiligen. Zur Erhöhung des PV-Eigennutzungsgrads auf 49 % kommt dabei ein Stromspeicher mit einer Gesamtkapazität von 210 kWh (zzgl. 40 kWh für E-Mobilität) zum Einsatz. Die resultierenden Jahresgesamtkosten basieren auf einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren. Für die Mieter ergeben sich

dabei mittlere Stromkosten in Höhe von 28 ct/kWh (netto). Dies entspricht einem aktuellen Strompreis von 23,5 ct/kWh bei einer Strompreissteigerung von 2 %/a über 20 Jahre. Im Vergleich zu dem mittleren Strompreis für den Monat September im Jahr 2012 in Höhe von rund 22 ct/kWh (BMWi) liegen die Kosten für die angestrebte Versorgung damit auf marktüblichem Niveau.

Gebäudekennwerte

Anzahl der Haushalte:	74	Teilnehmende HH am Strommodell:	74
Strombedarf pro Haushalt:	2.153 kWh/(HH*a)	Wohnfläche:	6.480 m ²
Strombedarf HH, ges.:	159.295 kWh/a	Variante	V9
Wärmebedarf HH, ges.:	259.000 kWh/a		

Wirtschaftlichkeitsberechnung "Warmmiete" (Nettokosten)

	Einnahmen [€]			Ausgaben [€]				
	Warmmietpauschale (monatlich)		Einspeisung PV	Wärmebereitstellung		PV	Stromspeicher	Nutzerstrom
	Strom	Wärme	Strom	Strombezug	Kapitalkosten	Kapitalkosten	Kapitalkosten	Strombezug
pro Wohnung und Monat	60,0 €	60,0 €						
pro Monat (Gesamtgebäude)	4.440 €	4.440 €						
pro Jahr (Gesamtgebäude)	53.280 €	53.280 €	15.518 €	9.126 €	21.400 €	55.967 €	13.540 €	16.626 €
Gesamt	122.078 €			116.658 €				
Gewinn (+) / Verlust (-)	5.420 €							
pro Haushalt	73 €/(HH*a)							

Strompauschale:		Wärmepauschale:	
Grundpreis Strom f. Nutzer:	10 €/Monat	Wärmepreis f. Bewohner:	0,160 €/kWh
Arbeitspreis Strom f. Nutzer:	0,279 €/kWh		
Stromkosten je WE	720 €/Jahr	Wärmekosten je WE	720 €/Jahr
Spezifische Bruttokosten	0,82 €/(m ² *Monat)	Spezifische Bruttokosten	0,82 €/(m ² *Monat)

Abb. 78 Berechnung der Strompauschale; Quelle: STZ

Die Berechnung beinhaltet bisher alle aufgeführten Kostenbestandteile für die Ermittlung der Energiepauschale. Wird beispielhaft davon ausgegangen, dass der Bauherr die Kapitalkosten für die Wärmebereitstellung bereits in die Kaltmiete eingliedert, ergibt sich folgendes Resultat in Abb.79. Der Anlagenbetreiber erzielt weiterhin einen Gewinn in Höhe von rund 4,6 T€/a. Für die Mieter sinken die monatlichen Energiepauschalen auf 40 € für Strom und 55 € für Wärme. Der Strompreis je Kilowattstunde kann dabei von ursprünglich 28 ct/kWh auf etwa 17 ct/kWh gesenkt werden. Ein finanzieller Vorteil wird sich für den Mieter daraus nicht ergeben, da die anfallenden Kosten nur umgeschichtet und bereits in der Grundmiete enthalten wären.

Gebäudekennwerte

Anzahl der Haushalte:	74	Teilnehmende HH am Strommodell:	74
Strombedarf pro Haushalt:	2.153 kWh/(HH*a)	Wohnfläche:	6.480 m ²
Strombedarf HH, ges.:	159.295 kWh/a	Variante	V9
Wärmebedarf HH, ges.:	259.000 kWh/a		

Wirtschaftlichkeitsberechnung "Warmmiete" (Nettokosten)

	Einnahmen [€]			Ausgaben [€]				
	Warmmietpauschale (monatlich)		Einspeisung PV	Wärmebereitstellung		PV	Stromspeicher	Nutzerstrom
	Strom	Wärme	Strom	Strombezug	Kapitalkosten	Kapitalkosten	Kapitalkosten	Strombezug
pro Wohnung und Monat	40,0 €	55,0 €						
pro Monat (Gesamtgebäude)	2.960 €	4.070 €						
pro Jahr (Gesamtgebäude)	35.520 €	48.840 €	15.518 €	9.126 €	0 €	55.967 €	13.540 €	16.626 €
Gesamt	99.878 €			95.259 €				
Gewinn (+) / Verlust (-)	4.619 €/a							
pro Haushalt	62	€/HH*a						

Strompauschale:		Wärmepauschale:	
Grundpreis Strom f. Nutzer:	10 €/Monat	Wärmepreis f. Bewohner:	0,078 €/kWh
Arbeitspreis Strom f. Nutzer:	0,167 €/kWh		
Stromkosten je WE	480 €/Jahr	Wärmekosten je WE	660 €/Jahr
Spezifische Bruttokosten	0,54 €/m ² *Monat	Spezifische Bruttokosten	0,75 €/m ² *Monat

Abb.79 Berechnung der Strompauschale ohne Berücksichtigung der Kapitalkosten für die Wärmebereitstellung; Quelle: STZ

4.11. Monitoring und Messkonzept

Das Monitoring-Konzept ist weitgehend an den Leitfaden für das Monitoring des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung über die Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte „Plus-Energie-Haus-Standard“ angeglichen. Abweichend von diesem wird das Nutzerverhalten exemplarisch an 10 Mieteinheiten mittels fernauslesbaren Zählern erfasst und davon 5 Mieteinheiten zusätzlich mit „Digitalstrom“ (oder einer vergleichbaren Technik) ausgerüstet - einer neuen Art der Vernetzung, die neben dem Auslesen und Verarbeiten von Stromverbrauchswerten auch bedarfsabhängiges Schalten ermöglicht.

Monitoring - Zentrale Einrichtungen

Erfasst werden die dem Gebäude zugeführten Energiemengen (Strom, Gas, Wärme,...), die im Gebäude verbraucht und die an Dritte übergebenen Energiemengen einschließlich der wichtigsten Klimadaten.

Energiezufuhr:

- Stromzähler gesamt
- Wärmepumpe: Stromzähler, Wärmemengenzähler aus Abwasserwärmetauscher
- Gas-Brennwertkessel: Gaszähler, Stromzähler
- Stromzähler Gebäudeautomation

Genutzte Energie und hausinterne Verluste:

- Wärmepumpe: Wärmemengenzähler
- Gas-Brennwertkessel: Wärmemengenzähler
- Pufferspeicher: je Speicher (3 Stück) ein Wärmemengenzähler für Be- und Entladung
- PV-Module: Stromzähler für Hauseinspeisung und Netzeinspeisung
- Batteriespeicher: Stromzähler Be- und Entladung
- E-Mobilität: Stromzähler Ladung und Entladung

Klimadaten:

- Globalstrahlung nach Himmelsrichtung und Neigung
- Windstärke und -richtung
- Temperatur
- Niederschlag

Nutzerverhalten allgemein (siehe Abb. 80)

Erfasst wird je Mieteinheit:

- Haushaltsstromverbrauch
- Stromverbrauch Anlagentechnik (kontrollierte Lüftung und Hilfsstrom Warmwasserbereitung und Heizung)
- Wärmemenge Warmwasserbereitung und Badheizkörper
- Wärmemenge Fußbodenheizung

Jede Mieteinheit wird mit einem Display ausgestattet, über das der jeweils eigene momentane Energieverbrauch im Vergleich mit verschiedenen eigenen und gebäudebezogenen Verbrauchswerten dargestellt wird.

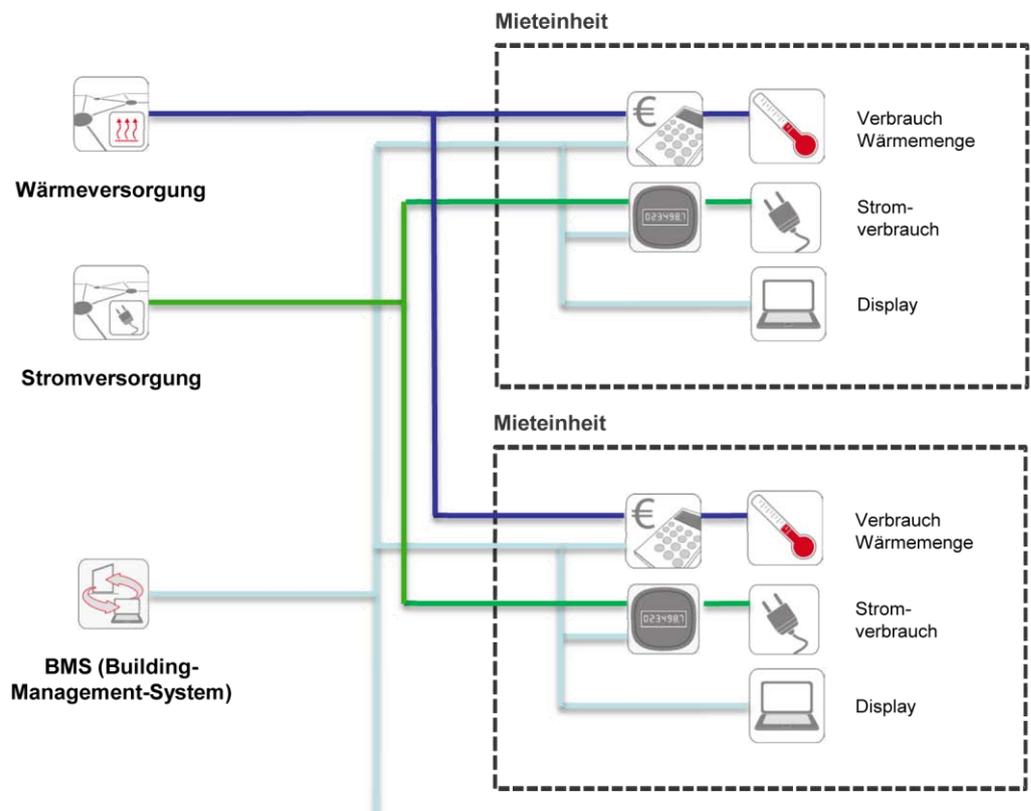


Abb. 80 Monitoring Standardvarianten für 64 WE; Quelle: STZ

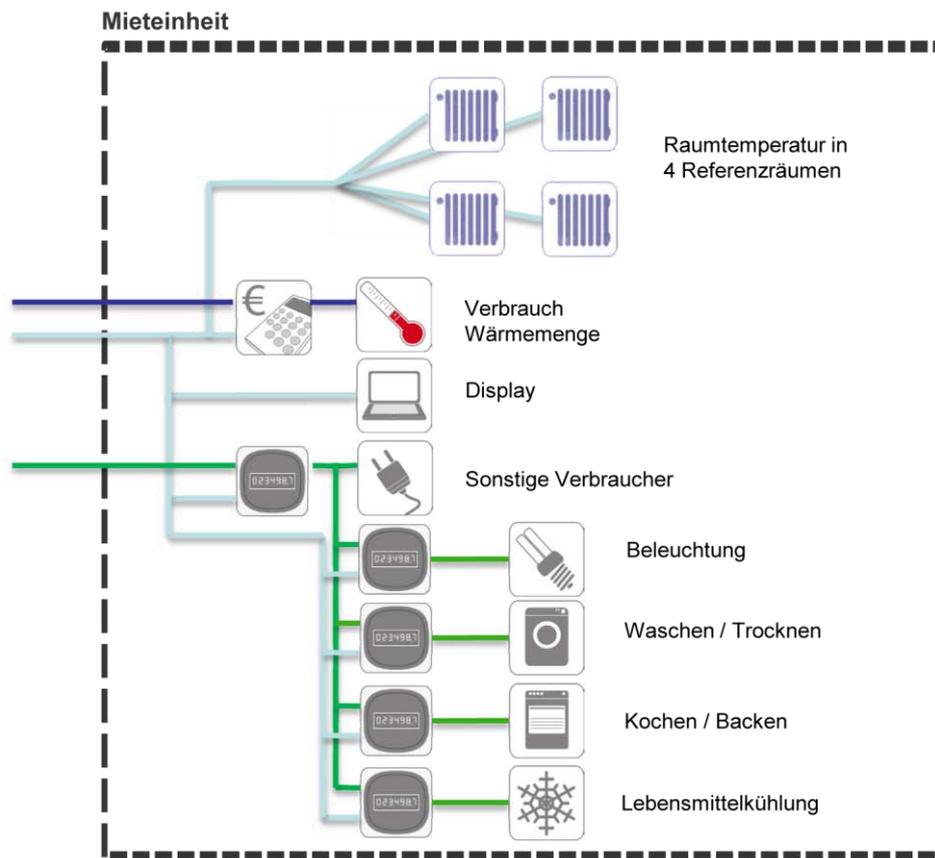


Abb. 81 Weitergehende Erfassung des Nutzerverhaltens für je 5 Mieteinheiten
Variante 1 - Smart Metering Quelle: STZ

Nutzerverhalten erweitert (siehe Abb. 81)

Erfasst wird zusätzlich in 10 Mieteinheiten:

- Stromverbrauch Lebensmittelkühlung
- Stromverbrauch für die Spülmaschine
- Stromverbrauch Waschmaschine und Wäschetrockner
- Stromverbrauch Kochen und Backen
- Stromverbrauch Beleuchtung
- Stromverbrauch für Lüftung und Sonstige
- Raumtemperatur in je 4 Referenzräumen

Nutzerverhalten und Akzeptanz von bedarfsabhängiger Schaltung der Haushaltsgeräte (siehe Abb.82)

Weitere 5 Mieteinheiten werden mit der erweiterten Verbrauchserfassung und „Digitalstrom“ oder einer vergleichbaren Technik ausgerüstet. Damit können Verbraucher bzw. Verbraucherguppen in Abhängigkeit des zur Verfügung stehenden Solarstromes geschaltet und der Stromverbrauch ausgelesen werden.

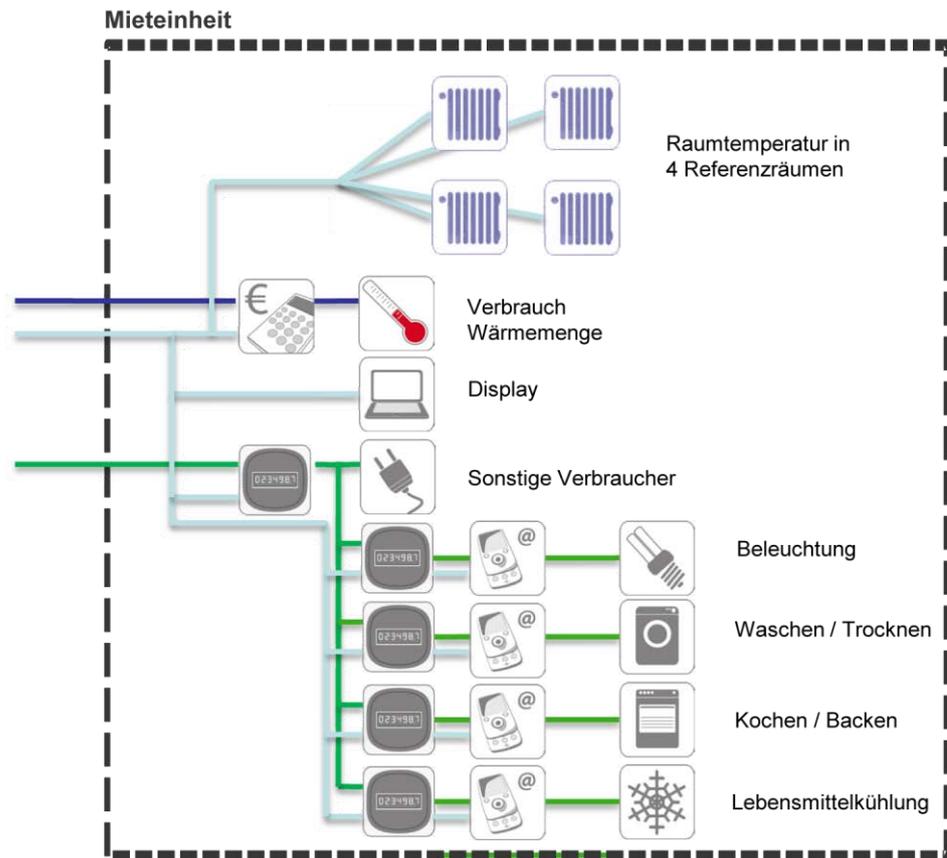


Abb.82 Weitergehende Erfassung des Nutzerverhaltens für je 5 Mieteinheiten
 Variante 2 – „Digitalstrom“; Quelle: STZ

Die Informationen über Momentanwert von Verbrauch, zur Verfügung stehenden eigenerzeugten Strom und der Prognose für die nächsten 24 Stunden stehen auf dem Nutzerinterface zur Verfügung. Die Mieter bekommen eine allgemeine Empfehlung, wann ein günstiger Zeitraum zum Stromverbrauch ist und können entscheiden, ob sie bestimmte Schalthandlungen generell und automatisiert zulassen oder den Stromverbrauch in Abhängigkeit der Empfehlung selbst beeinflussen. Stromintensive Verbraucher können zeitabhängig programmiert und separate Bedingungen für Zu- und Abschaltung definiert werden, so kann z.B. eine Waschmaschine bei Überschuss an eigenerzeugtem Strom eingeschaltet werden, beendet aber den Waschgang auf jeden Fall und unabhängig von der Erzeugung.

Diese 5 Mieteinheiten werden ebenfalls mit je 4 Stück Raumtemperaturfühlern ausgerüstet.

4.12. Analyse der Randbedingung des Aktiv-Stadthauses - allgemeine Rückschlüsse auf Mehrfamilienhäuser im Plus-Energie-Standard

Die Plus-Energie-Bilanz eines Mehrfamilienhauses ist u.a. von Standortfaktoren wie dem Grundstück, der Orientierung, der Verschattung und der Gebäudekubatur abhängig. Gerade bei Baugrundstücken in innerstädtischer Lage wie bei dem Aktiv-Stadthaus spielen diese eine wichtige Rolle. Im folgenden Kapitel werden entwurfs- und grundstücksbedingte Planungsparameter untersucht und daraus allgemeine Hinweise für die Planung von Plus-Energie-Mehrfamilienhäusern abgeleitet.

Zudem soll die besondere Herausforderung des Erzielens eines Plus-Energie-Standards im Vergleich zu einem Plus-Energie-Einfamilienhaus erörtert werden.

Zu Beginn werden die Kompaktheit und das Verhältnis von aktiv nutzbarer Gebäudehülle zum Energiebedarf verschiedener Gebäudetypen analysiert. Hierzu werden typische Kubaturen verschiedener Mehrfamilienhaustypologien untersucht und deren Energiebilanzen verglichen. Abschließend werden am Beispiel des Demonstrativbauvorhabens der Einfluss der Wohndichte, der Verschattung, der Kubatur und der Ausrichtung auf die Plus-Energiebilanz, aber auch auf einzelne Parameter wie die Energiebezugsfläche, -bedarfe und -erträge analysiert und hieraus allgemeine Hinweise abgeleitet.

4.12.1. Kompaktheit

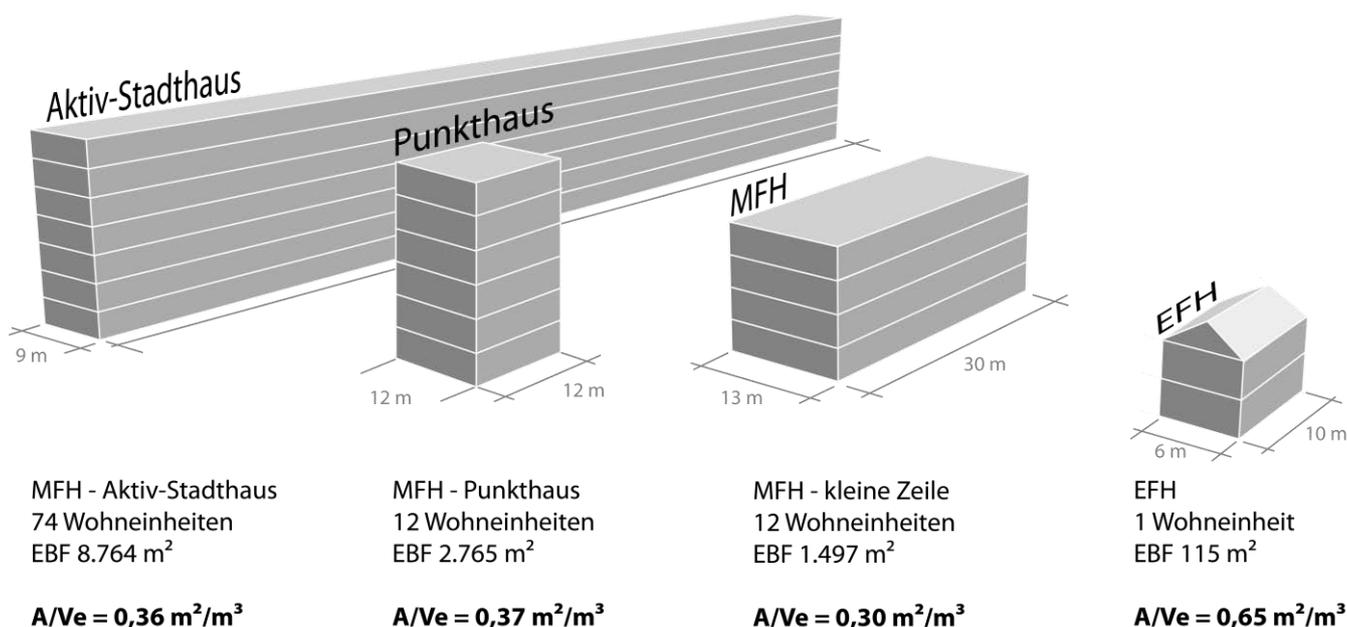


Abb. 83 Kompaktheit verschiedener Wohnungsbautypologien; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Das Aktiv-Stadthaus ist als großes Mehrfamilienhaus im Vergleich zu einem freistehenden Einfamilienhaus kompakter und damit für den Energiebedarf positiver zu bewerten (A/V_E Einfamilienhaus = $0,65 \text{ m}^2/\text{m}^3$, Aktiv-Stadthaus = $0,36 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Gegenüber anderen Mehrfamilienhäusern besitzt das Aktiv-Stadthaus jedoch eine etwas geringere Kompaktheit. Dies ist mit dem äußerst schmalen und langgestreckten Grundstück zu begründen.

4.12.2. Verhältnis solaraktiv nutzbarer Hüllfläche zum Energiebedarf

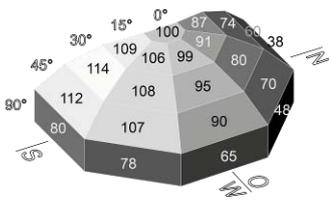


Abb. 84 relative jährliche Einstrahlung [%] auf unterschiedlichen Orientierungen und Neigungen; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Die Plus-Energie-Bilanz ist bei Energiekonzepten mit Anwendung von Photovoltaik von der verfügbaren solaraktiv nutzbaren Fläche in der Gebäudehülle abhängig. In der Regel sind dies die Dachfläche und die Fläche der Südfassade. Auch Ost- und Westfassaden können genutzt werden um den Ertrag durch eine Steigerung der Flächenausnutzung zu erhöhen: ihre Nutzung ist jedoch wirtschaftlich noch nicht abbildbar. Das Dach besitzt mit seiner Neigung von 0° bis i.d.R. 45° im Vergleich zur Fassadenfläche mit 90°-Neigung einen hohen Ausnutzungsgrad der Globalstrahlung (siehe Abb. 84). Aus diesem Grund wird daher zunächst die Dachfläche aktiviert. Ist jedoch der zu deckende Energiebedarf zu hoch oder die solar aktivierbare Dachfläche im Verhältnis zur Fassadenfläche geringer, birgt die Fassadenfläche ein zusätzliches Flächenpotential.

Verhältnis solaraktiv nutzbarer Dach- zu Fassadenfläche

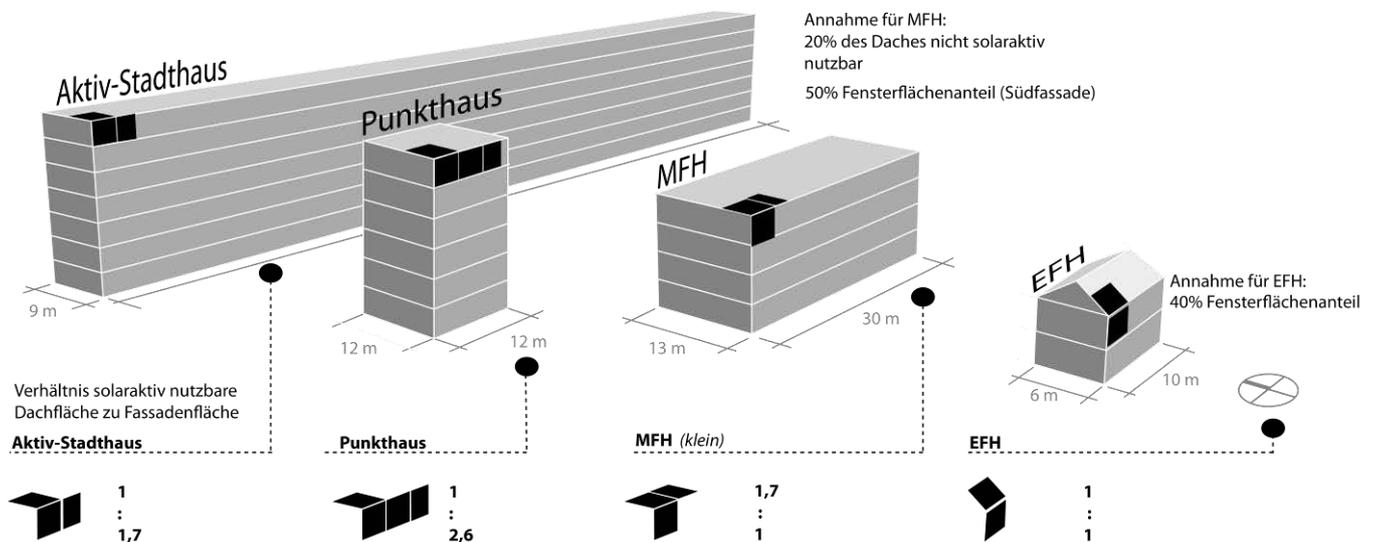


Abb. 85 Das Verhältnis solaraktiv nutzbarer Dach- zu Fassadenfläche (Südfassade) verschiedener Wohnungsbautypologien im Vergleich; Quelle: FGee, TU Darmstadt

In einem Vergleich des Flächenverhältnisses der Dach- zur Fassadenfläche verschiedener Gebäudetypologien im Wohnungsbau zeigen sich die unterschiedlichen Verhältnisse von solaraktiv nutzbarer Dachfläche zur Fassadenfläche (siehe Abb. 85). Als solar aktivierbare Fassadenfläche wurde zunächst nur die größere Fassadenseite betrachtet. Diese wird als Südfassade angenommen.

Bei einem Einfamilienhaus liegt das solaraktive Flächennutzungspotential aufgrund oft heterogenen Fassadenöffnungen vor allem auf dem Dach des Gebäudes. Auch bei kleinen Mehrfamilienhäusern (z.B. freistehende Zeilen) kann das Verhältnis zugunsten des Daches ausfallen. Bei größeren Gebäuden, wie bei dem Aktiv-Stadthaus, ist die Fassadenfläche im Verhältnis zum Dach größer. Dies fördert Überlegungen zur solaren Aktivierung von Fassadenflächen. Auch beim Punkthaus-Typ wird dies deutlich. Ist das Gebäude um etwa 45° aus der Südachse gedreht, können auch zwei Fassaden zur Aktivierung angedacht werden, um das Flächenpotential in der Fassade zusätzlich zu vergrößern.

Dieses Verhältnis kann sich jedoch durch eine Verschattung der Fassade verschieben. Entscheidend bleibt bei MFH jedoch die konsequente Ausnutzung der Dachflächen. Für das Erreichen des Plus-Energie-Standards kann je nach projektspezifischen Randbedingungen auch eine Aktivierung der Fassadenfläche für das Erreichen des Ziels sinnfälliger sein.

Solarkative Flächenpotentiale bei MFH

- Die Fassadenfläche birgt bei MFH ein zusätzliches Flächenpotenzial
- Aufgrund von Verschattungen der Fassadenfläche und höherer Ausnutzung der Globalstrahlung ist die solare Aktivierung des Daches gerade im innerstädtischen Bereich zu priorisieren.

Verhältnis solaraktiv nutzbarer Dach- und Fassadenfläche zur Energiebezugsfläche (EBF)

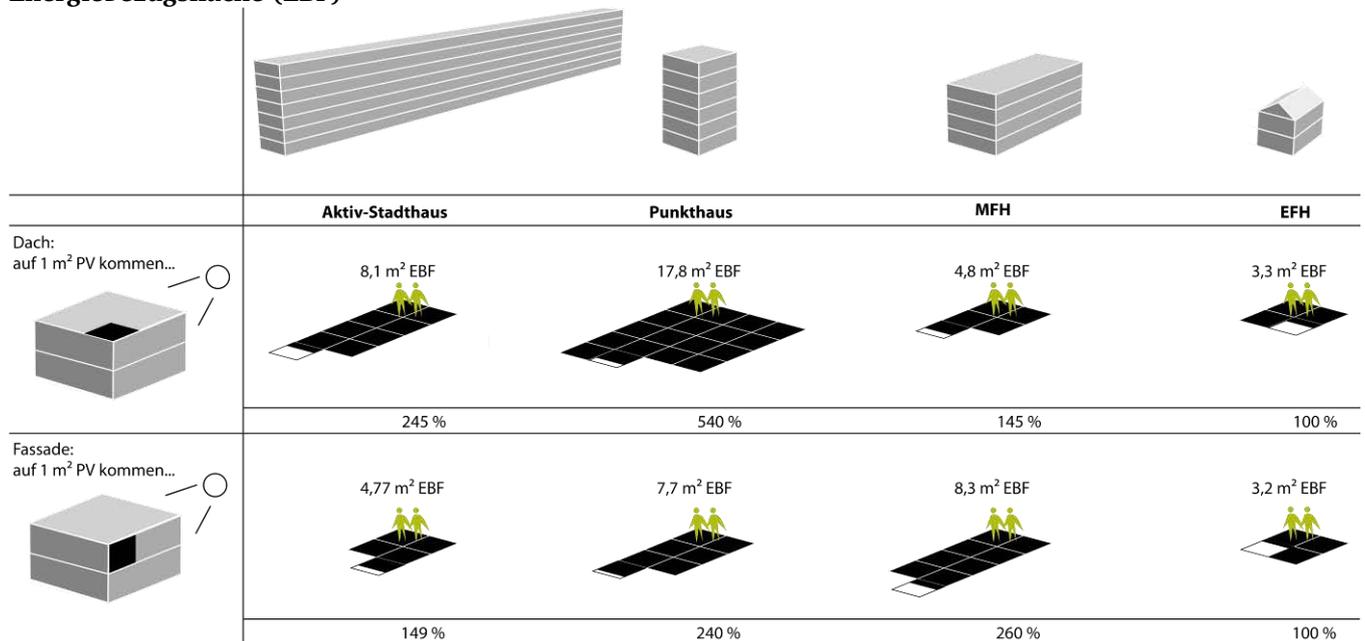


Abb. 86 Das Verhältnis solaraktiv nutzbarer Hüllfläche zur Energiebezugsfläche verschiedener Wohnungsbautypologien im Vergleich; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Bei einem Einfamilienhaus ist der Plus-Energie-Standard im Vergleich zu einem Mehrfamilienhaus leichter zu erzielen. Dies macht die folgende Untersuchung deutlich (siehe Abb. 86):

In einem Vergleich der Hüllfläche zur Energiebezugsfläche (Bedarf) zeigt sich, dass die Energiebezugsfläche, die auf 1 m² solar aktivierbare Hüllfläche (Ertrag) bezogen ist, bei Mehrfamilienhäusern ein Vielfaches beträgt.

Beim Aktiv-Stadthaus ist die Energiebezugsfläche im Verhältnis zur aktivierbaren Dachfläche im Vergleich zu einem Einfamilienhaus ca. um das 2,5-fache größer. Deshalb spielt bei Mehrfamilienhäusern die Energieeinsparung eine große Rolle; dazu eine Maximierung des solaren Energieertrags, z.B. durch höhere Modulwirkungsgrade, Maximierung der Flächenbelegung oder optimale Ausrichtungen der Module.



Verhältnis der EBF zur solaraktiv nutzbaren Hüllfläche bei MFH

Im Verhältnis zu einem EFH trifft 1m² PV bei einem MFH auf eine mehrfach größere Energiebezugsfläche. Dies bedingt eine:

- größere Bedeutung der Energieeinsparung
- größere Bedeutung der Maximierung des solaren Energieertrages (durch z.B. höhere Modulwirkungsgrade, optimale Neigung etc.)

4.12.3. Kubaturvariationen verschiedener Gebäudetypologien

Um die Abhängigkeit der Plus-Energie-Bilanz von der Gebäudekubatur und dem damit verbundenen Verhältnis von Energiebezugsfläche (EBF) zur solaraktiv nutzbaren Hüllfläche zu konkretisieren, wird das Erzielen der Plus-Energie-Standards für verschiedene Kubaturen typischer Mehrfamilienhaustypologien wie die eines Punkthauses und einer Zeile untersucht. Dabei soll die Frage evaluiert werden, ob unter Einsatz heute verfügbarer Technologien ab einer bestimmten Geschossigkeit und Grundfläche ein Plus-Energie-Standard nicht mehr zu erzielen ist.

In der Untersuchung wird dafür die Kubatur des jeweiligen Typs Gebäudehöhe, -länge und -tiefe variiert. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten werden bestimmte Bezugsgrößen festgeschrieben. Bei der Wahl dieser Bezugsgrößen werden die des Aktiv-Stadthauses wie folgt zugrunde gelegt: ein Endenergiebedarf von 29,31 kWh/m²a, eine Wohndichte von 39 m²/Person, eine solaraktive Nutzung des Daches mit einer vollflächigen PV-Belegung mit 10° Dachneigung und einem Modulwirkungsgrad von 19,5 %, sowie einer solaraktiven Nutzung der Fassade (90° Neigung) mit einem Modulwirkungsgrad von 8,5 %. Als solar aktivierbare Fläche wurden 80 % der Dachfläche sowie 50 % der nach Süden orientierten Fassadenfläche angenommen.

Da die Bilanz bei jedem Gebäudeentwurf von Faktoren wie Standort, Fensterflächenanteilen, Dachneigung, Wohndichte etc. abhängt, wird darauf hingewiesen, dass die im Folgenden ermittelten Ergebnisse je nach den gewählten Faktoren variieren können. Die Plus-Energie-Bilanz kann in Bezug auf die Kubatur sowohl über den Energiebedarf über die Energiebezugsfläche (Heizwärme- und Strombedarf), wie auch über die Optimierung des Energieertrags über die Hüllfläche (Maximierung der solaraktiven Fläche, Verbesserung der Neigung, Verbesserung des Modulwirkungsgrades) beeinflusst werden. Um den Einfluss dieser Optimierungspotenziale mit zu berücksichtigen, werden in der Untersuchung unterschiedliche Modulwirkungsgrade wie auch eine Verringerung des Endenergiebedarfs betrachtet.

Den folgenden Tabellen (Abb.88, Abb.90, Abb.92) ist eine Bilanzrechnung unter Variation der Gebäudekubatur zugrunde gelegt. Eine prozentuale Angabe > 0 % bedeutet, dass ein Erzeugungüberschuss (Plus-Energie-Bilanz) vorhanden ist. Ein Wert < 0 % zeigt eine Unterdeckung des Bedarfs (Minus-Energie-Bilanz) an. Hierbei werden die Ausgangsparameter auf 100 % festgelegt und die Kubaturvarianten jeweils ins Verhältnis zur Ursprungsvariante gesetzt.

Punkthaus

Bei einem Punkthaus wird von einer Grundfläche von 9 m x 9 m ausgegangen, die bei jeder weiteren untersuchten Variante um 1 m in Süd- und Westrichtung vergrößert wird (y-Achse). Die Grundvariante hat zwei Geschosse, die bei den weiteren untersuchten Varianten um jeweils ein Geschoss erhöht wird (x-Achse). Die sich ergebenden Grenzen zwischen Ertragsüberschuss und -defizit sind in der Vergleichstabelle (s. Abb.88) rot markiert.

Um den Einfluss der PV-Wirkungsgrade mit abzubilden, werden grün noch die „Grenzen“ zweier weiterer Fälle (links: Dach=14 % | Fassade=8,5 %, rechts: Dach=19,5 % | Fassade=12 %) abgebildet. Der Einfluss des Energiebedarfs wird mit einer exemplarischen Verbesserung des Endenergiebedarfs um 2,5 kWh/m²a (z.B. durch die Optimierung des Hüllstandards) betrachtet (schwarze Strichlinie).

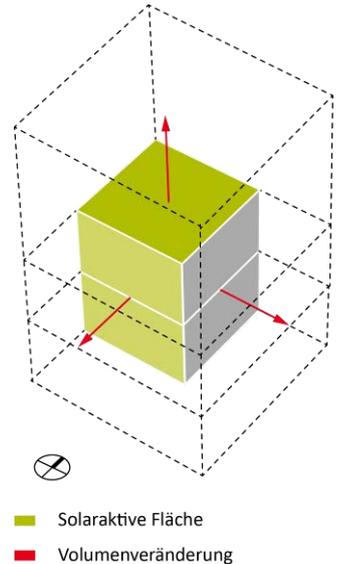


Abb. 87 Kubaturveränderung eines Punkthauses; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Der Energiebedarf pro Geschoss steigt im Verhältnis zum zusätzlichen Ertrag aus der dazugewonnenen Fassadenfläche pro Geschoss wesentlich schneller. Durch die größere Dachfläche wird im Verhältnis zur Energiebezugsfläche ein höherer Ertrag erzeugt als aus der Bedarfssteigerung über die Grundflächenmaximierung resultiert. Der Einfluss der Ertragssteigerung in der Fassade hat demgegenüber nur einen geringeren Einfluss.

Der Einfluss der größer werdenden Energiebezugsfläche (Bedarf) ist bei vielen Geschossen jedoch größer als die Ertragssteigerung über das Dach und die Fassade. Dies ist vor allem dann wahrnehmbar, wenn man das 2-geschossige Gebäude mit den 15-geschossigen Gebäuden vergleicht. Der geringe Ertrag über die Fassade und die im Verhältnis geringe Maximierung der Dachfläche gleicht die Erhöhung der Energiebezugsfläche nicht mehr aus. Der Ertragsüberschuss kippt sichtbar (siehe auch Diagramm Abb. 93, links).

Geschosse/ Gebäudebreite/ tiefe	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
9 m x 9 m	100%	89%	78%	67%	56%	45%	34%	23%	12%	1%	-10%	-21%	-32%	-43%
10 m x 10 m	119%	103%	87%	71%	55%	39%	23%	7%	-9%	-25%	-41%	-57%	-73%	-89%
11 m x 11 m	139%	117%	96%	74%	52%	31%	9%	-12%	-34%	-56%	-77%	-99%	-121%	-142%
12 m x 12m	161%	133%	105%	77%	50%	22%	-6%	-34%	-62%	-90%	-118%	-146%	-173%	-201%
13 m x 13 m	185%	150%	115%	81%	46%	11%	-24%	-58%	-93%	-128%	-163%	-197%	-232%	-267%
14 m x 14 m	211%	168%	126%	84%	42%	-1%	-43%	-85%	-127%	-170%	-212%	-254%	-296%	-339%
15 m x 15 m	238%	188%	137%	87%	37%	-14%	-64%	-115%	-165%	-215%	-266%	-316%	-366%	-417%

Abb.88 Verhältnis der Plus-Energie-Bilanzen bei unterschiedlichen Grundflächen und Gebäudehöhen von Punkthäusern unter Annahme des Standorts Frankfurt am Main; Quelle: FGee, TU Darmstadt

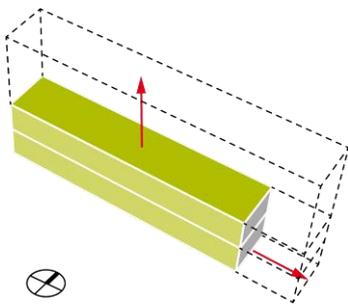


Das Optimierungspotenzial durch die Wahl besserer Modulwirkungsgrade in der Fassade und im Dach ist sehr hoch. Würde man einem Modulwirkungsgrad für die Fassade von 12 % anstelle 8,5 % einsetzen, verschiebt sich die „Grenzachse“ zwischen Ertragsüberschuss und -defizit um eins bis vier Geschosse ins Positive. Ein Ertragsüberschuss ist somit bei gleichen Parametern mit vier Geschossen mehr bei 9 x 9 m und einem Geschoss mehr bei 15 x 15 m möglich. Der Fassadenertrag hat bei kleineren Grundflächen einen größeren Einfluss. Reduziert man hingegen den sehr guten Modulwirkungsgrad der Hochleistungsmodule auf dem Dach von 19,5 % auf kostengünstige Module mit ca. 14 %, ist ein Ertragsüberschuss nur noch mit zwei bis drei Geschossen weniger durchführbar. Die Optimierung des Endenergiebedarfs um 2,5 kWh/m²a würde einen Ertragsüberschuss ebenfalls bei ca. einem zusätzlichen Geschoss gewährleisten.

Kubaturvariation Punkthaus

Generell wirkt sich bei Punkthäusern die Vergrößerung der Grundfläche bei einer niedrigen Geschossigkeit (bis. ca. 5 Geschosse) positiv auf den Ertragsüberschuss aus. (Der Einfluss des höheren PV-Ertrags über das Dach ist größer als die Vergrößerung der Energiebezugsfläche und des damit verbundenen Energiebedarfs).

Bei hohen Punkthäusern (ab ca. 7 Geschossen) wirkt sich die Vergrößerung der Grundfläche negativ auf die Bilanz aus. Die Wahl der Kubatur, bzw. des Verhältnisses der Grundfläche zur Geschossigkeit hat einen **sehr hohen** Einfluss auf den Ertragsüberschuss und sollte daher früh in der Entwurfsphase auch energetisch optimiert werden. Das Optimierungspotenzial des Ertrags durch die Wahl besserer Modulwirkungsgrade oder des Hüllstandards kann bei einem knappen Ertragsüberschuss entscheidend sein, steht aber hinter dem der Kubatur.



-  Solaraktive Fläche
-  Volumenveränderung

Abb. 89 Kubaturveränderung einer Zeile in Länge und Höhe;
Quelle: FGee, TU Darmstadt

Zeilenbauten mit unterschiedlicher Gebäudelänge

Beim Zeilenbau wird zunächst von einer Grundfläche von 9 m x 45 m ausgegangen, die bei jeder weiteren untersuchten Variante um je 1 m verlängert wird (y-Achse). Die Grundvariante beinhaltet zwei Geschosse, die bei den weiteren untersuchten Varianten um je ein Geschoss erhöht wird (x-Achse). Die sich ergebende Grenze zwischen Energieüberschuss und -defizit ist in der Bilanzvergleichstabelle (s. Abb.90) rot markiert. Um den Einfluss der PV-Wirkungsgrade mit abzubilden, werden grün noch die „Grenzen“ zweier weiterer Fälle (links: Dach=14 % | Fassade=8,5 %, rechts: Dach=19,5 % | Fassade=12 %) abgebildet. Der Einfluss des Energiebedarfs wurde mit einer exemplarischen Verbesserung des Endenergiebedarfs um 2,5 kWh/m²a betrachtet (schwarze Strichlinie).

Geschosse/ Gebäudebreite/ tiefe	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
45 m x 9 m	100%	82%	64%	47%	29%	11%	-7%	-24%	-42%	-60%	-78%	-96%	-113%	-131%
46 m x 9 m	102%	84%	66%	48%	29%	11%	-7%	-25%	-43%	-62%	-80%	-98%	-116%	-134%
47 m x 9 m	104%	86%	67%	48%	30%	11%	-7%	-26%	-45%	-63%	-82%	-101%	-119%	-138%
48 m x 9 m	106%	87%	68%	49%	30%	11%	-8%	-27%	-46%	-65%	-84%	-103%	-122%	-141%
49 m x 9 m	109%	89%	70%	50%	31%	11%	-8%	-28%	-47%	-67%	-86%	-106%	-125%	-145%
50 m x 9 m	111%	91%	71%	51%	31%	11%	-9%	-29%	-48%	-68%	-88%	-108%	-128%	-148%
51 m x 9 m	113%	93%	72%	52%	32%	11%	-9%	-29%	-50%	-70%	-90%	-111%	-131%	-151%
52 m x 9 m	115%	94%	74%	53%	32%	11%	-9%	-30%	-51%	-72%	-92%	-113%	-134%	-155%
53 m x 9 m	117%	96%	75%	54%	33%	11%	-10%	-31%	-52%	-73%	-95%	-116%	-137%	-158%
54 m x 9 m	119%	98%	76%	55%	33%	11%	-10%	-32%	-53%	-75%	-97%	-118%	-140%	-161%
55 m x 9 m	122%	100%	78%	55%	33%	11%	-11%	-33%	-55%	-77%	-99%	-121%	-143%	-165%

-  Modulwirkungsgrad Dach: 19,5%
Fassade: 8,5%
-  Modulwirkungsgrad Dach: 14,0%
Fassade: 8,5%
-  Modulwirkungsgrad Dach: 19,5%
Fassade: 12,0%
-  Energiebedarf -2,5 kWh/m²a

Abb.90 Verhältnis der Plus-Energie-Bilanzen bei unterschiedlichen Gebäudebreiten von Zeilenbebauungen bei unterschiedlichen Modulwirkungsgraden und Verbesserung des Endenergiebedarfs unter Annahme des Standorts Frankfurt am Main; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Der Effekt des größer werdenden Energiebedarfs (Energiebezugsfläche) pro Geschoss wird hier ebenfalls deutlich. Unabhängig von der Verlängerung wird die Plus-Energie-Bilanz mit den Bilanz-Parametern des Aktiv-Stadthauses ab dem achten Geschoss nicht mehr erreicht (siehe auch Diagramm Abb. 93, Mitte). Dies ist mit dem gleich bleibenden Vergrößerungsverhältnis von solaraktiv nutzbarer Dach- und Fassadenfläche zur Energiebezugsfläche zu begründen.

Die Wahl von besseren PV-Wirkungsgraden in der Fassade kann einen Energieüberschuss bei bis zu zwei zusätzlichen Geschossen ermöglichen. Das Optimierungspotential zwischen Dach und Fassade ist identisch. Das Dach besitzt zwar einen geringeren Flächenzugewinn, aber dafür einen höheren Modulwirkungsgrad. Die Fassade besitzt einen geringeren Modulwirkungsgrad, erzeugt dafür aber einen größeren Flächenzuwachs.

Durch die Verringerung des Endenergiebedarfs kann ein Energieüberschuss auch mit einem zusätzlich Geschoss (bis zum achten Geschoss) erzielt werden.

Länger werdende Zeile

Der Effekt, dass sich bei gesteigerter Geschossfläche ein größerer Energieüberschuss bei niedriger Geschossigkeit (bis ca. 7 Geschosse) und ein größeres Energiedefizit bei hoher Geschossigkeit (ab ca. 7 Geschosse) einstellen, ist bei dieser Zeilenbebauung ebenfalls zu bemerken. Im Gegensatz zum Punkthaus ist das Gefälle pro Geschoss unabhängig von der Grundfläche fast gleichbleibend.

Zeilenbauten mit unterschiedlichen Gebäudetiefen

Bei einem zweiten betrachteten Zeilenbau wird von einer Grundfläche von 9 m x 45 m ausgegangen, die bei jeder weiteren untersuchten Variante um je 1 m in der Gebäudetiefe vergrößert wird (y-Achse). Bei zunehmender Gebäudetiefe wächst dabei die solar aktivierbare Fassadenfläche nicht mit. Die Grundvariante beinhaltet zwei Geschosse, die bei den weiteren untersuchten Varianten um je ein Geschoss erhöht wird (x-Achse). Die sich ergebende Grenze zwischen Energieüberschuss und -defizit ist in der Bilanzvergleichstabelle (s. Abb.92) rot markiert. Um den Einfluss der PV-Wirkungsgrade mit abzubilden, werden grün noch die „Grenzen“ zweier weiterer Fälle (links: Dach=14% | Fassade=8,5%, rechts: Dach=19,5%|Fassade=12%) abgebildet. Der Einfluss des Energiebedarfs wird auch hier mit einer Verbesserung des Endenergiebedarfs um 2,5 kWh/m²a betrachtet (schwarze Strichlinie).

Der Effekt des größer werdenden Einflusses des Energiebedarfs (Energiebezugsfläche) pro Geschoss ist hier ebenfalls zu bemerken. Die Bilanz kippt ähnlich wie bei einem Punkthaus und dem zuvor bereits betrachteten Zeilenbau (siehe auch Diagramm Abb. 93, rechts). Das Optimierungspotenzial der besseren Modulwirkungsgrade liegt ebenfalls bei jeweils zwei Geschossen (Endenergiebedarf -/+ 1 OG). Die Fassade hat bei der größeren Gebäudetiefe allerdings einen geringeren Einfluss aufzuweisen (45 x 15 m).

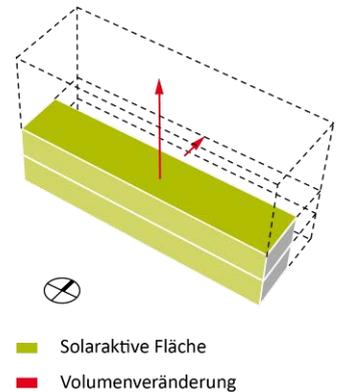


Abb. 91 Kubaturveränderung einer Zeile in Tiefe und Höhe; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Geschosse/ Gebäudebreite/ tiefe	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
45 m x 9 m	100%	82%	64%	47%	29%	11%	-7%	-24%	-42%	-60%	-78%	-96%	-113%	-131%
45 m x 10 m	109%	88%	67%	46%	25%	4%	-16%	-37%	-58%	-79%	-100%	-121%	-142%	-163%
45 m x 11 m	118%	94%	70%	46%	22%	-2%	-26%	-50%	-74%	-98%	-122%	-146%	-170%	-194%
45 m x 12 m	127%	99%	72%	45%	18%	-9%	-36%	-63%	-90%	-117%	-144%	-171%	-198%	-225%
45 m x 13 m	135%	105%	75%	45%	15%	-15%	-46%	-76%	-106%	-136%	-166%	-197%	-227%	-257%
45 m x 14 m	144%	111%	78%	44%	11%	-22%	-55%	-89%	-122%	-155%	-189%	-222%	-255%	-288%
45 m x 15 m	153%	117%	80%	44%	8%	-29%	-65%	-102%	-138%	-174%	-211%	-247%	-283%	-320%

Abb.92 Verhältnis der Plus-Energie-Bilanzen bei unterschiedlichen Gebäudetiefen von Zeilenbebauungen bei unterschiedlichen Modulwirkungsgraden und Verbesserung des Endenergiebedarfs unter Annahme des Standorts Frankfurt am Main; Quelle: FGee, TU Darmstadt

- Modulwirkungsgrad Dach: 19,5%
Fassade: 8,5%
- Modulwirkungsgrad Dach: 14,0%
Fassade: 8,5%
- Modulwirkungsgrad Dach: 19,5%
Fassade: 12,0%
- ||||| Energiebedarf -2,5 kWh/m²a

Tiefer werdende Zeile

Der Effekt, dass sich bei gesteigerter Geschossfläche ein Energieüberschuss bei niedriger Geschossigkeit (bis ca. 4 Geschosse) und ein Energiedefizit bei hoher Geschossigkeit (ab ca. 5 Geschosse) einstellen, ist bei dieser Zeilenbebauung ebenfalls zu bemerken.

Aufgrund der Vergrößerung der Grundfläche über die Gebäudetiefe ist der Einfluss auf die Bilanz im Gegensatz zur vorherigen Betrachtung (Zeilenbau mit unterschiedlichen Gebäudelängen) größer. (Spanne: tiefer werdende Zeile max. 437 %, länger werdende Zeile max. 165 %). Die Kubatur hat einen **mittleren bis großen Einfluss** auf die Bilanz.

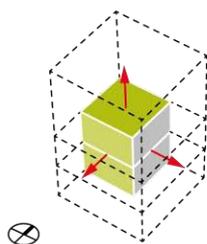
Abb. 93 Abhängigkeit der Plus-Energie-Bilanz von Geschossigkeit (Hüllfläche) und Grundfläche (Energiebezugsfläche) eines Punkthauses (links), einer Zeile mit einer Längenvariation (Mitte), einer Zeile mit einer Tiefenvariation (rechts) im Vergleich, unter Annahme des Standorts Frankfurt am Main; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Fazit

Der Einfluss der Energiebezugsfläche und damit des Energiebedarfs, ist bei allen drei betrachteten Mehrfamilienhaustypen sehr groß, am größten jedoch bei einem Punkthaus. Die Ertragssteigerung durch die Hüllflächenvergrößerung hat durch die geringe Flächensteigerung gerade bei hoher Geschossigkeit einen relativ geringen Einfluss auf einen Energieüberschuss (bzw. -defizit).

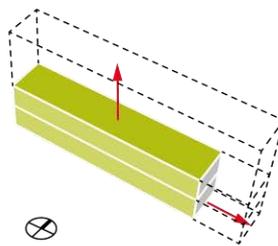
Das Optimierungspotenzial des Ertrags durch die Wahl besserer Modulwirkungsgrade oder besserer Hüllstandards kann eventuell bei einer knappen Bilanz entscheidend sein, die Kubatur hat jedoch ein weitaus höheren Einfluss.

Punkthaus



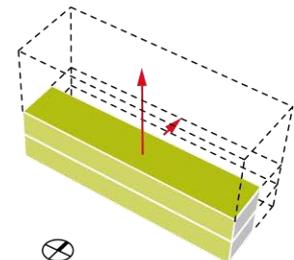
- Solaraktive Fläche
- Volumenveränderung

Zeile (Variation in der Länge)

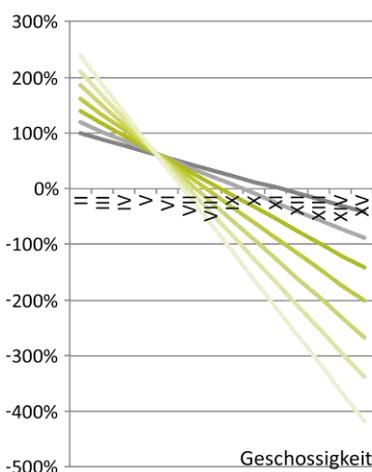


- Solaraktive Fläche
- Volumenveränderung

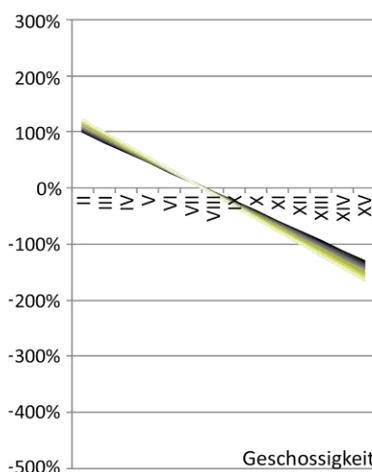
Zeile (Variation in der Tiefe)



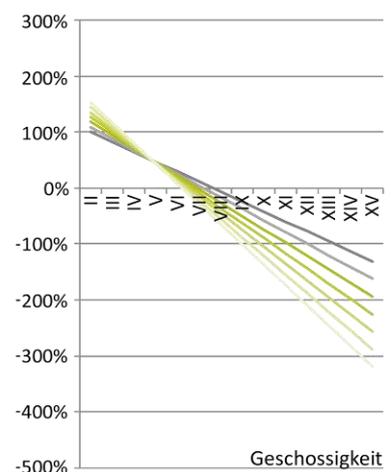
- Solaraktive Fläche
- Volumenveränderung



- 9 x 9m
- 10 x 10m
- 11 x 11m
- 12 x 12m
- 13 x 13m
- 14 x 14m
- 15 x 15m



- 45 x 9m
- 46 x 9m
- 47 x 9m
- 48 x 9m
- 49 x 9m
- 50 x 9m
- 51 x 9m
- 52 x 9m
- 53 x 9m
- 54 x 9m
- 55 x 9m



- 45 x 9m
- 45 x 10m
- 45 x 11m
- 45 x 12m
- 45 x 13m
- 45 x 14m
- 45 x 15m

4.12.4. Wohndichte

In der PHPP-Bilanz wird bei einer Wohnnutzung pauschal von einer durchschnittlichen Wohndichte von 35 m² pro Person ausgegangen. Laut Aussage des Bauherrn wird nach dem Frankfurter Wohnungsschlüssel eine Bewohneranzahl von 183 Personen erwartet. Dies würde eine niedrigere Wohndichte von 39 m²/Person ergeben. Aus diesem Grund wird hier untersucht wie stark der Energiebedarf und somit auch die Plus-Energiebilanz von der vorhandenen Wohndichte abhängen. Betrachtet werden die nach PHPP maximal empfohlene Wohndichte von 25 m²/P., die minimal empfohlene Wohndichte von 50 m²/P. und die Wohndichte nach Wohnungsschlüssel des Bauherrn (39 m²/P.). Diese werden mit der PHPP-Bilanz verglichen. Im Unterschied zur aktuellen Jahresbilanz des Aktiv-Stadthauses wird hierbei von einem Anteil von Energiesparlampen vom 75 % statt 50 % ausgegangen und der Haushaltsstrombedarf nicht mit dem pauschalen Ansatz des BMVBS (20 kWh/m²a), sondern detailliert nach PHPP ermittelt. Diese Ansätze führen zu einer Verringerung des Bedarfs an elektrischer Energie.

Bei der Untersuchung wird immer von einer gleichbleibenden Energiebezugsfläche und gleichbleibenden Wohnungsgrößen ausgegangen. Bei der PHPP-Bilanz hängen der Warmwasserbedarf, der Haushaltsstrombedarf, der Beleuchtungsstrombedarf und der Hilfsstrom für Lüftung von der Wohndichte (Bewohnerzahl) ab. Beim Hilfsstrombedarf für die Lüftung sind die Anzahl der Ablufträume oder der personenabhängige Zuluftbedarf ausschlaggebend. Daher änderte sich dieser in unserer Betrachtung auch nur bei der hoch angenommenen Wohndichte von 25 m² pro Person.

Wie in Abb. 94 ersichtlich, hat die vorhandene Wohndichte bei einem gleichbleibenden Nutzerverhalten einen hohen Einfluss auf das Erreichen eines Energieüberschusses. So variiert die Plus-Energiebilanz bei einer Wohndichte von 50 m²/Person mit einem Überschuss von 25 % bis zu einer Wohndichte von 25 m²/Person mit einem Defizit von 13 % (38 % Differenz). Dies ist maßgeblich auf den Trinkwarmwasserbedarf und den Haushaltstrombedarf zurückzuführen. Der Strombedarf für die Beleuchtung und der Hilfsstrombedarf für die Lüftung ändern sich ebenfalls, sind aber nicht so ausschlaggebend. Diese Bedarfe hängen stark vom Nutzerverhalten ab. So würde in einem 5-Personenhaushalt z.B. die Waschmaschine nicht unbedingt fünfmal so oft pro Woche angestellt werden wie im Vergleich zu einem 1-Personenhaushalt.



Einfluss der Wohndichte auf die Plus-Energie-Bilanz

Die reale Bewohnerzahl eines Mehrfamilienhauses hat einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch und damit auch auf die Energiebilanz. Dies kann in einer theoretischen Bilanz nach EnEV, BMVBS oder PHPP nicht abgebildet werden. Daher sollte für eine „real“ zu erwartende Plus-Energiebilanz immer mit einer durchschnittlich zu erwartenden Wohndichte vor Ort gerechnet werden.

In den folgenden Vergleichsgrafiken (Abb. 94 bis Abb. 97) zum Demonstrativ-Bauvorhaben wird die folgende Darstellung gewählt:

- Bezugswerte - gefüllt und dunkel
- gleich bleibende Wert - leer und durchgezogen
- reduzierte Werte - leer und gestrichelt
- gestiegene Werte - gefüllt und hell

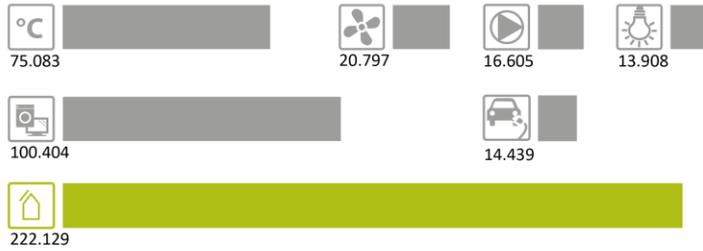
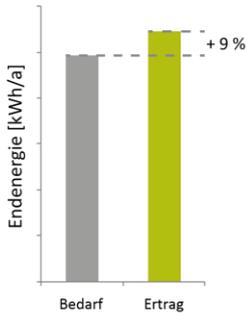
Es werden jeweils die Gesamtendenergiebilanz und die Einzelbedarfe, bzw. Erzeugungen gegenübergestellt.



35 m²/P.

EBF: 7.220 m² Bewohner: 206 P.

Annahme von 75 %
Energiesparlampen



Fall A durchschnittliche Wohndichte, aktuelle Bilanz Aktiv-Stadthaus

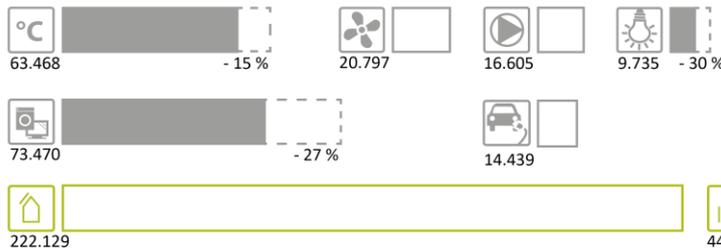
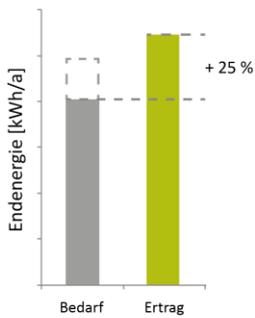
Alle Angaben in [kWh/a]



50 m²/P.

EBF: 7.220 m² Bewohner: 144 P.

Annahme von 75 %
Energiesparlampen



Fall B → im Bezug auf Fall A (minimale Wohndichte)

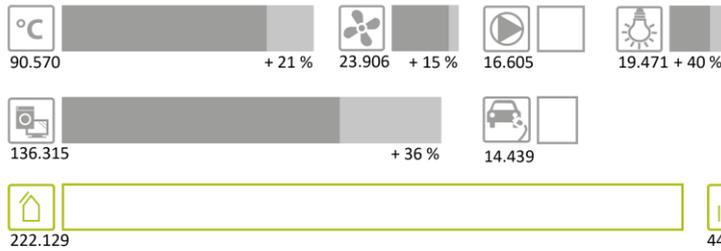
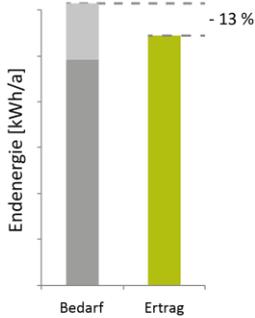
Alle Angaben in [kWh/a]



25 m²/P.

EBF: 7.220 m² Bewohner: 289 P.

Annahme von 75 %
Energiesparlampen



Fall C → im Bezug auf Fall A (maximale Wohndichte)

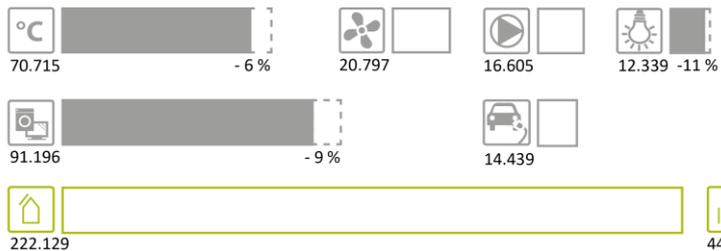
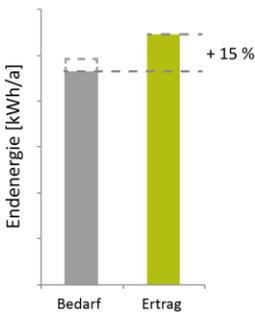
Alle Angaben in [kWh/a]



39 m²/P.

EBF: 7.220 m² Bewohner: 183 P.

Annahme von 75 %
Energiesparlampen



Fall D → im Bezug auf Fall A (Belegung gem. den Angaben des Bauherren)

Alle Angaben in [kWh/a]

Abb. 94 Vergleich der Endenergiebilanz sowie detaillierter Energieerträge und- bedarfe in Abhängigkeit der Wohndichte, Planungsstand: Juni 2012, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Um weitere Rückschlüsse zum Plus-Energie-Standard im Mehrfamilienhausbau zu erhalten, wird der Entwurf des Aktiv-Stadthauses im Folgenden noch einmal konkret auf unterschiedliche Verschattungssituationen, Kubaturen, und Ausrichtungen untersucht.

4.12.5. Verschattung

Um den Einfluss der Verschattung vor Ort auf die Energiebilanz einschätzen zu können, werden unterschiedliche Varianten in Bezug auf die Aktivierung der Fassaden-Photovoltaik (über 3 bzw. 6 Geschosse) und der Verschattungssituation (reale Standortbedingungen bzw. unverschattet) beim Demonstrativ-Bauvorhaben untersucht:

#1 – Variante des Aktiv-Stadthauses unter realen Standortbedingungen, ohne Aktivierung der unteren 3 Geschosse (Bezugsvariante)

#2 – Variante des Aktiv-Stadthauses unter realen Standortbedingungen, mit Aktivierung der unteren 3 Geschosse

#3 – Variante des Aktiv-Stadthauses unverschattet, ohne Aktivierung der unteren 3 Geschosse

#4 – Variante des Aktiv-Stadthauses unverschattet, mit Aktivierung der unteren 3 Geschosse

Als Ergebnis (siehe Abb. 95) ist hier festzustellen, dass die Aktivierung der unteren drei Geschosse trotz der Verschattung einen größeren Einfluss (Fall #1 zu #2 = + 9 %) hat. Die verschattete Situation am Standort hat einen ähnlichen Einfluss auf die Energiebilanz (Fall #1 zu #3 = +7 %, bzw. Fall #2 zu #4 = +9 %).

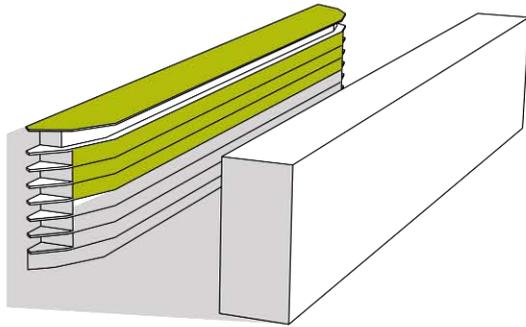
Bei einer detaillierten Betrachtung erkennt man, dass nicht ausschließlich die Erträge durch die Verschattungssituation vor Ort beeinflusst werden, sondern auch der Strombedarf für die Wärmepumpe, der aus dem Heizwärmebedarf resultiert. Der Heizwärmebedarf ist umso höher je weniger solare Wärmegewinne genutzt werden können. Der Einfluss der solaren Wärmegewinne auf den Heizwärmebedarf ist durch die Nur-Strom-Konzeption beim Aktiv-Stadthaus jedoch sehr gering. Je nach Wirkungsgrad der PV, Qualität der Verglasung und Fensterflächenanteil kann der Einfluss der Verschattung unterschiedlich groß ausfallen.



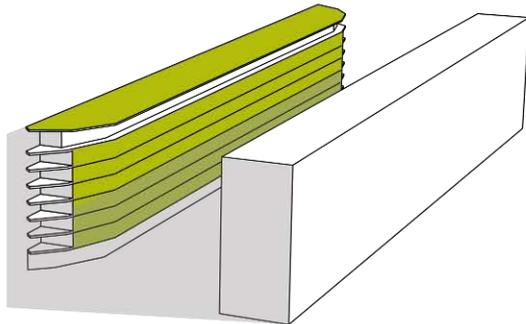
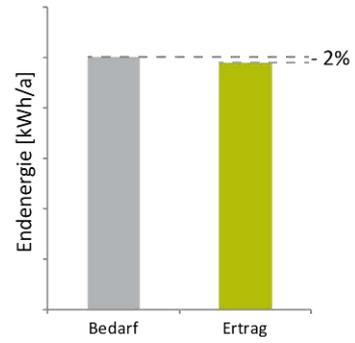
Einfluss der Verschattung auf die Plus-Energie-Bilanz

Die Verschattung eines Mehrfamilienhauses hat einen geringeren Einfluss auf die Plus-Energie-Bilanz als andere untersuchte Faktoren, ist aber dennoch nicht zu vernachlässigen, da sie viele weitere Bilanzgrößen wie den Tageslichtquotienten, die passiven und aktiven solaren Gewinne sowie die Wohnqualität in erheblichem Maße beeinflusst.

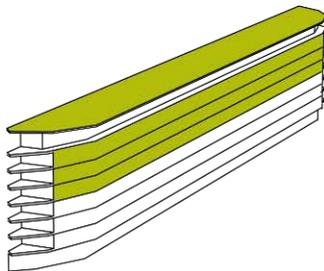
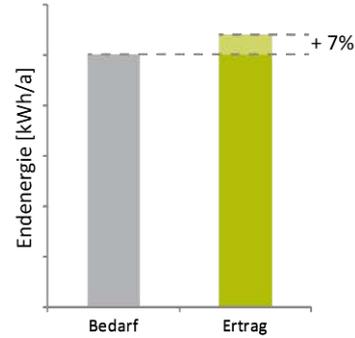
Die Verschattung hat erst dann einen erheblichen Einfluss auf die Plus-Energie-Bilanz, wenn die Hauptertragsfläche (z.B. PV-Dach) verschattet wird.



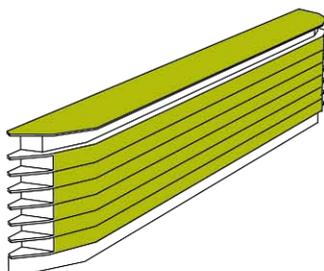
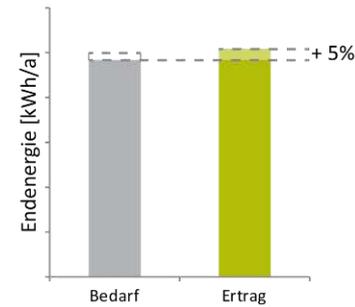
Fall #1



Fall #2



Fall #3



Fall #4

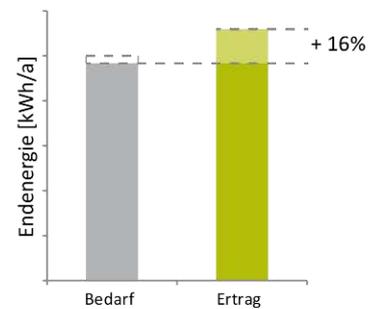
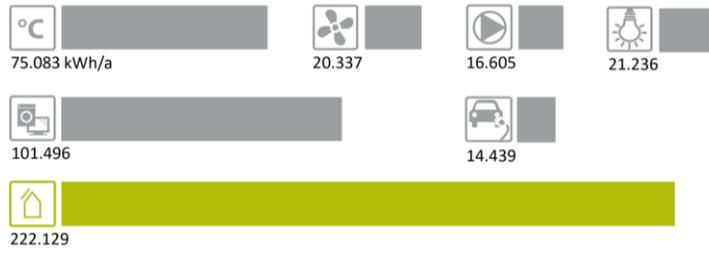


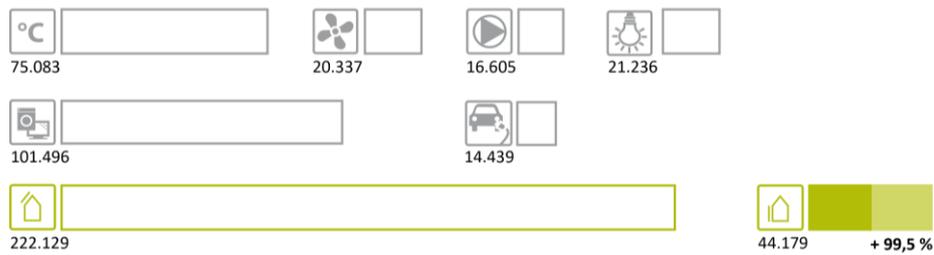
Abb. 95 Vergleich der Endenergiebilanz sowie detaillierter Energieerträge und -bedarfe in Abhängigkeit der Verschattung und der Belegung der Fassade mit PV, Planungsstand: Juni 2012, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Bewohner = 206 EBF = 7.220 m² A_{VE} = 0,35 m²/m³



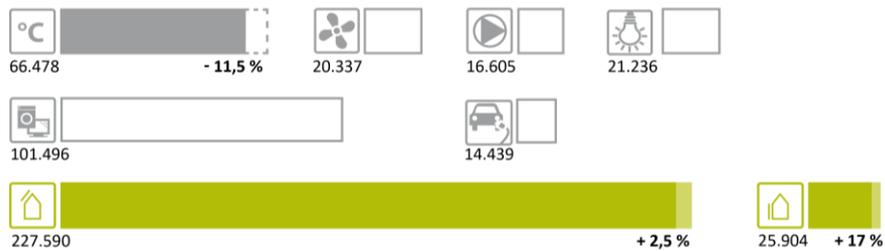
Fall #1 Alle Angaben in [kWh/a]

Bewohner = 206 EBF = 7.220 m² A_{VE} = 0,35 m²/m³



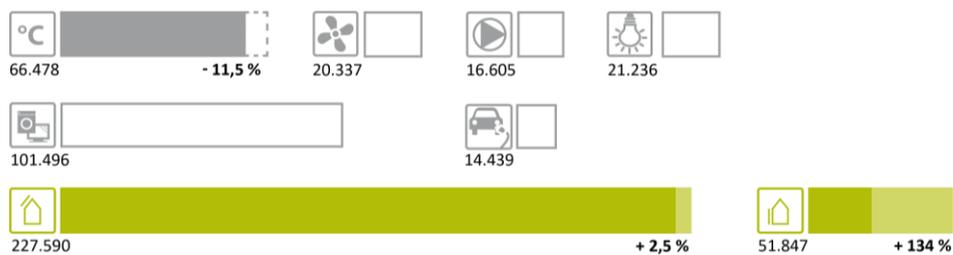
Fall #2 Alle Angaben in [kWh/a]

Bewohner = 206 EBF = 7.220 m² A_{VE} = 0,35 m²/m³



Fall #3 Alle Angaben in [kWh/a]

Bewohner = 206 EBF = 7.220 m² A_{VE} = 0,35 m²/m³



Fall #4 Alle Angaben in [kWh/a]

4.12.6. Kubatur

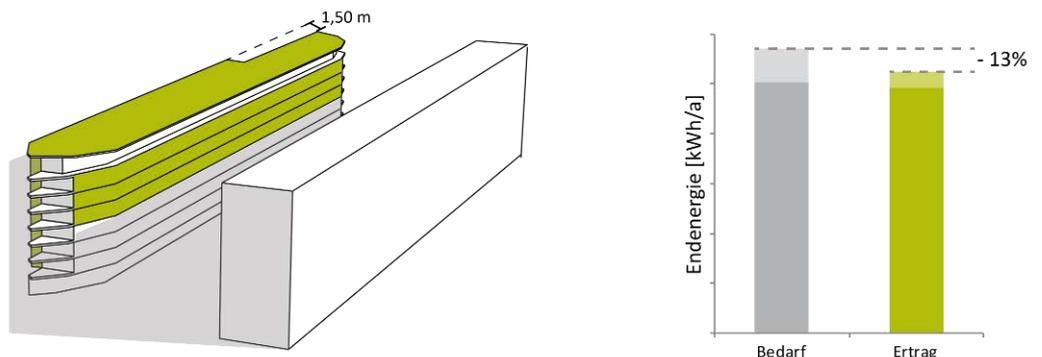
Um den Einfluss der Kubatur beim Aktiv-Stadthaus zu belegen, werden zwei Fälle konkret am Demonstrativbauvorhaben untersucht:

#5 – Erweiterung der Gebäudetiefe um 1,50 m unter realen Standortbedingungen, ohne Aktivierung der unteren drei Geschosse (Vergleich zu #1, Abb. 95)

Wegen des nicht ganz optimalen A/V_E -Verhältnisses des Aktiv-Stadthaus wird zur Optimierung des Energiebedarfs, eine Verbesserung der Kompaktheit ($A/V_E = 0,32 \text{ m}^2/\text{m}^3$ statt $0,35 \text{ m}^2/\text{m}^3$) ins Auge gefasst. Eine Erweiterung des Gebäudes in der Nord-Süd-Achse in Richtung Hinterhof um 1,50 m mit realer Verschattungssituation wird untersucht. Für die Bilanz wird vor allem das Verhältnis des höheren PV-Ertrags zur Bedarfssteigerung durch die größere Energiebezugsfläche analysiert.

#6 – Reduktion der Gebäudehöhe um zwei Regelgeschosse, Erhalt des Staffelgeschosses, unverschattet mit Aktivierung der unteren drei Geschosse (Vergleich zu #4, Abb. 95)

Um Rückschlüsse auf freistehende Mehrfamilienhäuser im Plus-Energie-Standard zu erhalten, wird zusätzlich untersucht, welchen Einfluss die Reduktion um zwei Geschosse auf den Energiebedarf hat. Am realen stark verschatteten Standort würde diese Untersuchung wenig Sinn machen, daher wird bei dieser Untersuchung ein theoretisch unverschatteter Standort „auf der grünen Wiese“ betrachtet und verglichen (zu Fall #4, unverschattete mit Aktivierung der unteren drei Geschosse).



Fall #5 → im Bezug auf Fall #1



Fall #6 → im Bezug auf Fall #4

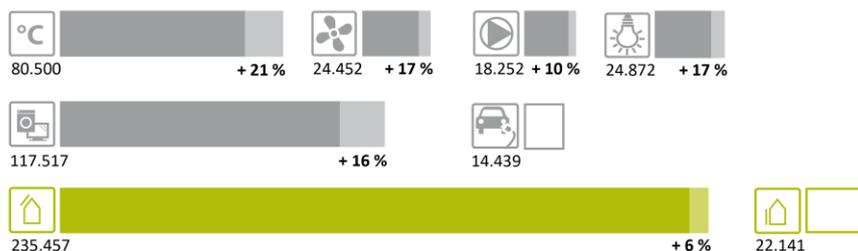
Abb. 96 Vergleich der Endenergiebilanz sowie detaillierter Energieerträge und -bedarfe in Abhängigkeit der Kubatur, Planungsstand: Juni 2012, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Das Ergebnis der Untersuchungen ergibt, dass bei einer vergrößerten Gebäudetiefe der spezifische Heizwärmebedarf durch die Kubaturveränderung um fast 15 % verringert werden kann. Gegenüber dem erhöhten PV-Dachertrag steigt der absolute Energiebedarf jedoch so stark an, dass die Energiebilanz um 11 % schlechter ausfällt als ohne Kubaturveränderung (Vergleich zu #1).

Der Einfluss der verringerten Geschosshöhe bei einer unverschatteten Energiebilanz hingegen (Vergleich zu #4) stellt sich als sehr hoch heraus (-21 %). Dieser kommt durch die hohe Reduktion des Bedarfs (Energiebezugsfläche und Bewohnerzahl) im Vergleich zum niedrigen Ertragsrückgang in der Fassade zustande. Der dominierende Ertrag über das Dach bleibt bestehen. Dies bestätigt die These, dass die Geschossigkeit eines Mehrfamilienhauses einen entscheidenden Einfluss auf die Bilanz hat (s. 4.12.3).

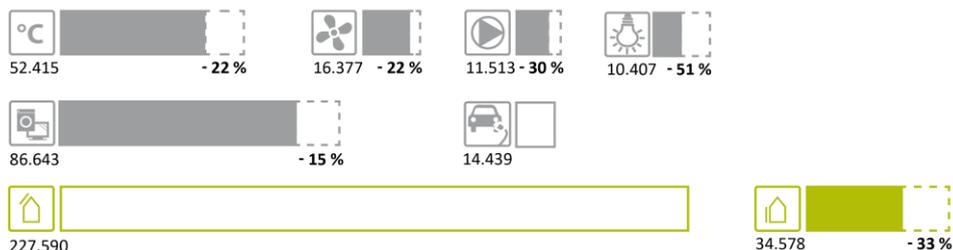
Einfluss der Kubatur auf die Plus-Energie-Bilanz
 Der Einfluss der Gebäudekubatur auf die Energiebilanz ist bei Mehrfamilienhäusern sehr hoch, da sich das Verhältnis zwischen Energiebezugsfläche/Bewohnerzahl (Energiebedarf) zur aktivierbaren Hüllfläche (Energieertrag) schnell verschiebt.

Bewohner = 242 (+36) EBF = 8.456 m² (+ 1.236 m²) A_{VE} = 0,32 m²/m³ (- 0,03 m²/m³)



Fall #5 → im Bezug auf Fall #1 Alle Angaben in [kWh/a]

Bewohner = 155 (-51) EBF = 5.435 m² (- 1.785 m²) A_{VE} = 0,38 m²/m³ (+ 0,03 m²/m³)



Fall #6 → im Bezug auf Fall #4 Alle Angaben in [kWh/a]

4.12.7. Ausrichtung

Um die Potenziale der Hauptfassaden-Orientierung zu untersuchen, wird das Gebäude im unverschatteten Zustand inklusive PV-Aktivierung aller 6 Geschosse einmal in die Nord-Süd-Achse und einmal in die Ost-West-Achse gedreht (Vergleich zu #4, Abb. 95). Zusätzlich wird bei der Ost-West-Ausrichtung ein Fall betrachtet, bei dem beide Hauptfassaden (Ost/West) mit PV aktiviert werden:

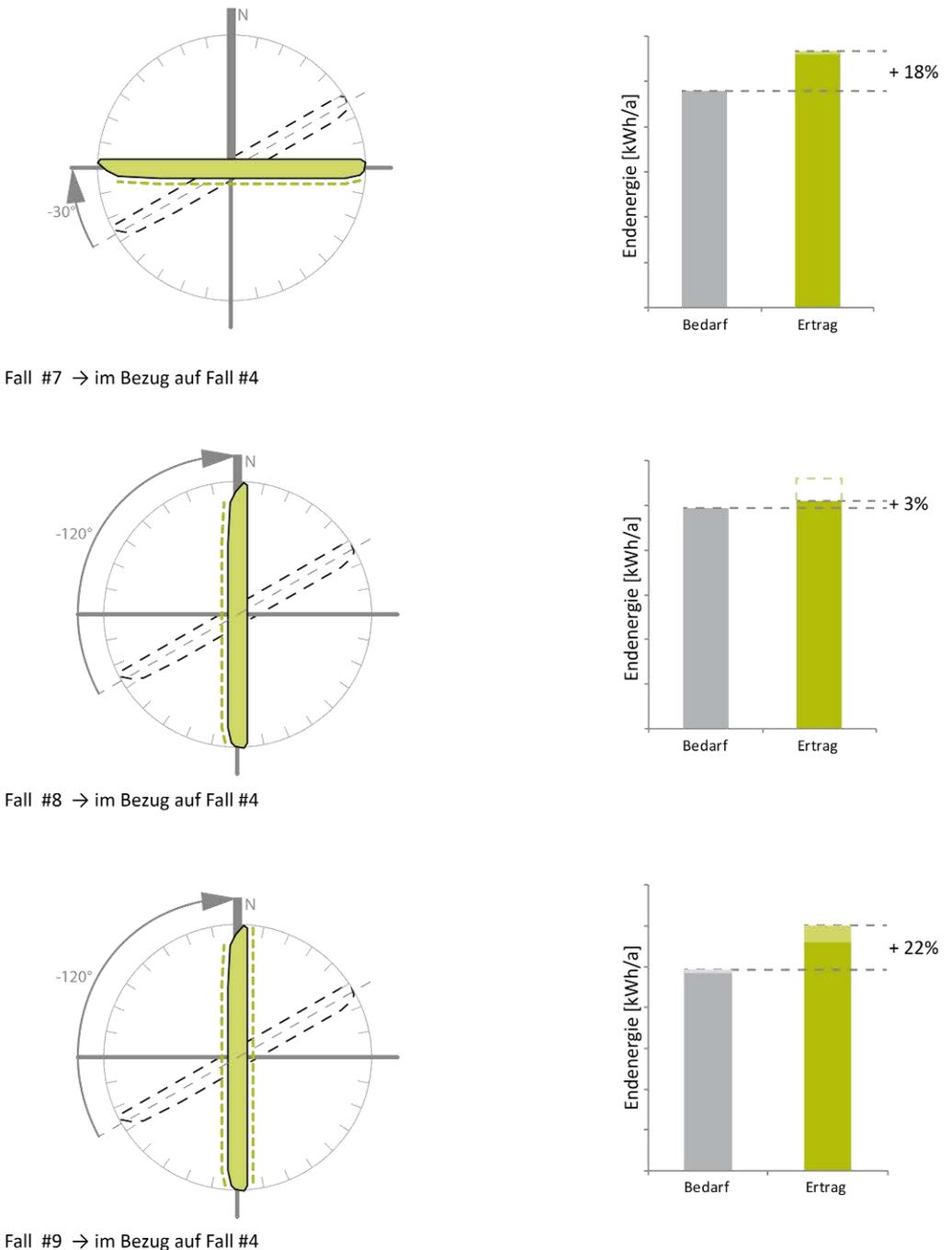
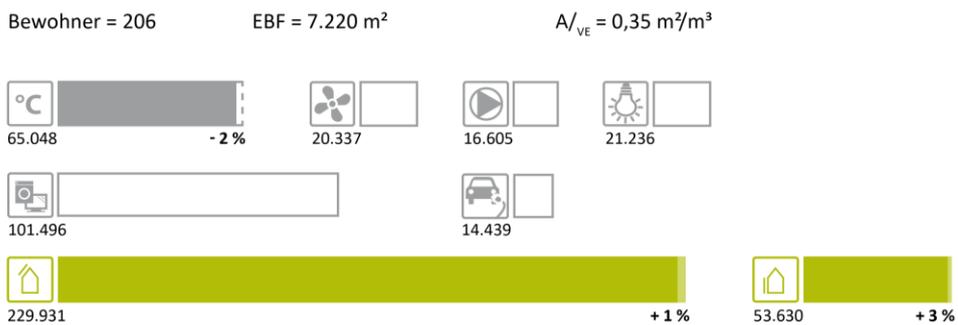


Abb. 97 Vergleich der Endenergiebilanz sowie detaillierter Energieerträge und -bedarfe in Abhängigkeit der Ausrichtung, Planungsstand: Juni 2012, Quelle: FGee, TU Darmstadt

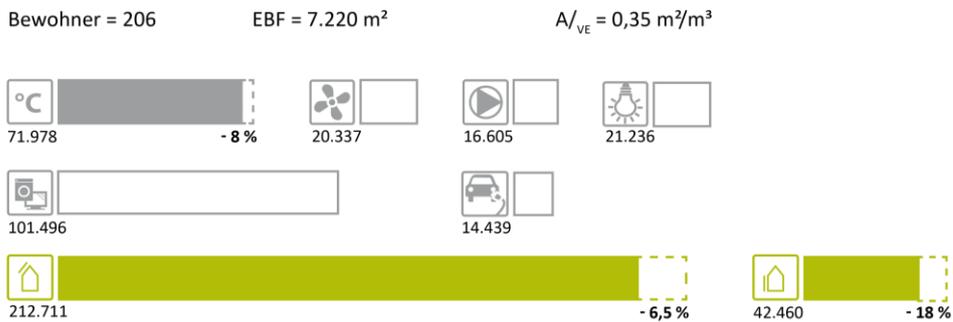
#7 – Drehung des Gebäudes in Nord-Süd-Ausrichtung (-30°), unverschattet, mit Aktivierung der unteren 3 Geschosse, Photovoltaik in Südfassade (Vergleich zu #4)

#8 – Drehung des Gebäudes in Ost-West-Ausrichtung (-120°), unverschattet mit Aktivierung der unteren 3 Geschosse, Photovoltaik in Ostfassade (Vergleich zu #4)

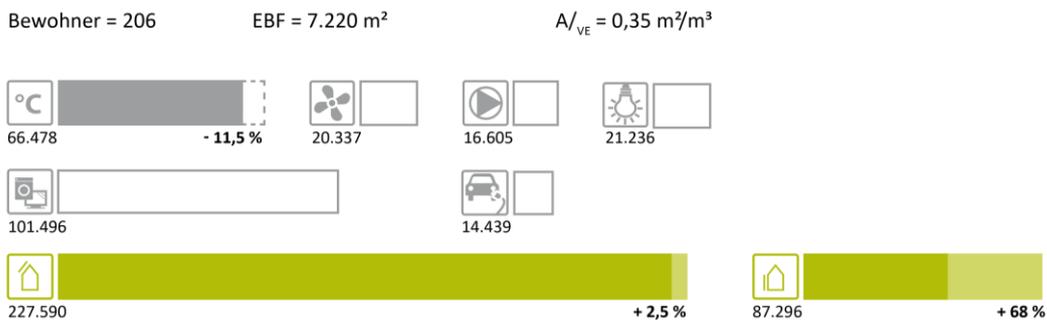
#9 – Drehung des Gebäudes in Ost-West-Ausrichtung (-120°), unverschattet, mit Aktivierung der unteren 3 Geschosse, Photovoltaik in Ost- und Westfassade (Vergleich zu #4)



Fall #7 → im Bezug auf Fall #4 Alle Angaben in [kWh/a]



Fall #8 → im Bezug auf Fall #4 Alle Angaben in [kWh/a]



Fall #9 → im Bezug auf Fall #4 Alle Angaben in [kWh/a]

Die Südsüdost-Ausrichtung der Hauptfassade hat gegenüber einer präzisen Südausrichtung kaum Einfluss auf die Endenergiebilanz (-2 %). Die Reduktion des Jahresheizwärmebedarfs ist nur unwesentlich geringer als die Ertragssteigerung in Fassade und Dach.

Wäre das Gebäude dagegen in Ost-West-Richtung angeordnet, ist bei einer einseitigen Fassadenaktivierung eine zusätzliche Ertragsteigerung bzw. eine Bedarfsverringerung von 13 % notwendig, um die gleiche Energiebilanz zu erreichen. Dies ergibt sich im Wesentlichen durch die Reduktion des PV-Ertrags. Das Wiedererreichen des Plus-Energie-Standards könnte z.B. durch die zusätzliche Aktivierung der Westfassade (+19 %) in Fall #9 erfolgen.



Einfluss der Ausrichtung auf die Plus-Energie-Bilanz

Der Einfluss der Ausrichtung auf die Energiebilanz ist bei Mehrfamilienhäusern hoch. Der Einfluss hängt davon ab, ob eine oder mehrere Fassadenseiten aktiviert werden können.

Fazit

Den größten Einfluss auf die Energiebilanz hat die Verringerung des Bedarfs durch die Reduktion der Geschossigkeit um zwei Obergeschossen (#6). Die Maximierung der ertragsreichen Fläche (Dach) bei gleichzeitiger Erhöhung der Bewohneranzahl und Energiebezugsfläche (#5) zur Optimierung des A/V_E -verhältnisses hat hingegen einen negativen Einfluss auf die Energiebilanz. Dies zeigt erneut, dass der Energiebedarf eines großdimensionierten Mehrfamilienhauses nicht zu unterschätzen ist. Die sinnvoll aktivierbare Hüllfläche ist wesentlich geringer als bei kleineren Mehrfamilienhäusern oder gar Einfamilienhäusern.

Der Einfluss der Verschattung und der Ausrichtung ist nicht zu vernachlässigen. Diese Faktoren sind bei einem Gebäudeentwurf meist nicht frei wählbar. Liegt ein Gebäude wie das Aktiv-Stadthaus z.B. an einem stark verschatteten Standort, sind zusätzliche ca. 7 % an Ertragssteigerung, bzw. Energiebedarfsreduktion notwendig, um die gleiche Energiebilanz zu erreichen. Hier ist die Voraussetzung, dass die Hauptertragsfläche (das Dach) nicht verschattet ist.

Die Südsüdost-Ausrichtung der Hauptfassade des Aktiv-Stadthauses hat gegenüber einer genauen Nord-Süd-Ausrichtung hingegen kaum Einfluss auf die Energiebilanz (-2 %). Wäre das Gebäude dafür in Ost-West-Richtung angeordnet, ist bei einer einseitigen Fassadenaktivierung eine zusätzliche Ertragsteigerung (z.B. durch die zusätzliche Aktivierung einer weiteren Fassade) bzw. Bedarfsverringerung von 13 % notwendig, um die gleiche Energiebilanz zu erreichen.

AP B

Elektro-Mobilität



5. AP B – Elektro-Mobilität

5.1. Die Ausgangslage

Eine Besonderheit des Aktiv-Stadthaus-Projektes ist die integrierte Betrachtung der Elektromobilität. Konzeptionell besitzt diese bereits seit Beginn der Planung einen hohen Stellenwert - gerade auch um als Demonstrativ-Bauvorhaben die Grenzen zwischen Mobilität und Gebäude neu zu definieren. Wir gehen im Rahmen des Forschungsprojektes davon aus, dass die Elektromobilität auch zukünftig einen hohen Stellenwert haben wird.



Abb. 98 CO₂-Ausstoß verschiedener Sektoren;
Quelle: www.statistik-nord.de, Juni 2012;
Diagramm: FGee

Gerade bei Gebäudekonzepten wie Plus-Energie-Gebäuden, die unter besonders nachhaltigen Aspekten geplant und verwirklicht werden, spielt die energetische Gesamtbetrachtung über die Gebäudegrenze hinaus eine wichtige Rolle. Die Individualmobilität ist als wesentlicher gebäudenaher Energieverbraucher praktisch an jedem deutschen Haushalt zu finden. Laut einer Statistik der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Hansestadt Hamburg liegt der CO₂-Ausstoß im Mobilitätssektor mit 25 % an dritter Stelle hinter dem der privaten Haushalte und gewerblichen Kleinverbraucher (48 %), sowie sonstiger Industriefunktionen (27 %) ¹². Eine Minimierung des CO₂-Ausstoßes, der täglich für die Mobilitätsbelange produziert wird, spielt bei solchen Dimensionen eine wichtige Rolle. Elektromobilität wäre durch den direkten Verbrauch der regenerativ erzeugten Energie von Plus-Energie-Gebäuden außerordentlich gut geeignet, den Eigennutzungsgrad zu erhöhen und sich damit klimaneutral zu bewegen.

Zwar steckt massentaugliche Technik für Elektromobilität noch in den Anfängen, da aber gerade die Automobilbranche die Potentiale sieht und aktiv verfolgt, ist in den nächsten Jahren ggf. mit einer schnellen Weiterentwicklung zu rechnen. Laut der Shell Mobilitätsstudie aus dem Jahr 2009 könnte in Deutschland bis 2030 jede zehnte Neuzulassung in Privathaushalten ein elektrisch angetriebener PKW sein. ¹³ Eine Studie der „European Federation of Transport and Environment“ aus Brüssel (T&E) beziffert darüber hinaus die Zahl der elektrisch angetriebenen Neuzulassungen bis 2050 mit bis zu 50 % auf europäischer Ebene. RWE prognostiziert dem gegenüber, dass die Marktdurchdringung der Elektromobilität 2020 ca. 20 % betragen wird und rechnet bundesweit mit einem zusätzlichen Stromabsatzpotential von 18 TWh. ¹⁴

Neben der auf Hochtouren laufenden Forschung im Bereich der Fahrzeugentwicklung sind viele Fragen zur Übergabe zwischen Fahrzeug und Gebäude noch weitestgehend offen. In diesem Projekt soll nach gebäudebezogenen Lösungen gesucht werden. Hierbei bilden Car-Sharing und andere mögliche Nutzungskonzepte, nicht-offene Übergabe- und Ladesysteme (konduktiv oder induktiv) und letztlich die Übertragbarkeit der untersuchten Konzepte die Analyseschwerpunkte. Um die Grenzen zwischen Mobilität und Gebäude neu zu definieren und mögliche Konzepte der regenerativen Energieversorgung des Gebäudes und gebäudenaher Verbraucher zu unterstützen, soll das Aktiv-Stadthaus seinen Bewohnern den Zugang zur Elektromobilität ermöglichen.

¹² <http://www.statistik-nord.de> Stand: 04.05.2012

¹³ http://www.shell.de/home/content/deu/aboutshell/our_strategy/mobility_scenarios/, 11.10.2012

¹⁴ Quelle: RWE, Präsentation: Elektromobilität aus Sicht der Energieversorgungsunternehmen, Dr. Ingo Diefenbach, 7.CIGRE/CIRED-Informationsveranstaltung, 04.Nov. 2009, S. 6

Der Gebäudeentwurf sieht vor, in einem großflächig verglasten Erdgeschoss des Aktiv-Stadthauses eine Elektromobilitäts-Car-Sharing-Flotte, unterstützt durch einige e-bikes, einzurichten. Die Flotte soll vorrangig den Bewohnern des Hauses zur Verfügung stehen und Ihnen eine vollwertige Alternative zur Individualmobilität bieten.

5.2. Die Elektrofahrzeuge – aktueller Stand der Technik

5.2.1. Energieverbrauch

Das in Deutschland derzeit wohl bekannteste Gebäude, welches die Elektromobilität thematisch aufgreift, ist das Effizienzhaus-Plus vom Bundesministerium für Verkehr-Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS). Es wurde 2011 fertiggestellt und wird seit März 2012 in Berlin von einer Testfamilie bewohnt. Darin enthalten sind zwei PKW und ein e-bike, die den Bewohnern mit dem vom Gebäude produzierten Strom Mobilität ermöglichen sollen. Das BMVBS geht beim Effizienzhaus-Plus von 29.000 km Fahrleistung in der E-Mobilität pro Jahr aus. Die für eine Familie verfügbare „Flotte“ besteht aus einem PKW mit 15.000 km bzw. 10.000 km und einem e-bike mit 4.000 km jährlicher Fahrleistung.¹⁵



Abb. 99 Effizienzhaus-Plus in Berlin. Neben einer Induktionsladeplatte vor dem Gebäude (mitte) können die Wagen auch konduktiv (links) geladen werden; Quelle: BMVBS

Als benötigten Strombedarf werden 6.000 kWh/a angesetzt. Das ergibt bei den beiden PKW eine durchschnittliche Leistungsaufnahme von 2,4 kWh/10km. Vergleichend braucht z.B. ein smart fortwo electric drive laut ADAC 1,56 kWh/10km (siehe Abb. 100).¹⁶

¹⁵ Quelle: BMVBS: Broschüre „Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität“ S.20

¹⁶ Fahrleistungsergebnisse des ADAC Autotest smart fortwo electric drive, sept. 2010

Hersteller / Modell	Verbrauch	Vmax/Reichweite	Listenpreis /Markteinführung
Mini E	1,2 kWh/10km	k.A./240 km	k.A. / k.A.
Smart electric drive fortwo	1,56 kWh/10km	100 km/h / 140 km	19.000 € / (o. Batterie)
Citroen C-zero	1,35 kWh/10km	130 km/h / 150 km	35.000 € /erhältlich
German E-Cars Stromos	1,50 kWh/10km	120 km/h / 100 km	41.000 € / erhältlich
Karabag Fiat 500	1,10 kWh/10km	110 km/h/ 100 km	44.000 € / erhältlich
Karabag Ford Ka	1,10 kWh/10km	110 km/h / 110 km	30.000 € / Mitte 2012
Mia electric	0,8 kWh/10km	100 km/h / 80-90 km	24.500 € / erhältlich
Renault Fluence Z.E.	1,4 kWh/10km	135 km/h / 185 km	25500 € / (o. Batterie)

Abb. 100 Auflistung verschiedener auf dem Markt verfügbarer Elektrofahrzeuge Quelle: Marktübersicht des ADAC , Mai 2011

Aus der obigen Tabelle wird deutlich, dass die Annahmen vom BMVBS deutlich über dem aktuellen Stand der Technik liegen und Spielraum bzw. Optimierungspotential vorhanden ist. Ein Test des ADAC zeigte exemplarisch an einigen Autos, dass die Werte innerorts sehr viel besser sein können als auf der Autobahn. Bei tief winterlichen Bedingungen reduziert sich die Leistung der Autos ebenfalls, da die Batteriekapazität bei tiefen Temperaturen abnimmt und der wertvolle „Kilometer-Strom“ auch zum Heizen des Innenraumes genutzt wird. Konzepte von Karabag, die in der Regel auf Fiat Fabrikaten basieren, heizen die Fahrgastzelle mit Bio-Ethanol.¹⁷ Die Umgebungs- und Betriebstemperatur der Batterie kann ebenfalls Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und damit die Reichweite haben. Dies kann vor allem bei PKWs eine Rolle spielen, die im Winter längere Zeit z.B. über Nacht auf der Straße geparkt werden und dadurch nicht vor den klimatischen Einflüssen geschützt sind. Ungünstige Betriebstemperaturen haben außerdem einen negativen Einfluss auf die Lebensdauer der Akkus. Moderne Konzepte, wie sie z.B. im Tesla Roadster angewandt werden, verwenden deshalb einen Teil des Stroms, um die Batterie zu klimatisieren und versprechen somit die Lebensdauer und den Leistungsentzug zu optimieren.¹⁸



Grundlagen der Energieverbräuche

Trotz der im Vergleich zu den Realverbräuchen relativ hohen Annahme des BMVBS von 2,4 kWh/10 km bildet dieser Wert für das Forschungsprojekt die Grundlage der Berechnung sämtlicher Energieverbräuche der Elektromobilität.

5.2.2. Reichweite

Im Vergleich zu konventionellen PKWs ist die Reichweite der auf dem Markt verfügbaren Elektromobile eher gering. Selbst bei großem Akku (>60 kWh) und sparsamer Fahrweise unter optimalen klimatischen Bedingungen schaffen die Wagen mit einer Akku-Ladung in der Regel nicht mehr als 250 km. Der größte Faktor, der auf den Stromverbrauch Einfluss nimmt ist jedoch - ähnlich wie beim Benzingetriebenen PKW - die Fahrweise des Fahrers.

¹⁷ <http://elektroauto.karabag.de/> / 22.10.2012

¹⁸ http://www.teslamotors.com/de_DE/roadster/specs/ / 22.10.2012

5.2.3. Elektrobikes – Pedelecs (Pedal Electric Cycle)

Pedelecs sind Fahrräder, die den Fahrer durch einen Elektromotor unterstützen. Da diese in der Regel nicht schneller als 25 km/h fahren, sind Pedelecs versicherungs- und zulassungsfrei und werden als Fahrräder gewertet.¹⁹

Der Strombedarf eines e-bikes kann mit durchschnittlich ca. 0,01 – 0,02 kWh/km angenommen werden. Im direkten Vergleich mit Autos wird deutlich, dass der Verbrauch sehr viel geringer ist und die e-bikes in der innerstädtischen „Kurz-Fahrten-Nutzung“ eine interessante Alternative zum Auto darstellen.

Aufgrund der im Vergleich zum PKW geringen Anschaffungskosten der Pedelecs spielen die Akkukosten hierbei eine besondere Rolle. Außerdem unterliegen die Akkus der Pedelecs besonderen Belastungen, weil die Leistungsaufnahme und Abnahme in anderen Dimensionen stattfindet und kürzere Intervalle den Akku zusätzlich belasten.



Akkukosten von e-Bikes

Geht man davon aus, dass der Akku eines e-bikes ca. 400 mal geladen werden kann, man pro Ladung eine Reichweite von ca. 50 km erzielt und der Akku in der Anschaffung ca. 500 € kostet, so kommen pro 100 km Fahrleistung des e-bikes ca. 2,50 € (2,5ct/km) aus der Umlage der Akkuanschaffungskosten hinzu (500 € / 50 km*400). Bei einer theoretischen Leistungsaufnahme von 0,02 kWh/km kann man die Stromkosten pro 100 km mit 40 ct beziffern, sodass 100 km auf einem e-bike 2,90 € kosten (reine Fahrtkosten). Die umgelegten Akkukosten übersteigen die Stromkosten (0,20 €/kWh) ca. um den Faktor 6.

Da die Energiekosten 2,90 €/100 km oder lediglich 2,9 ct/km entsprechen, sind Pedelecs ein sehr günstiges Fortbewegungsmittel. Gerade für kurze Fahrten innerhalb der Stadt bieten sie eine günstige Alternative zum PKW, dessen Kosten pro gefahrenem Kilometer – je nach Modell – ab ca. 30 ct einzuordnen sind.

5.3. Lademöglichkeiten der Elektromobilität

Wie herkömmliche Mobilität kommt auch die Elektromobilität nicht ohne regelmäßige „Tank“-Pausen aus. Zwar hat diese Prozedur technisch wenig mit der eines klassischen benzingetriebenen Tankvorgangs zu tun, optisch ist sie jedoch vergleichbar durch das Hereinstecken des Steckers in die Tankvorrichtung bzw. das Ladegerät des Wagens. Von der Akkukapazität, der übertragenen Leistung und der möglichen Leistungsaufnahme durch das Fahrzeug hängt die Ladedauer ab. Es gibt für verschiedene Hersteller bzw. Fabrikate die verschiedensten Akkugrößen. Der Renault Twizy z.B. wird mit einem kleinen Akku von 6,3 kW²⁰ ausgeliefert, andere Fahrzeuge wie der Smart fortwo electric drive besitzen mit ca. 18 kW²¹, der Tesla Roadster sogar mit über 53 kW²² relativ hohe Kapazitäten. Ausschlaggebend sind vor



Abb. 101 Renault Twizy.
Quelle: Renault

¹⁹<http://www.gdv.de/2012/08/was-sie-ueber-den-versicherungsschutz-von-pedelecs-wissen-sollten/>, 22.10.2012

²⁰ www.renault-twizy-blog.de/ /11.10.2012

²¹ www.smart.de/produkte-smart-fortwo-electric-drive/23739f59-fdab-5af3-9ff1-f447f7ba226c/, 06.08.2012

²² Tesla Motors: The Tesla Roadster Battery System, S.1

allem Anforderungen an die Reichweite und maximale Höchstgeschwindigkeiten der Wagen.

Elektrofahrzeuge können heutzutage prinzipiell auf verschiedene Arten „betankt“ werden. Die derzeit am weitesten verbreitete Variante ist die konduktive Ladung. Dazu wird mittels einer Steckverbindung ein Kontakt zwischen dem Wagen (der Batterie) und der Ladesäule (dem Ladegerät) hergestellt. Eine andere Möglichkeit besteht in der induktiven Ladung. Hierbei wird zwischen zwei Spulen ein elektromagnetisches Feld aufgebaut, welches dann kontaktlos einen Stromfluss von der Primärspule zur Sekundärspule induziert.²³

5.3.1. Konduktive Ladung



Abb. 103 Ladebox „Witty“ der Fa. Hager; Quelle: Hager Vertriebsgesellschaft

Auch wenn es derzeit (noch) keine firmenübergreifende Steckernorm gibt, konzentriert sich die Forschung in der Automobilindustrie und die derzeit auf dem Markt verfügbaren Techniken weitestgehend auf den konduktiven Anwendungsfall. Konduktive Systeme sind technisch weit entwickelt, erzeugen keine „schädlichen“ Magnetfelder, sind besser „greifbar“ und kommen einem herkömmlichem Tankvorgang nahe. Im öffentlichen Bereich können jedoch Vandalismus betreffende Themen eine Rolle spielen.

Durch die statische Verbindung können z.T. sehr hohe Stromstärken (zukünftig über 80 kW) übertragen werden, welches den Ladevorgang auf einige Minuten reduzieren kann. Bei einer herkömmlichen Haushaltssteckdose, die in der Regel nur 3 kW übertragen kann, sind bis zu vier bis sechs Stunden Ladezeit nötig. Die Verluste des Gesamtsystems (Ladegerät und Batterie) liegen je nach Qualität der Anlage und der einzelnen elektrotechnischen Komponenten bei 8 % – 10 %.²⁴



Abb. 102 „Tankvorgang“ beim Mitsubishi iMiev. Quelle: Hager Vertriebsgesellschaft

Ladezeiten		
3 kW	z.B. Haushaltssteckdose	Ladezeit 4-6 h
11 - 30 kW	z.B. Schnellladegerät	Ladezeit 1-2 h
70 kW	zukünftiges Schnellladegerät	Ladezeit <20min

Heutige, in Serie produzierte Schnellladestationen übertragen bis zu 30 kW und reduzieren den Ladevorgang – je nach Leistung - auf unter 60 min. Das „Schnellladen“ funktioniert mit Spannungen von 400 V, die über die klassischen drei Phasen der Netzinfrastruktur bereitgestellt werden. Neben der Bereitstellung der drei Phasen am Fahrzeugstandort könnten auch netzkritische Spannungen, gerade im älteren Häuserbestand, auftreten. Für die Schnellladung gehen daher oftmals Umbaumaßnahmen mit technischen Neuerungen in der Infrastruktur einher. Technisch ist es bereits möglich, bis zu 200 kW zu übertragen, was die Ladezeit bei einem klassischen E-Mobil auf wenige Minuten verkürzen würde. Jedoch werden solche Spannungen wegen der kurzzeitigen hohen Lastspitzen generell als „netzkritisch“ betrachtet und sind bei einem Privathaushalt in der Regel nicht

²³ Telefonat mit SEW Eurodrive, Herr Götzmann 06.06.2012

²⁴ SEW Eurodrive, gem. Aussagen auf Werksbesuch, Mai 2012

möglich, da selbst die modernen Netze nicht für solche hohen Lasten ausgelegt sind.²⁵

5.3.2. Induktive Ladung

Das induktive Laden von Elektrofahrzeugen wird derzeit prototypisch erprobt. Durch die technisch bedingten elektrischen Felder, die bei der Induktionstechnik entstehen, ist der Einsatz im öffentlichen Bereich noch Hemmnissen unterworfen.

Um einen nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft – für Mensch und Umwelt – absolut unbedenklichen Strahlungshöchstwert nicht zu überschreiten, müssten die Felder auf ca. 3 kW (4 bis 6 h Ladedauer) beschränkt werden, was der Stromstärke einer Haushaltssteckdose entspricht und zu entsprechend langen Ladezeiten führt.²⁶ Da die zu übertragende Stromstärke von der Beschaffenheit der Spule abhängig ist, ist eine variable, induktive Übertragung von verschiedenen Stromstärken über die gleiche Hardware (z.B. 3 kW, 20 kW bzw. 60 kW) derzeit nicht umsetzbar. So sind induktive Schnellladekonzepte im Elektromobilitätsbereich noch nicht verfügbar.²⁷ Technisch bedingt kann jeder Wagen, der induktiv umgerüstet wird, jedoch auch konduktiv geladen werden.

In Genua und Turin fahren Linienbusse bereits seit 2002 induktiv, indem jeweils an den Haltepunkten Induktionsspulen in die Straße eingelassen sind, die dann genug Strom in die Sekundärspule induzieren, damit der Linienbus zum nächsten Haltepunkt fahren kann. Bei diesem System werden je nach Typ 60 oder 120 kW übertragen. Ein solches „On-The-Fly“ Konzept funktioniert jedoch nur dann, wenn die Wagen überwiegend auf festen Routen ohne große Toleranzen fahren. Dies ist für den heute üblichen Individualverkehr eher untypisch und stellt daher keine Alternative dar. Laut Conductix-Wampfler, einem Hersteller von Induktions-Ladeplattformen, beziffern sich die Verluste im Gesamtsystem auf lediglich 5 %. Sie wären damit effizienter als konduktive Ladesysteme.²⁸



Abb. 105 Induktionsplatte der Fa. SEW Eurodrive; Quelle: SEW eurodrive



Abb. 104 Funktionsschema der beiden Spulen, zwischen denen sich ein Magnetfeld aufbaut; Quelle: SEW eurodrive



Abb. 106 Linienbusse in Turin, die induktiv mit Strom versorgt werden. Die mittlere Abbildung zeigt das Schema der Induktion, bestehend aus zwei Spulen. Quelle: Conductix-Wampfler

Aufgrund der rasanten Entwicklung bei der Ladetechnik ist davon auszugehen, dass die induktive Ladung weiter entwickelt wird und zukünftig eine interessante Alternative zu der konduktiven Wagenladung darstellt. Bis diese Technik jedoch Marktreife erreicht, werden noch einige Jahre vergehen. Die Automobilindustrie,

²⁵ Quelle: RWE, Präsentation: Elektromobilität aus Sicht der Energieversorgungsunternehmen, Dr. Ingo Diefenbach, 7.CIGRE/CIRE-Informationenveranstaltung, 04.Nov. 2009

²⁶ Vgl. VDE-AR-E 2122-4-2 Anwendungsregel:2011-03 Induktive Ladung v. Elektrofahrzeugen.

²⁷ Aussage seitens SEW, Herr Götzmann; Telefonat vom 08.07.2012

²⁸ Quelle: <http://www.heise.de/autos/artikel/Induktive-Ladekonzepte-von-Conductix-Wampfler-1612803.html?artikelseite=3> // 05.11.2012

sowie die großen Hersteller der Induktionstechnik erarbeiten derzeit eine Norm, um die Entwicklung plattformübergreifend voranzutreiben. Feldversuche in der Industrie zeigen eindrucksvoll, dass beim PKW die Induktionstechnik, bezogen auf die übertragene Leistung, stationär funktioniert. Voraussetzung ist eine Beachtung der richtigen Parkposition.

5.3.3. Vergleichende Betrachtung der Lademöglichkeiten

In der folgenden Tabelle sind nochmals die Vor- und Nachteile der Lademöglichkeiten gegenübergestellt.

	konduktiv	induktiv
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Schnellladestationen bereits jetzt verfügbar, die je nach Akkukapazität den Ladevorgang auf 20 – 30 min verkürzen können.²⁹ ⊕ Keine hohen magnetischen Felder ⊕ Klassische Steckdose als Ausgangspunkt verwendbar, daher kann man die Wagen fast überall laden. 	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Keine sichtbaren Teile ⊕ Hoher Nutzerkomfort, da „tanken“ quasi entfällt ⊕ Kein Handeinsatz mehr nötig, Ladevorgang funktioniert „automatisch“ ⊕ Keine Verschleißteile, Betriebssicher ⊕ Unempfindlich gegen Vandalismus, Witterung und andere Einflüsse ⊕ Wirtschaftliche Umrüstkits in Planung und voraussichtlich ab 2013 erhältlich. ⊕ Die Möglichkeit der konduktiven Ladung ist in jedem Fall weiterhin gegeben.
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> ⊖ Vandalismus an öffentlichen Stromtankstellen ⊖ Das Herausziehen des Steckers könnte vergessen werden und weiteren Schaden verursachen. ⊖ Schmutz von Kabel und Stecker könnte die Kleidung verschmutzen. ⊖ Verschleißteile sehr anfällig 	<ul style="list-style-type: none"> ⊖ Akzeptanzprobleme bei der Bevölkerung aus Angst vor schädlicher Strahlung. ⊖ Im öffentlichen Bereich könnten nur geringe Leistungen übertragen werden, die sich in Feldstärken bis 3 kW bewegen. ⊖ Die Technik ist derzeit nur prototypisch verfügbar. ⊖ Aufgrund der physikalischen Eigenschaften, kann eine Spule nicht flexibel auf Ladeleistungen reagieren (Inkompatibilität zw. Schnelladespulen in priv. Bereichen und konventionellen in öffentlichen Bereichen). ⊖ Erhöhter Einparkaufwand, da die Spulen möglichst genau über einander positioniert werden sollten. ⊖ Konzeptabhängig ggf. erhöhter Infrastrukturaufwand bei der Bereitstellung der Ausstattung der Parkplätze.

²⁹ Quelle: „Neue Energie“ 1/2011: „Volle Ladung aber wie!“, S72ff.

5.3.4. Die Lademöglichkeiten im Aktiv-Stadthaus

Im Aktiv-Stadthaus werden nach aktuellem Planungsstand Stellplätze für die Ladung von acht Fahrzeugen vorgesehen. Jeweils zwischen zwei Parkplätzen wird eine von beiden Seiten bedienbare Schnelladesäule stehen. Aufgrund des abgeschlossenen Raumes ist mit Vandalismus nicht zu rechnen. Durch eine verglaste Front wird die Ladung der Fahrzeuge öffentlich präsentiert und bekommt einen Showcase Charakter. Somit wird der Weg des regenerativen Stromes von dem Gebäude bis in den Wagen sichtbar. Für eine induktive Ladung soll die Infrastruktur vorbereitet werden, um eine Nachrüstung zu gewährleisten.

Ladeinfrastruktur im Aktiv-Stadthaus
 Aufgrund der erwarteten Weiterentwicklung im Bereich der Ladetechniken wird das Aktiv-Stadthaus so konzipiert, dass es auf Weiterentwicklungen bei der konduktiven Ladetechnik reagieren und - sofern nötig - ohne großen Aufwand mit induktiver Technik nachgerüstet werden kann.

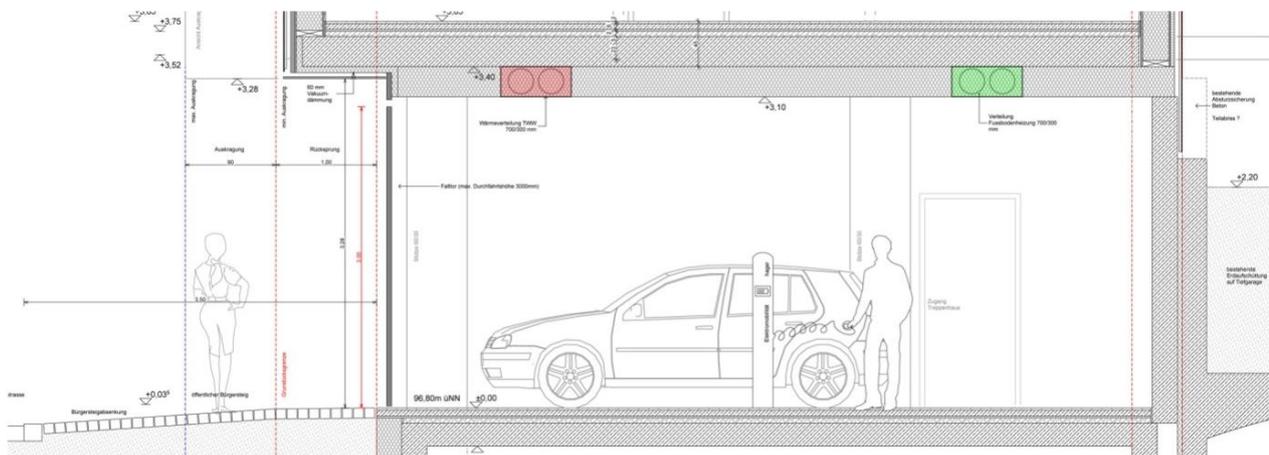


Abb. 107 Schnitt durch das Erdgeschoss des Aktiv-Stadthauses mit E-Mobil-Ladestationen;
 Quelle: HHS Planer + Architekten AG

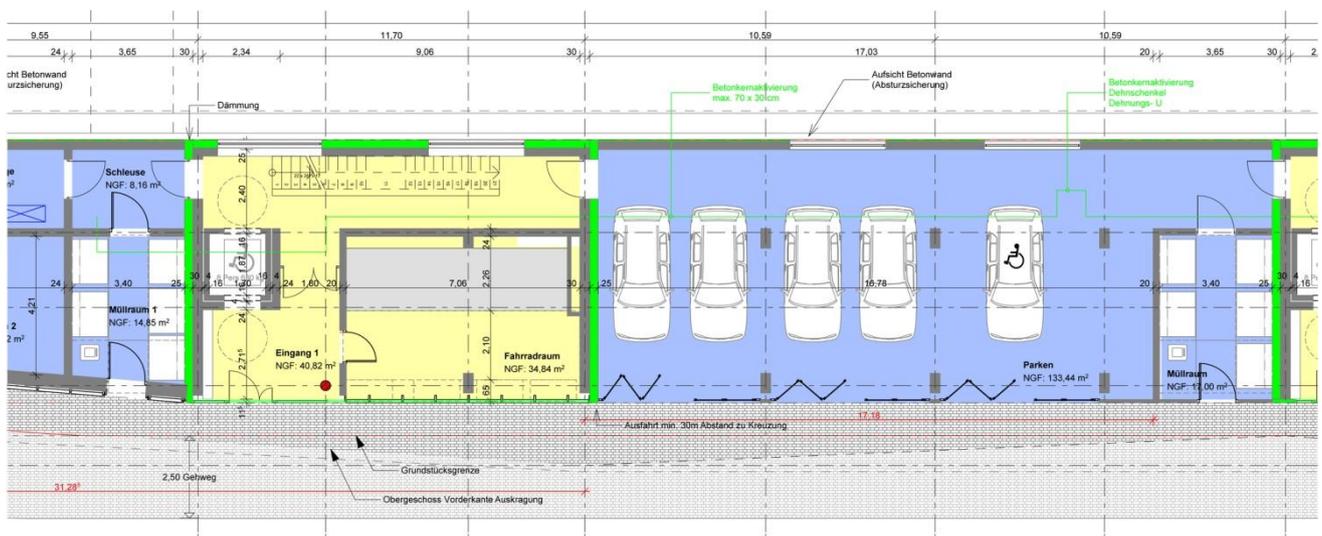


Abb. 108 Grundriss des Aktiv-Stadthauses; Die Ladesäulen befinden sich jeweils zwischen zwei Parkplätzen; Quelle: HHS Planer + Architekten AG

5.3.5. Die Akkus in den Wagen

Den Strom zu speichern, um ihn dann phasenverschoben abgeben zu können, ist auch nach dem heutigen Stand der Technik nur unter Hinnahme von gewissen Verlusten möglich. Für den Einsatz in Elektromobilen eignen sich Li-Ionen-Batterien, da sie aufgrund der höheren Energiedichte (bis zu 1 kW/kg)³⁰ zum Einen platzsparend sind, zum Anderen und im Vergleich zu anderen Techniken weniger Gewicht besitzen. Gerade bei der Elektromobilität ist ein effizienter Akku besonders wichtig, da jedes Gramm gesparte Masse, letztlich Energie spart und somit die Reichweite der Wagen verlängert. Zwar ist der Akku nicht Gegenstand des Forschungsprojektes, bedarf aber unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit eines kritischen Blicks:

Laut einer Studie der Schweizer EMPA Akademie sind die Belastungen auf die Umwelt durch ein E-Mobil, das mit dem europäischen Strommix betankt wird, ungefähr mit denen eines Benzinautos vergleichbar, das im Mittel vier bis fünf Liter auf 100 km verbraucht und der aktuellen EURO 5 Norm entspricht. Den größten Anteil an der Umweltbelastung findet man laut der Studie in der Stromproduktion (europäischen Strommix), des verbrauchten Stromes in der Nutzungsphase des Wagens. Der Anteil über die Herstellung des Li-Ionen Akkus an dem gesamten CO₂-Ausstoß wird mit ca. 15 % beziffert. Wenn die Elektromobilität ausschließlich mit regenerativem Strom versorgt wird, verschiebt sich dieses Verhältnis in Richtung des reinen Akkuanteils. Hier wird das Potential der Optimierung des Primärenergieeinsatzes in der Akkutechnik deutlich.³¹

Da es bislang kein geeignetes Recyclingsystem gibt, um Li-Ionen Akkus dem Stoffkreislauf angemessen und CO₂-neutral zurückzuführen, sollte ebenfalls berücksichtigt werden. Das französische Unternehmen Société Nouvelle d’Affinage des Métaux (SNAM) startete zusammen mit dem Unternehmen Floridienne Chimie mit Sitz in Belgien das RecLionBat-Projekt, um ein Recyclingverfahren zu entwickeln. Der Recycling Prozess trennt in verschiedenen Stufen Kupfer und Eisen aus der Batterie, um dann durch diverse chemische Prozesse wieder Kobalt & Nickel zu gewinnen. Diese können den Herstellern zur Wiederverwertung zur Verfügung gestellt werden. Von der Batterie kann man auf die Weise bis zu 60 % recyceln.³²

In Verbindung mit einer sekundären Nutzung alter Autobatterien, die im Zuge ihrer geleisteten Kilometer und der damit reduzierten Speicherkapazität zwar primär nicht mehr für die Elektromobilität geeignet sind, jedoch für Pufferspeicherfunktionen im Haus noch zweckerfüllend sein können, könnten die negativen Einflüsse weiter reduziert werden. Inwieweit eine Eingliederung der gebrauchten Batterien sinnvoll und wirtschaftlich ist, ist projektspezifisch zu prüfen.

³⁰ <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Lithiumionen-Akku-Lilon-lithium-ion.html> //, 7.11.2012

³¹ Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles, S.6552ff

³² Studie zum recyclepotential von Li-On Batterien der belgischen Firma SNAM. Die Studie wurde im Rahmen des LIFE Programmes von der EU unter der Fördernummer: LIFE05 ENV/F/000080

http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.createPage&s_ref=LIFE05%20ENV/F/000080

5.4. Die Nutzung von E-Mobilen – Hemmnisse und Lifestyle

5.4.1. Hemmnisse

Vor allem das fehlende Vertrauen in die Ladetechnik und die Reichweite stößt bei der Elektromobilität auf Akzeptanzprobleme. Laut „Future Fleet“, einer Forschungsinitiative unter der Leitung von SAP und MVV Energie, wurde in einem groß angelegten Feldversuch deutlich, dass 49 % aller Teilnehmer eines großen Flottenversuches mit Elektromobilität Probleme beim Handling der Wagen hatten. Die Probleme verteilten sich vom schlichten „Vergessen“ des Ladens bis komplexen Handhabungsschwierigkeiten oder einfach der Angst liegenzubleiben.³³

Durch den im Vergleich zu benzingetriebenen KFZ relativ langen Ladevorgang der Elektromobile ist innerhalb der o.g. Studie eine Einschränkung für spontane Fahrten zu verzeichnen. Zwar gibt es Schnellladesäulen, die den Ladevorgang auf bis zu 60 min. reduzieren, diese sind jedoch nicht flächendeckend verfügbar und auch nicht mit jedem Wagen kombinierbar. Mit zunehmendem technischem Fortschritt ist mit einer Verkürzung der Ladezeiten zu rechnen, die derzeit einer Alltagstauglichkeit noch entgegenstehen.

Der Preis der Elektromobilität in Privathaushalten stößt ebenfalls auf Akzeptanzschwierigkeiten.

5.4.2. Entwicklungsstand und Lifestyle der Fahrzeuge

Der Lifestyle-Faktor eines E-Mobils ist derzeit noch fragwürdig. Die ersten Elektrowagen sprachen eine ganz klare Sprache: Sie sahen schlicht aus und ebenso so reduziert wie die Optik des Wagens war der Innenraum gestaltet. Neben fehlendem Komfort der Wagen vermittelten sie nicht den Anschein moderner Wagen, die zukunftsfähige Mobilität verkörpern, sondern erinnerten eher an Nischenprodukte. In den vergangenen Jahren gelang es demgegenüber Porsche und Tesla, viel Aufmerksamkeit zu erzeugen und das Thema Elektromobilität über das Vehikel sportlicher Fahrzeuge einer breiten Masse vorzuführen.

In den letzten Jahren haben nun Automobilhersteller Elektromobile in ihr bestehendes Flottenportfolio integriert. In der Regel handelt es sich hierbei um Klein- und Kleinstwagen, die in ihrer Optik den fossilen Brüdern nachempfunden, in weiten Teilen jedoch gewichtsoptimiert sind. Durch den Einzug solcher Modelle in den Automobilmarkt sind die Weichen gestellt für zukünftige Entwicklungen.



Abb. 109 Audi A1 e-tron(li); Quelle: Audi AG; Citroen C-zero (mi); Quelle: Citroen; smart ed (re); Quelle: Daimler

³³ Future Fleet: Elektrofahrzeuge in betrieblichen Fahrzeugflotten – Akzeptanz, Attraktivität und Nutzungsverhalten; gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Mittelklassewagen lassen noch auf sich warten, was nicht zuletzt auch an dem mit diesen Wagen meist verbundenen Komforts liegen dürfte, der den Strombedarf erheblich erhöht. Range Extender betreiben mit Benzin oder Gas eine Turbine, die während des Fahrtbetriebs permanent die Batterie auflädt, sofern der Akku an seine Kapazitätsgrenzen gerät. Dadurch werden Reichweiten und Komfortstandards von konventionellen PKW erreicht.

Der Wechsel der Entwicklungslinien in den letzten Jahren zeigt sich deutlich auch darin, dass E-Mobile auf dem Markt platziert werden, die ihren Platz als Lifestyle-Produkte suchen.

Eine Flotte, die dem Aktiv-Stadthaus zugeordnet werden soll, sollte berücksichtigen, dass Lifestyle-Produkte, die „Spaß“ machen, wohl eher angenommen werden als rein auf Wirtschaftlichkeit ausgelegte Nischenprodukte. Eine Flotte, die möglichst viele Kundenwünsche anspricht, erhöht die Akzeptanz bei den Bewohnern.

5.4.3. Entwicklungsstand und Lifestyle der Pedelecs

Die optische Anmutung ist auch ein wichtiges Kriterium für die Nutzerakzeptanz der Pedelecs. Es liegt in der Natur des Fahrrads, dass dieses von einer großen Zielgruppe mit Sport und Fitness in Verbindung gebracht wird. Eine kantige Optik der Pedelecs, die den Schutz des Akkus und der verbauten Technik in den Vordergrund stellt, könnte auf weniger Akzeptanz stoßen, da die mit dem Zweirad verbundene Anmutung von Sportlichkeit vermisst wird.

Im Aktiv-Stadthaus, das durch sein verglastes Erdgeschoss öffentliches Interesse auf sich ziehen wird, könnte eine Flotte aus modernen Pedelecs eine Möglichkeit sein, solche Elektrofahrräder einer breiten Öffentlichkeit vorzustellen. Aufgrund der aktuellen Marktsituation und den Designdefiziten hat auch die Automobilindustrie die Chancen erkannt, die in den Pedelecs als alternatives Fortbewegungsmittel stecken und entsprechende Studien angefertigt.



Abb. 110 (links) Pedelecs der ABGnova im Sophienhof Frankfurt; Quelle: ABGnova; (rechts) Der kleine Bruder des smart ed: das smart Pedelec; Quelle: Daimler AG

5.5. Das Nutzungskonzept im Aktiv-Stadthaus

Car-Sharing-Konzeption

Da es sich bei dem Aktiv-Stadthaus um ein Mietwohnungsobjekt handelt, wurden verschiedene konzeptionelle Überlegungen zur Integration der E-Mobilität in Vermietungskonzepte erwogen. Konzepte die Kilometerkontingente über eine Warmmiete in das Miet- und Vermarktungskonzept einbinden wurden ebenso überprüft wie eine hiervon unabhängige E-Mobilität. Im Mittelpunkt des Gesamtkonzeptes steht ein Car-Sharing Modell, welches gerade im verdichteten urbanen Raum diverse Vorteile mit sich bringt:

- Umweltentlastung
- Quartiersentlastung (Parkdruck, Verkehrsaufkommen)
- Kosteneffizienz
- Kein Wartungs- und Haltunagsaufwand für den Nutzer
- Höhere Nutzungsdichte



Im Gebäude sind derzeit acht Stellplätze für E-Mobile eingeplant. Diese Zahl wurde aus den derzeit auf dem Markt üblichen Ratio geschlossen, dass ein Car-Sharing-Wagen von sechs bis zehn Personen genutzt wird.³⁴ Bei ca. 70 Wohneinheiten wird je Wohneinheit mit einem Nutzer gerechnet. Die Car-Sharing-Flotte soll vorrangig den Hausbewohnern zur Verfügung stehen.

Ob die Wagen von der beabsichtigten Zielgruppe im Aktiv-Stadthaus tatsächlich genutzt werden, ist in Zusammenarbeit mit einem Flottenbetreiber unter Einbezug der jeweils örtlichen Begebenheiten zu überprüfen. Im Aktiv-Stadthaus könnte sich eine öffentliche Nutzung in der Anfangsphase positiv auf die Flottenfinanzierung ausüben.

Für das Aktiv-Stadthaus ist ein Flottenbetrieb durch „book’n’drive“ – ein gemeinsames Tochterunternehmen der Bauherrenschaft und der Mainova Energiedienste – angedacht. In dieser Kooperation könnten ggf. diverse Synergien für die Integration des Konzeptes genutzt werden. Zum Beispiel könnten Ladesäulen im Stadtgebiet installiert werden, die das Projekt jenseits der Hausgrenze werbewirksam nach außen kommunizieren.

Management der Flotte

Die gesamte Flotte soll über ein Flottenmanagement koordiniert und erfasst werden. Je nach Betreiber und Schnittstellenkompatibilität soll das im Aktiv-Stadthaus vorgesehene Nutzerinterface, das dem Bewohner als Touchpanel in seiner Wohnung zur Verfügung gestellt wird, die Daten der Flotte erfassen sowie Auskünfte über Ladezustände, Reichweiten und Reservierungen der einzelnen Wagen geben (siehe Kap. 6.2.9). Ein Routenplaner mit intelligenter Fahrtzeitprognose bzw. Alternativen-Vergleich (ÖPNV, Fahrrad, Fußweg) könnte den Bewohner zudem beratend unterstützen.

³⁴ www.carsharing-vergleich.de/carsharing-zukunft/ Stand: 11.08.2012

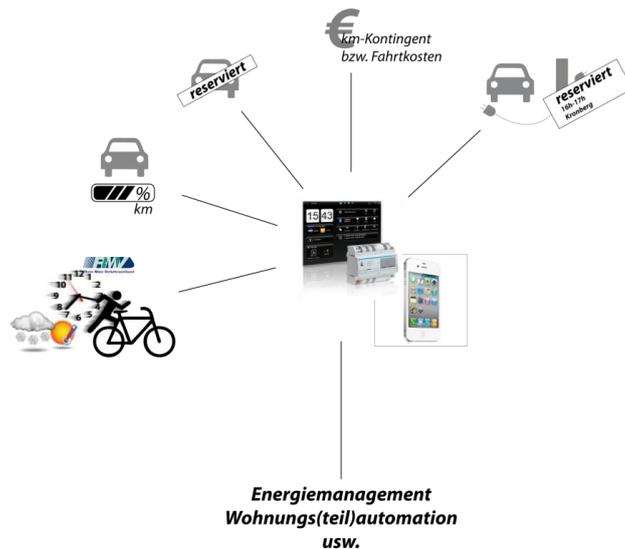


Abb. 111
Schnittstellengrafik zum Nutzerinterface; Je nach Betreiber wird die Elektromobilität aktiv in das Nutzermanagement eingebunden;

Quelle: Piktogramme: FGee, TU Darmstadt; Abbildung Nutzerinterface: Fa. Hager Vertriebsgesellschaft mbH & Co. KG

5.5.1. Standortbedingungen

Das Aktiv-Stadthaus in der Speicherstraße liegt in unmittelbarer Nähe zum Hauptbahnhof Frankfurt am Main, ist über das Gutleutviertel an die Autobahn A5 angebunden, erschließt den Taunus, Südhessen sowie Rheinhessen und ostwärts durch das Frankfurter Stadtgebiet Offenbach, Hanau und die Wetterau.

Reichweite

Ein Blick auf die geografischen Verknüpfungen des Aktiv-Stadthauses zur direkten Umgebung zeigt, dass das gesamte Rhein-Main-Gebiet mit einer Akkukapazität eines E-Mobils erschlossen werden kann, selbst wenn man von winterlichen Bedingungen ausgeht (vgl. Abb. 112). Laut Herstellerangaben schaffen moderne Elektromobile mit einer Akkuladung ca. 150 -180 km. Als „worst-case-Szenario“ sollte eine Reichweite von ca. 100 km eine belastbare Grundlage darstellen. Für die Betrachtung möglicher Nutzungsszenarien wird davon ausgegangen, dass die Wagen sowohl im innerstädtischen Kurzstreckenverkehr als auch für Fahrten zur Arbeitsstätte genutzt werden.

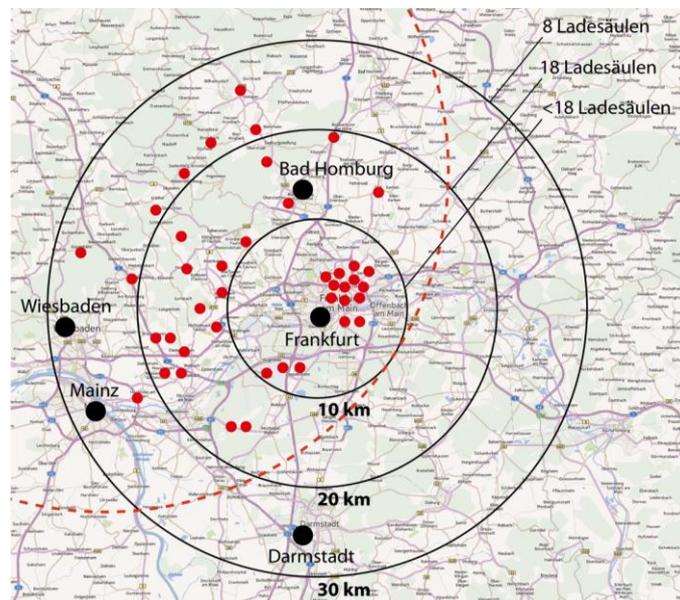


Abb. 112 Entfernungen großer Städte im Rhein-Main-Gebiet unter Angabe der vorhandenen Ladestellen der Mainova (rot); Quelle: FGee, TU Darmstadt

Ladeinfrastruktur

Im gesamten Rhein-Main-Gebiet gibt es derzeit ca. 50 öffentliche Ladesäulen, die von der Mainova betrieben werden und vor allem an Hauptstraßen und wichtigen Parkplätzen positioniert sind. Durch die intensiven Kooperationen zwischen der ABG-Holding mit ihrer Tochter ABGnova, sowie der gemeinsamen Tochter mit der Mainova, der book'n'drive Mobilitätssysteme GmbH und den daraus kreierten, weitreichenden Kontakten und Kooperationen mit vielen Mobilitätsdienstleistern im Rhein-Main-Gebiet liegt eine konzeptionelle Verknüpfung mit der Elektromobilität des Aktiv-Stadthauses nahe.

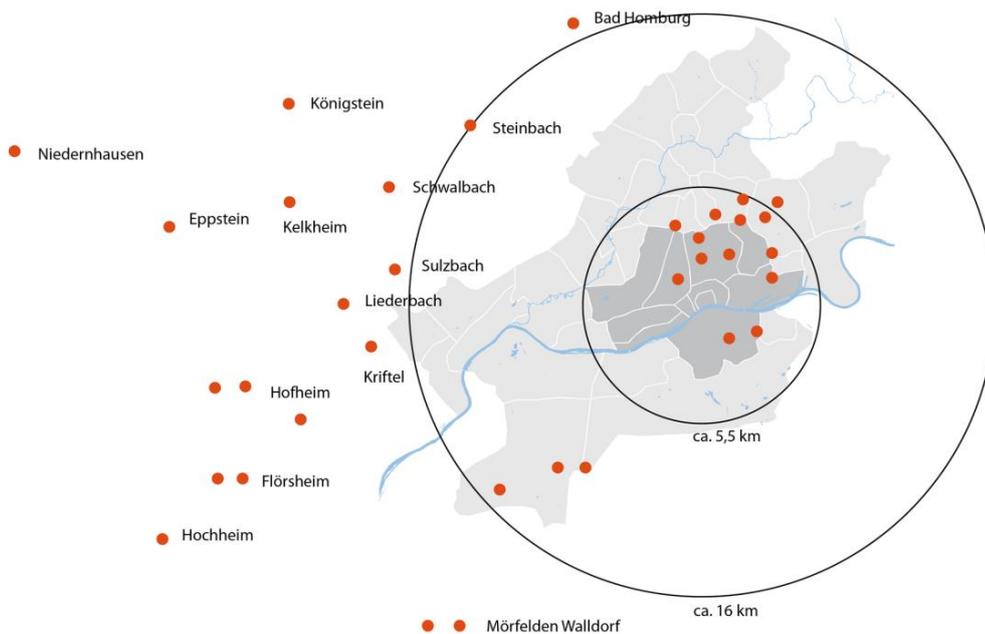


Abb. 113 Die derzeit vorhandenen Ladesäulen der Mainova im Rhein-Main-Gebiet; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Eine konzeptionelle Einbindung der öffentlichen Ladesäulen in das Nutzermanagement des Aktiv-Stadthauses ist wünschenswert und könnte den Bewohnern bzw. den öffentlichen Nutzern der Elektroflotte mehr Flexibilität ermöglichen. Eine solche Einbindung könnte unabhängig jeden spezifischen Szenarios folgende Möglichkeiten bereitstellen:

- Blockieren/Mieten einer Ladesäule an einem Zielort;
- Abrechnung des betankten Stromes über den Wagen bzw. User-Account;
- Intelligente Verkehrsberatung, die unter Einbeziehung aktueller Verkehrs- und Wetterdaten Fahrzeiten und Reichweiten Prognosen ermittelt.

5.6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Rahmen des Projektes wurde untersucht, inwieweit sich eine Flotte im Aktiv-Stadthaus wirtschaftlich darstellen lässt. Insbesondere die Flottengröße, die benötigte Auslastung der Wagen sowie der sonstige Flottenbetrieb wurden unter verschiedenen Aspekten evaluiert und überprüft. Die Betrachtungen fanden in Rücksprache mit dem voraussichtlich zukünftigen Flottenbetreiber book'n'drive statt.

Die folgenden Berechnungen gehen primär von einer Nutzung durch die Mieter des Hauses aus. Entweder könnte dies durch eine im Mietvertrag verbindlich geregelte Sonderabgabe „Elektromobilität“ und/oder freiwillig durch den Zukauf von Kilometerkontingenten erfolgen. Daneben soll die E-Mobil-Flotte auch der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Folgende Wirtschaftlichkeitsszenarien wurden betrachtet:



Szenario I: All-In-Konzeption - Warmmietenpauschale für E-Mobilität

Dem Bewohner wird verbindlich zzgl. zum Mietvertrag ein Kilometerkontingent verkauft, das er im Laufe des Monats verfahren kann. Eine zusätzliche öffentliche Nutzung durch book'n'drive-Kunden ist denkbar.



Szenario II: Kilometergenaue Abrechnung der gefahrenen Strecken

Jeder gefahrene Kilometer wird zu einem Fixbetrag abgerechnet.



Szenario III: Anlehnung an bestehende Tarifstrukturen von book'n'drive

Die Elektromobilitätsflotte wird in die bestehende Flotte von book'n'drive integriert und die Abrechnungsmodalitäten orientieren sich an den bestehenden Strukturen.



Szenario IV: Kilometerkontingent bei freiwilliger Abnahme

Eine verbindliche Abnahme eines Kilometerkontingentes ist nicht realisierbar, die Abnahme geschieht auf freiwilliger Basis.

Das Szenario c) in Orientierung an bestehenden Tarifstrukturen bei book'n'drive gibt Aufschluss darüber, in welchem Umfang eine Öffnung der Flotte in Richtung Öffentlichkeit von Vorteil sein kann.

5.6.1. Berechnungsgrundlagen

Investitionskosten

Die Investitionskosten sind für die Vergleichbarkeit auf eine Leasingrate bezogen, die stellvertretend für die monatlich laufenden Kosten eines Elektrofahrzeuges stehen und sich an den auf dem Markt erhältlichen Preisen orientiert. Im Rahmen des Forschungsprojektes fanden hierfür Gespräche mit verschiedenen Automobilkonzernen statt.

So wurde der e-Smart mit einer jährlichen Laufleistung von 30 tkm zu einem Preis von 288 €/Monat angeboten, zuzüglich Batterie für 50 €/Monat (siehe Abb. 114). Dieses Angebot dient der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung als Referenzangebot für die folgenden Szenarien (siehe Abb. 114).

Ihr Fahrzeug:

fortwo coupe C451 (Mopf 12) electric drive coupe (s&c) ohne Batterie
Neuwagen

Abb. 114 Angebot für das
Aktiv-Stadthaus über den
Smart ED; Quelle:
eco:factory, 30.07.2012

Leasing / Service-Leasing / Miete

Nr.	Produkt	Laufzeit	Laufleistung in km	Kaufpreis in EUR	Sonderzahlung in EUR	Gesamt basiswert in EUR	Leasingfaktor	Finanzleasingrate monatlich in EUR	Dienstleistungsrate monatlich in EUR	Gesamtrate monatlich in EUR
1	Leasing	36 Mon.	30.000	14.778,41	0,00	14.778,41	1,73 %	256,29		256,29
2	Leasing	36 Mon.	60.000	14.778,41	0,00	14.778,41	1,84 %	272,44		272,44
3	Leasing	36 Mon.	90.000	14.778,41	0,00	14.778,41	1,95 %	288,59		288,59

Alle genannten Preise verstehen sich zuzüglich der gesetzlichen Umsatzsteuer, sofern die Beträge umsatzsteuerpflichtig sind.

Verwaltungsaufwand, Parkkosten

Der Verwaltungsaufwand pro Fahrzeug wird in allen Szenarien gemäß Rücksprache mit book 'n' drive³⁵ pauschal mit 100 €/Fahrzeug angenommen, ebenso die Parkplatzmiete.

Realkosten für einen gefahrenen Kilometer

Die Realkosten pro gefahrenem Kilometer entsprechen bei einem modernen Kleinwagen laut ADAC Statistik bei einem Smart 0,8 cdi ca. 32 ct/km. Der Smart electric drive schneidet mit 31 ct/km nur unwesentlich günstiger ab (vgl. Abb.115). Eine Tarifstruktur, die den realgefahrenen Kilometer eines Elektromobiles zu einem im Vergleich mit dem fossil angetriebenen PKW attraktiven Preis anbietet, könnte Anreize schaffen, diese Fahrzeuge zu nutzen.

Kostenvergleich

smart fortwo 0,8 cdi
smart fortwo electric drive

15.000km Fahrleistung im Jahr
48 Monate

Modell	Grundpreis
smart fortwo 0,8 cdi	14295
smart electric drive exkl. Batterie	19000

monatliche Kosten:

Fixkosten	Werkstattkosten	Betriebskosten	Wertverlust	Gesamt	€/km
Steuer: 11	Insp. Wartung: 15	Diesel*** 74			
sonst. 58,5	Reparaturen: 14	sonstiges 7			
	Reifen: 8				
69,50 €	37,00 €	81,00 €	209,00 €	396,50 €	0,32 €
Steuer: 0	Insp. Wartung: 10	Strom* 39			
sonst. 58,5	Reparaturen: 14	Batterie** 60			
	Reifen: 8				
58,50 €	32,00 €	99,00 €	200,00 €	389,50 €	0,31 €

*) lt. ADAC autotest smart fortwo electric drive, sep. 2010 liegt der Verbrauch bei 1,56kwh/10km ausgegangen werden von 15000 km und einem Strompreis von 0,20 €.
tiefe winterliche Bedingungen sind nicht berücksichtigt
**) Angebot von Smart, inkl. aller Serviceleistungen und Wartung der Batterie
***) 15.000km/Jahr; 1,48 € l/diesel; Verbrauch 4l; 7€ pausch f. Öl & sonstiges

Abb.115 Vergleich der Realkilometerkosten eines Smarts ed mit einem Smart 0,8 cdi; Quelle: FGee, TU Darmstadt

³⁵ book 'n' drive; Email, Hr. Trillig vom 26.09.2012

Vergleich der Elektromobilitätsgesamtkosten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Energiebezüge (Umlage PV- und Speicherkosten)

Neben den Realkosten eines gefahrenen Kilometers wurden zudem die Kosten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Energiebezugskonzepte betrachtet. Diese können je nach Speicherkonzeption und Strombezug variieren (siehe Abb. 116 und Abb. 117). Wird der Strom zwischengespeichert, müssen die Kosten für den Speicher entsprechend umgelegt werden. Werden die Wagen mit PV-Strom betrieben, ist anteilig die Investition für die PV-Anlage zu berücksichtigen. Bei Netzstrombezug ist lediglich der Strompreis zu veranschlagen.

Dieser Kostenvergleich zeigt den Vorteil der Gesamtkosten der E-Mobilität im Vergleich zu einem benzinbetriebenen PKW. Dabei sind zusätzliche Investitionskosten anteilig berücksichtigt, welche der regenerativ erzeugte Strom eines Plus-Energie-Gebäudes bedingen.

Legt man die Kosten bei einer Flottengröße von acht Fahrzeugen mit einer theoretischen Laufleistung von 30.000 km pro Jahr auf ein Fahrzeug um, so beziffert sich der finanzielle Vorteil der Elektrowagen auf bis zu 22 %.

Abb. 116 Kosten pro km bei verschiedenen Energieerzeugungs- und Speicherkonzeptionen und einem durchschnittlichen Energieverbrauch von 0,24 kWh/km entsprechend den Annahmen des BMVBS.

Angabe als Umlage auf 74 Wohneinheiten, die Wohnfläche des Aktiv-Stadthauses und Gesamtkosten. Bei der Betrachtung sind Werkstattkosten und Wertverlust der voran gegangenen Berechnung nicht enthalten.;
Quelle: STZ

Kostenvergleich verschiedener Car-Sharingkonzepte

Anzahl Fahrzeuge: 8 Gesamtkilometer: 240.000 km/a

	E-Mobil PV-Strom	E-Mobil PV+Speicher- Strom	E-Mobil Netzstrom	PKW Benzin	
Fahrzeug	32,4	32,4	32,4	21,6	€/(WE*mon)
Ladeinfrastruktur	1,5	1,5	1,5	0,0	€/(WE*mon)
Betriebskosten	13,9	19,5	13,0	32,5	€/(WE*mon)
Gesamt	47,9	53,4	46,9	54,2	€/(WE*mon)
	88%	99%	87%	100%	
Fahrzeug	4,4	4,4	4,4	3,0	€/(m ² *a)
Ladeinfrastruktur	0,2	0,2	0,2	0,0	€/(m ² *a)
Betriebskosten	1,9	2,7	1,8	4,5	€/(m ² *a)
Gesamt	6,6	7,3	6,4	7,4	€/(m²*a)
	88%	99%	87%	100%	
Gesamt	443	494	434	501	€/Fz.
Gesamt	3.542	3.950	3.470	4.008	€/mon
Gesamt	42.504	47.400	41.640	48.096	€/a
Kosten pro km	0,177	0,198	0,174	0,200	€/km

In Abb. 116 wird deutlich, dass der gefahrene Kilometer eines E-Mobils (hier: Smart ed) im Vergleich zu den Realkosten eines benzingetriebenen PKW bei einer Auslastung von 30.000 km pro Jahr (8 Fahrzeuge: 240 tkm) deutlich geringer ist. Begründet werden kann dies insbesondere mit den geringeren Betriebskosten des smart ed, die bei entsprechender Laufleistung die höheren Investitionskosten auffangen. Dieser Kostenvorteil ist auch unter Berücksichtigung von PV- und Speicherinvestitionen gegeben.

Wenn man die Verbrauchswerte des ADAC Fahrleistungstest (0,156 kWh/km) zugrunde legt, wird der finanzielle Vorteil gegenüber dem benzingetriebenen PKW nochmals deutlich (siehe Abb. 117).

Kostenvergleich verschiedener Car-Sharingkonzepte

Anzahl Fahrzeuge: 8 Gesamtkilometer: 240.000 km/a

	E-Mobil PV-Strom	E-Mobil PV+Speicher- Strom	E-Mobil Netzstrom	PKW Benzin	
Fahrzeug	32,4	32,4	32,4	21,6	€/(WE*mon)
Ladeinfrastruktur	1,5	1,5	1,5	0,0	€/(WE*mon)
Betriebskosten	9,1	12,6	8,4	32,5	€/(WE*mon)
Gesamt	43,0	46,6	42,4	54,2	€/(WE*mon)
	79%	86%	78%	100%	
Fahrzeug	4,4	4,4	4,4	3,0	€/(m ² *a)
Ladeinfrastruktur	0,2	0,2	0,2	0,0	€/(m ² *a)
Betriebskosten	1,2	1,7	1,2	4,5	€/(m ² *a)
Gesamt	5,9	6,4	5,8	7,4	€/(m²*a)
	79%	86%	78%	100%	
Gesamt	398	431	392	501	€/Fz.
Gesamt	3.181	3.446	3.134	4.008	€/mon
Gesamt	38.170	41.352	37.608	48.096	€/a
Kosten pro km	0,159	0,172	0,157	0,200	€/km

Abb. 117 Kosten pro km bei verschiedenen Energieerzeugungs- und Speicherkonzeptionen, und einem durchschnittlichen Energieverbrauch von 0,156kWh/km entsprechend den Fahrleistungsergebnissen des ADAC. Angabe als Umlage auf 74 Wohneinheiten, die Wohnfläche des Aktiv-Stadthaus und Gesamtkosten. Bei der Betrachtung sind Werkstattkosten und Wertverlust der voran gegangenen Berechnung nicht enthalten.; Quelle: STZ

Realkosten für einen gefahrenen Kilometer als Grundlage für ein „Kilometerkontingent E-Mobilität“

Mit dem erhobenen Betrag für die E-Mobilität müssen die verbrauchsabhängigen Stromkosten, die Anschaffung und Wartung der Wagen und die Kosten für das Flottenmanagement gedeckt werden. Es gilt zu überprüfen, inwieweit durch die Elektromobilität beim Betreiber eine Rendite bringende Wertschöpfung entstehen kann. Im Folgenden wird solch eine Wertschöpfung im Szenario I „All-In-Konzeption“ evaluiert.

5.6.2. Szenario I: „All-In-Konzeption“ – Warmmietenpauschale für E-Mobilität

In diesem Konzept wird zusätzlich zu den gebäudebezogenen, bedarfsabhängigen Nebenkosten mit jeder Wohneinheit eine Pauschale für die Elektromobilität verbindlich mitverrechnet.

Unabhängig von der Wohnungsgröße könnten den Mietern „Pakete“ verschiedener Kilometerkontingente an Elektromobilität angeboten werden, die dann auf die Warmmiete aufgeschlagen werden. Für einen Bewohner, der wenig fährt, könnte ein S-Paket mit z.B. 100 km/Monat interessant sein, für Vielfahrer ein M-Paket mit z.B. 200 km/Monat, L mit 500 km/Monat und XL mit 1.000 km/Monat.

Die Preisstaffelung für die einzelnen Pakete könnte sich an den Kosten eines real gefahrenen Kilometers eines durchschnittlichen Kleinwagens orientieren (vgl. Abb.115). Dabei könnten die Kosten des S-Paketes einen geringen Preisvorteil gegenüber dem Preis der herkömmlichen fossilen Mobilität bringen, die Kosten des XL Paketes einen großen Vorteil. Zum Beispiel:

S-Paket	:	0,35 €/km	->	35 €/Monat
M-Paket	:	0,30 €/km	->	60 €/Monat
L-Paket	:	0,28 €/km	->	140 €/Monat
XL-Paket	:	0,25 €/km	->	250 €/Monat
Mobi-Flat	:	k.A.	->	500 €/Monat

In dem Szenario I wird eine verbindliche Abnahme eines S-Paketes für jede Wohneinheit angenommen (Rechnung: siehe folgende Tabelle). Bei einer theoretischen Auslastung der Fahrzeuge mit 10.000 km jährlich und einem durchschnittlichen Kilometerpreis von 0,30 €/km würde das Konzept bei der verbindlichen Abgabe eines S-Paketes pro ausgelastetem Fahrzeug ca. 3.000 € jährlich „einfahren“. Hiervon müssten sich der Kaufpreis, bzw. die Leasingrate, sowie der Betrieb der Flotte, eine etwaige anfallende Parkplatzmiete und eine Wertschöpfung für den Betreiber refinanzieren. Um diese Auslastung zu erreichen, müsste der Wagen durchschnittlich 27 km/Tag genutzt werden, was als realistisch zu betrachten ist. 3.000 € jährlich entsprechen 250 € monatlich, welches weit unter einer derzeit auf dem Markt verfügbaren Fullservice-Leasingrate von 300 – 700 € monatlich (je nach Modell) liegt, bei denen noch keine Stromkosten, kein Gewinn für den Betreiber und keine Parkplatzmiete mit kalkuliert ist.

Szenario I: All-In-Konzept

(mit verbindlicher Abgabe eines S-Paketes an jede Wohneinheit sowie öffentlicher Nutzung; Kosten pro Fahrzeug: 338 €/Monat; = bis zu fünf Fahrzeuge sind wirtschaftlich abbildbar)

Da die verbrauchsabhängigen Nebenkosten deutlich unter denen konventioneller Bauweisen liegen und im Rahmen der Pauschalabrechnung eine Finanzsicherheit geben, könnte man die Differenz zu den ortsüblichen Nebenkosten ggf. nutzbar machen und mit jeder WE z.B. ein S-Paket im Rahmen der Warmmiete verbindlich abgeben. Die einzelnen Wohneinheiten könnten dann 100 km monatlich fahren. Sollten Sie mehr benötigen, müssten die Kilometer entsprechend dazu gekauft werden. Bei 74 Wohneinheiten würde dies 31.080 € im Jahr entsprechen (74 WE x 12 mon. x 35 €). Dieser Betrag würde rein rechnerisch bei acht Fahrzeugen 324 €/Fahrzeug und Monat entsprechen, welches als autarke, solide Grundlage für die Flottenfinanzierung dient, wenn man davon ausgeht den Wagen für 338 € monatlich im Full-Service Leasing zu bekommen.*

Bei einem Verwaltungsaufwand pro Fahrzeug von 100 €/Monat und einer Parkplatzmiete von 100 €/Monat, ergäbe sich bei 5 Fahrzeugen rechnerisch ein Überschuss von 577,60 €.

Eine externe Nutzung seitens book'n'drive, sowie durch die Mieter des Hauses, wurde jeweils für die Gesamtflotte mit 10.000 km angesetzt.

*) vgl Angebot Smart, inklusive Batterie iHv 50 €

Input I: Allgemeine Anforderungen	
Verbrauch lt. BMVBS	0,24 kwh/km
Strompreis	0,2 EUR/kwh
Full-Service Leasing e-car*	338 EUR/Monat*
reine Stromkosten per km:	0,048 EUR/km

Input III: öffentliche Nutzung durch book'n'drive	
durchschnittl. Mietkosten, für die externe book'n'drive Nutzung:	0,35 EUR/km
kalkulierte Nutzung durch book'n'drive:	10000 km/Jahr
Saldo:	3020 EUR/Jahr

Input II: Nutzung durch die Mieter	
durchschnittliche Mietkosten, für den e-mobilkilometer:	0,35 EUR/km
kalkulierte zusätzliche Kilometernutzung durch Mieter des Hauses:	10000 km/Jahr
Saldo abzüglich Stromkosten:	3020 EUR/Jahr

Output I: Parkplatzmiete	
monatl. Mietkosten/Parkplatz	100 EUR
Output II: Verwaltungsaufwand Flotte:	
durch book'n'drive auszufüllen	
Verwaltungsaufwand pro Fahrzeug:	100 EUR

Input V: Kontingente	Paket	inkl. Km	Paketkosten	Betriebskosten	Kosten pro km	Bilanz
74	S	100	35,00 €	4.262,40 €	0,35 €/km	Einnahmen: 31.080,00 €
0	M	200	65,00 €	0,00 €	0,30 €/km	Ausgaben: 4.262,40 €
0	L	500	140,00 €	0,00 €	0,28 €/km	
0	XL	1000	250,00 €	0,00 €	0,25 €/km	Saldo: 26.817,60 €

Szenario I:									
Flottengröße	jährl. Leasingkosten	jährl. Einnahmen aus Paketen	jährliche Betriebskosten	Saldo Flottenbetrie	jährl. Einnahmen aus zus. Km	jährl. Einnahmen b'n'd	jährl. Kosten für Parkplatz	jährl. Kosten für Verwaltung:	Gesamt saldo
5	20.280,00 €	31.080,00 €	4.262,40 €	26.817,60 €	3.020,00 €	3.020,00 €	6000	6000	577,60 € € Überschuss
8	32.448,00 €	31.080,00 €	4.262,40 €	26.817,60 €	3.020,00 €	3.020,00 €	9600	9600	-18.790,40 € € Verlust

Szenario Ia: All-In-Konzept + zusätzliche Pakete

(mit verbindlicher Abgabe eines S-Paketes an jede Wohneinheit, unter Abnahme zusätzlicher Pakete sowie öffentlicher Nutzung; Kosten pro Fahrzeug: 338 €/Monat; = bis zu sechs Fahrzeuge sind wirtschaftlich abbildbar)

Wenn man davon ausgeht, dass die Mieter die Elektromobilität annehmen und nach einer gewissen Zeit die Wagen als vollwertigen Ersatz für den Privat-PKW annehmen und zusätzliche Pakete buchen, so könnte sich die Flottengröße in Richtung der angedachten acht Fahrzeuge optimieren.

Die zusätzliche Kilometernutzung durch Mieter des Hauses, die kein Interesse an dem zusätzlichen Kauf von ganzer „Pakete“ haben, wurde für die Gesamtflotte mit 5.000 km (Input II), sowie eine öffentliche Nutzung mit ebenfalls 5.000 km (Input III) angesetzt.

Input I: Allgemeine Anforderungen	
Verbrauch lt. BMVBS	0,24 kWh/km
Strompreis	0,2 EUR/kWh
Full-Service Leasing e-car*	338 EUR/Monat*
reine Stromkosten per km:	0,048 EUR/km

Input III: öffentliche Nutzung	
durchschnittl. Mietkosten, für die externe book'n'drive Nutzung:	0,35 EUR/km
kalkulierte Nutzung durch book'n'drive:	10000 km/Jahr
Saldo:	3020 EUR/Jahr

Input II: Nutzung durch die Mieter	
durchschnittliche Mietkosten, für den e-mobilkilometer:	0,35 EUR/km
kalkulierte zusätzliche Kilometernutzung durch Mieter des Hauses:	5000 km/Jahr
Saldo abzüglich Stromkosten:	1510 EUR/Jahr

Output I: Parkplatzmiete	
monatl. Mietkosten/Parkplatz	100 EUR

Output II: Verwaltungsaufwand Flotte: durch book'n'drive auszufüllen	
Verwaltungsaufwand pro Fahrzeug:	100 EUR

Input V: Kontingente	Paket	inkl. Km	Paketkosten	Betriebskosten	Kosten pro km	Bilanz
54	S	100	35,00 €	3.110,40 €	0,35 €/km	Einnahmen: 49.920,00 €
10	M	200	65,00 €	1.152,00 €	0,30 €/km	Ausgaben: 7.718,40 €
8	L	500	140,00 €	2.304,00 €	0,28 €/km	
2	XL	1000	250,00 €	1.152,00 €	0,25 €/km	Saldo: 42.201,60 €

Szenario Ia:									
Flottengröße	jährl. Leasingkosten	jährl. Einnahmen aus Paketen	jährliche Betriebskosten	Saldo Flottenbetrie	jährl. Einnahmen aus zus. Km	jährl. Einnahmen b'n'd	jährl. Kosten für Parkplatz	jährl. Kosten für Verwaltung:	Gesamt saldo
5	20.280,00 €	49.920,00 €	7.718,40 €	42.201,60 €	1.510,00 €	3.020,00 €	6000	6000	14.451,60 € € Überschuss
8	32.448,00 €	49.920,00 €	7.718,40 €	42.201,60 €	1.510,00 €	3.020,00 €	9600	9600	-4.916,40 € € Verlust

Deutlich wird, dass die verbindliche Abnahme des Szenarios I, in Verbindung mit zusätzlichen Kilometerkontingenten einen Ansatz darstellt, die Flotte langfristig und nachhaltig zu betreiben.

Der Umgang mit den Kilometern eines Paketes, die nicht genutzt wurden, müsste dabei geregelt werden. Denkbar wäre, dass man diese in Folgemonate transferieren kann, dies unabhängig vom Erwerb des neuen Paketes.

Mobilitätsgarantie

Bei einer guten Auslastung der Flotte und der verbindlichen Abgabe von Kilometern müsste der Flottenbetreiber eine Mobilitätsgarantie gewährleisten, sodass für den Fall der Ausbuchung dennoch auf andere Fahrzeuge zurückgegriffen werden kann. Des Weiteren sind die z.T. längeren Ladezyklen zu berücksichtigen, die die Verfügbarkeit einschränken. In fußläufiger Erreichbarkeit der Speicherstraße gibt es zwei Verleihstationen von book'n'drive, die eine Gesamtkapazität von bis zu 30 konventionellen Fahrzeugen aufweisen. Dies sollte die Mobilitätsgarantie gewährleisten können.

5.6.3. Szenario II: Kilometergenaue Abrechnung

Alternativ zu einer pauschalen Abgabe über „km-Pakete“ wird ein Szenario einer kilometergenauen Abrechnung betrachtet. Hierbei könnte entweder über einen pauschalen Festbetrag (z.B. in Höhe von 25 ct/km) abgerechnet werden, oder auch eine Staffelmiete in Abhängigkeit von den gefahrenen Kilometern am Ende eines Monats. Bei der kilometergenauen Abrechnung ist die Leihdauer zu berücksichtigen.

Szenario II: Kilometergenaue Abrechnung:

(kilometergenaue Abrechnung der Fahrleistung für die Bewohner des Aktiv-Stadthauses, monatliche Kosten pro Wagen: 338 €)

Bei einer Flottengröße von acht Wagen, würde die Flotte jährliche Leasingkosten von 32.488 € erzeugen. Flottenverwaltung und Parkplatzmiete wurden wie bei den zuvor beschriebenen Szenarien mit je ca. 100 € pro Fahrzeug angesetzt: für 8 Fahrzeuge entsprechend 19.200 €. Insgesamt würde die Flotte 51.688 € an Fixkosten besitzen.

Geht man davon aus, dass man den Kilometer E-Mobilität pauschal für 25 ct an den Tagespendler verkaufen kann und rechnet mit Stromkosten iHv. 5 ct/km für den Betreiber würden die Wagen pro gefahrenen Kilometer 20 ct einfahren. Dies entspräche einer jährlich benötigten Kilometerleistung von ca. 2.584.400 km für die Gesamtflotte, bzw. ca. 32.300 km pro Fahrzeug. Auf den Tageskilometerbedarf (240 Arbeitstage pro Jahr) runtergerechnet würde dies ca. 134 km (Insgesamt für Hin- und Rückweg) entsprechen, welches auf Grundlage der im Rhein-Main-Gebiet vorherrschenden Berufspendlerströme kaum realistisch erscheint.

Allgemeine Anforderungen	
Verbrauch lt. BMVBS	0,24 kwh/km
Strompreis	20 ct/kwh
Full-Service Leasing e-car*	338 EUR/Monat*
reine Stromkosten per km:	0,048 EUR/km

book'n'drive Profil:	
Anzahl Entleihungen:	40 Stk./Monat
durchschnittl. Leihdauer:	4,50 h
Pauschale für 3h:	0 EUR
monatl. Einnahmen aus Pauschale:	0 EUR

Szenario II: keine verbindliche Abnahme						
erhobener Betrag pro Kilometer:		0,25 EUR/km		5ct für Strom abgezogen		
Flottengröße	Verwaltung/P arklplatz	Leasing-kosten	Einnahmen aus Leihpauschale	Saldo	zus. benötigte Kilometer:	
1	2400	4056	0	6456	31960,40	pro Wagen: 31960,40 km/jahr
2	4800	8112	0	12912	63920,79	pro Wagen/pro Arbeitstag (240 Stk) 133,17 km/d
4	9600	16224	0	25824	127841,58	pro Wagen/pro Tag 87,56 km/d
6	14400	24336	0	38736	191762,38	
8	19200	32448	0	51648	255683,17	
10	24000	40560	0	64560	319603,96	

Durchschnittl. Fahrleistungen bei konventionellen b'n'd Wagen		
	Mai '12	Juni '12
Astra:	32,77	32,71
Corsa:	94,00	70,37
C1:	111,06	63,07

Das Ergebnis zeigt, dass die kilometergenaue Abrechnung als alleinige Flottenfinanzierung ungeeignet erscheint.

5.6.4. Szenario III: Anlehnung an bestehende Tarifstrukturen von book'n'drive.

In einem weiteren Szenario wird davon ausgegangen, dass die E-Mobilitätsflotte von book'n'drive im Rahmen ihrer Car-Sharing Konzeptionen betrieben wird. Da jedoch der wirtschaftliche Betrieb einer E-Mobilitätsflotte nach klassischen Gesichtspunkten eher schwierig ist und nach Aussagen von book'n'drive nur möglich/interessant ist, wenn die Fahrzeuge 35 % ihrer Zeit bewegt werden, wird unter dieser Maßgabe dieses Szenario als eher ungeeignet betrachtet. Eine genaue Wirtschaftlichkeitsanalyse müsste seitens book'n'drive erfolgen. Aktuelle Zahlen von book'n'drive belegen, dass ein herkömmlicher Kleinwagen zwischen 80 und 120 km täglich bewegt wird.

In der bestehenden Tarifstruktur von book'n'drive wird zu jeder Entleihung eine Pauschale fällig, die sich nach der beabsichtigten Entleihzeit und der Wagengröße richtet. Mit dieser könnte der für eine Wirtschaftlichkeit täglich nötige Kilometerbedarf gesenkt werden.

Szenario III: Anlehnung an bestehende Tarifstrukturen von book'n'drive

Bei einer Entleihpauschale von 10 €, einer durchschnittlichen Entleihhäufigkeit von 40 mal/Monat* und einem darauf aufbauenden Kilometerpreis von 15 ct /km, könnte der tägliche Mindestkilometerbedarf auf 44 km/Fahrzeug gedrückt werden, was bei einer durchschnittlichen Fahrleistung der konventionellen book'n'drive Fahrzeuge von über 60 km/Tag erreichbar erscheint:

Allgemeine Anforderungen	
Verbrauch lt. BMVBS	0,24 kwh/km
Strompreis	20 ct/kwh
Full-Service Leasing e-car*	338 EUR/Monat*
reine Stromkosten per km:	0,048 EUR/km

book'n'drive Profil:	
Anzahl Entleihungen:	40 Stk./Monat
durchschnittl. Leihdauer:	4,50 h
Pauschale für 3h:	10 EUR
monatl. Einnahmen aus Pauschale:	400 EUR

Szenario II: keine verbindliche Abnahme					
erhobener Betrag pro Kilometer: 0,15 EUR/km 5ct für Strom abgezogen					
Flottengröße	Verwaltung/P Leasing-		Einnahmen aus		
	arkplatz	kosten	Leihpauschale	Saldo	
1	2400	4056	4800	1656	
2	4800	8112	9600	3312	
4	9600	16224	19200	6624	
6	14400	24336	28800	9936	
8	19200	32448	38400	13248	
10	24000	40560	48000	16560	
					zus. benötigte Kilometer:
					16235,29
					pro Wagen:
					16235,29 km/jahr
					pro Wagen/pro Arbeitstag (240 Stk)
					67,65 km/d
					pro Wagen/pro Tag
					44,48 km/d

Durchschnittl. Fahrleistungen bei konventionellen b'n'd Wagen		
	Mai '12	Juni '12
Astra:	32,77	32,71
Corsa:	94,00	70,37
C1:	111,06	63,07

Jahresbilanz pro Wagen:	
Einnahmen aus Pauschale:	4800 EUR
Einnahmen aus Kilometer:	4131,6 EUR
Kosten Parkplatz/Verwaltung	2400 EUR
Kosten Leasing d. Fahrzeugs	4056 EUR
Gesamt/Wagen:	2475,6 EUR

*) laut vorliegender Statistik werden die book'n'drive Fahrzeuge durchschnittlich ca. 52 mal/Monat entliehen. Dieses Szenario geht von lediglich 40 Entleihungen aus.

5.6.5. Szenario IV: Kilometerkontingent bei freiwilliger Abnahme

Sollte die verbindliche Abgabe einer Pauschale im Rahmen einer All-Inclusive-Mietkonzeption nicht möglich sein, so wäre die Flottenfinanzierung in der angedachten Größe von ca. acht Fahrzeugen derzeit nicht wirtschaftlich darstellbar.

Nach Rücksprache mit dem möglichen Flottenbetreiber book'n'drive wurde als mögliches Szenario eine freiwillige Abnahme von Kilometerkontingenten angedacht. Dabei wird von der Abnahme von ca. zehn S-Paketen zu je 35 € sowie fünf M-Pakete zu je 60 € ausgegangen. Die Abnahme würde in diesem Fall ohne Abnahmeverträge nach dem individuellen Bedarf erfolgen. In diesem Fall würde sich eine Flotte von zwei bis drei³⁶ Fahrzeugen wirtschaftlich abbilden lassen. Sie könnte ggf. zunächst durch 20 bis 30 konventionelle book'n'drive Fahrzeuge unterstützt werden, die in unmittelbarer Nähe zur Verfügung stehen (Umkreis von ca. 500 m). Mit steigender Nachfrage könnten die Wagen dann schrittweise abgelöst und ergänzt werden.

Szenario IV: Kilometerkontingent bei freiwilliger Abnahme

Nach Rücksprache mit book'n'drive entsteht folgendes Szenariobild, unter der Annahme, dass die verbindliche Abnahme eines Kilometerkontingentes NICHT möglich ist.

Input I: Allgemeine Anforderungen	
Verbrauch lt. BMVBS	0,24 kWh/km
Strompreis	0,2 EUR/kWh
Full-Service Leasing e-car*	338 EUR/Monat*
reine Stromkosten per km:	0,048 EUR/km

Input III: öffentliche Nutzung	
durchschnittl. Mietkosten, für die externe book'n'drive Nutzung:	0,35 EUR/km
kalkulierte Nutzung durch book'n'drive:	10000 km/Jahr
Saldo:	3020 EUR/Jahr

Input II: Nutzung durch die Mieter	
durchschnittliche Mietkosten, für den e-mobilkilometer:	0,35 EUR/km
kalkulierte zusätzliche Kilometernutzung durch Mieter des Hauses:	10000 km/Jahr
Saldo abzüglich Stromkosten:	3020 EUR/Jahr

Output I: Parkplatzmiete	
monatl. Mietkosten/Parkplatz	100 EUR

Output II: Verwaltungsaufwand Flotte: durch book'n'drive auszufüllen	
Verwaltungsaufwand pro Fahrzeug:	100 EUR

Input V: Kontingente	Paket	inkl. Km	Paketkosten	Betriebskosten	Kosten pro km	Bilanz
10	S	100	35,00 €	576,00 €	0,35 €/km	Einnahmen: 8.100,00 €
5	M	200	65,00 €	576,00 €	0,30 €/km	Ausgaben: 1.152,00 €
0	L	500	140,00 €	0,00 €	0,28 €/km	
0	XL	1000	250,00 €	0,00 €	0,25 €/km	Saldo: 6.948,00 €

Szenario IV:										
Flottengröße	jährl. Leasingkosten	jährl. Einnahmen aus Paketen	jährliche Betriebskosten	Saldo Flottenbetrie	jährl. Einnahmen aus zus. Km	jährl. Einnahmen b'n'd	jährl. Kosten für Parkplatz	jährl. Kosten für Verwaltung	jährl. Kosten Gesamt	Saldo
2	8.112,00 €	8.100,00 €	1.152,00 €	6.948,00 €	3.020,00 €	3.020,00 €	2400	2400	76,00 €	Überschuss
3	12.168,00 €	8.100,00 €	1.152,00 €	6.948,00 €	3.020,00 €	3.020,00 €	3600	3600	-6.380,00 €	Verlust

³⁶ Der Renault Twizy könnte hier eine Rolle spielen, da er für unter 100 € monatlich zu haben ist.

5.6.6. Fazit: Wirtschaftlichkeitsszenarien von Car-Sharing-Konzeptionen

Die beschriebenen Konzepte setzen eine hohe Akzeptanz der Elektromobilität voraus. Durch ein in der Miete pauschal enthaltenes Kilometerkontingent könnten ein zusätzlicher Mehrwert für den Mieter und eine solide Grundfinanzierung der Flotte gesichert werden. Begründen könnte man diese Konzeption im besonderen Fall des Aktiv-Stadthauses mit der bislang einzigartigen Integration der Mobilität in das Gebäude.

Eine Mischkonzeption, die vorrangig für die Bewohner des Hauses ausgelegt ist, und auf der verbindlichen Abnahme eines Kilometerkontingentes basiert, könnte eine Möglichkeit sein, die E-Mobilität wirtschaftlich zu gestalten und als Pilotprojekt mit einer Flottengröße von zunächst 5, später 8 Fahrzeugen in das Gebäude zu integrieren. Zusätzlich könnte die Wirtschaftlichkeit über eine öffentliche Nutzung durch book'n'drive Kunden sowie über zusätzlich gefahrene Kilometer durch die Mieter des Hauses gesichert werden.



Nachfrageoptimierung der E-Mobilitätsnutzung durch Einbindung der benachbarten Häusern bzw. des Büroviertels (öffentliche Nutzung).

Sollte eine verbindliche Abnahme eines Kilometerkontingentes nicht möglich sein, könnte ein Lösungssatz darin bestehen, zunächst weniger E-Mobile anzubieten. Ein Startscenario für das Aktiv-Stadthaus könnte so aus z.B. 3 Wagen bestehen.

Alle Szenarien basieren auf einer Leasingrate von 338 €. Dieser Betrag entspricht einem verbindlichen Leasingangebot von Smart (vgl. Abb. 114). Andere fossile Fahrzeuge oder Hybridfahrzeuge könnten als Zwischenlösung dienen, solange die Reichweite der E-Mobile noch eingeschränkt ist. Zudem könnte darüber eine Mobilitätsgarantie gewährleistet werden.

5.6.7. „Individual-Leasing“ für die Bewohner des Aktiv-Stadthauses

Unabhängig von einem Car-Sharing-Konzept könnte ein weiteres Finanzierungsmodell ein „Individual-Leasing“ von Elektrofahrzeugen darstellen. Einzelne Mieter könnten für ihre Wohnung ein E-Mobil mitmieten, welches dann ausschließlich ihnen zur Verfügung stünde.

Ggf. könnte der lokale Energieversorger (Mainova/ABGnova) für das Aktiv-Stadthaus günstige Angebote für Bewohner schaffen, indem er Interessenten im Rahmen eines Langzeitmietvertrages einen Wagen zur Verfügung stellt. Da zukünftig ggf. davon auszugehen ist, dass die Investitionskosten der E-Mobilität günstiger werden, könnte eine monatliche Leasingrate von unter 300 € erreicht werden. Je nach Auslastung der Parkplätze im Erdgeschoss könnte dem Bewohner dort ein Lade- und Parkplatz bereitgestellt werden. Alternativ könnten Parkplätze in der Tiefgarage mit zusätzlichen Ladesäulen für private PKW geschaffen werden.



Private Elektromobilität

Es sollte die Möglichkeit bedacht werden, private Elektromobilität bedienen zu können. Dazu sollten zusätzliche Parkplätze bei Bedarf ohne großen Aufwand mit Ladesäulen ausstattbar sein.

5.7. Pedelecs im Aktiv-Stadthaus

Die ABG Holding betreibt im Sophienhof in Frankfurt seit 2011 eine Pedelec-Station mit zehn Fahrrädern. Die Nachfrage der Fahrräder im Sophienhof ist nach Aussagen der ABGnova sehr gering. Inwieweit der wenig werbewirksame Standort in der privaten Tiefgarage des Sophienhofes dafür verantwortlich ist, ist noch unklar. Aus ökonomischer Sicht wird die Verlagerung der Pedelec-Station in das Aktiv-Stadthaus angedacht.

Aufgrund des sehr geringen Strombedarfes der Pedelecs, der den Stromverbrauch selbst bei regelmäßigem Fahren nur marginal beeinflusst, ist zu überprüfen, ob die Pedelecs aktiv in das Nutzerinterface und das Managementsystem, welche im Aktiv-Stadthaus geplant sind, eingebunden werden sollten.

Sollte die Nachfrage nach den Pedelecs im Aktiv-Stadthaus durch eine entsprechende werbewirksame Vermarktung ansteigen, könnte zu einem späteren Zeitpunkt ggf. eine Pedelec Station in das Aktiv-Stadthaus integriert werden, die sich dann der bereits vorhandenen Softwareschnittstellen zum Nutzermanagement der Elektrofahrzeuge bedient.



Abb. 118 Pedelecs im Sophienhof; Quelle: ABG Nova

5.8. Regenerative Strombereitstellung für die E-Mobilität

5.8.1. Fahr- und Standzeiten der Wagen

Da konzeptionell eine möglichst flexible Nutzung angedacht ist, muss davon ausgegangen werden, dass eine regelmäßige Beladung der Wagen tagsüber nicht gewährleistet werden kann. Das bedeutet, dass tagsüber die E-Mobile in der Regel abwesend sind – also dann, wenn solar erzeugter Strom direkt zur Verfügung steht.

5.8.2. Speicherauslegung

Die zeitliche Verschiebung zwischen Stromangebot und Lademöglichkeit bedarf einer phasenverschobenen Bereitstellung des regenerativ erzeugten Stromes. Beim Aktiv-Stadthaus ist daher eine Ladung der E-Mobile über den Speicher des Hauses angedacht. Bei der Dimensionierung des Stromspeichers wurde die Elektromobilität mit 40 kWh/d bilanziell berücksichtigt. Vorrangig werden jedoch über das Building-Management System alle anderen Verbraucher innerhalb des Hauses versorgt (vgl. Abb. 119). Selbst mit dem derzeit in Deutschland verfügbaren Strommix ist die CO₂-Bilanz eines Elektromobiles jedoch besser als die eines konventionellen PKW.

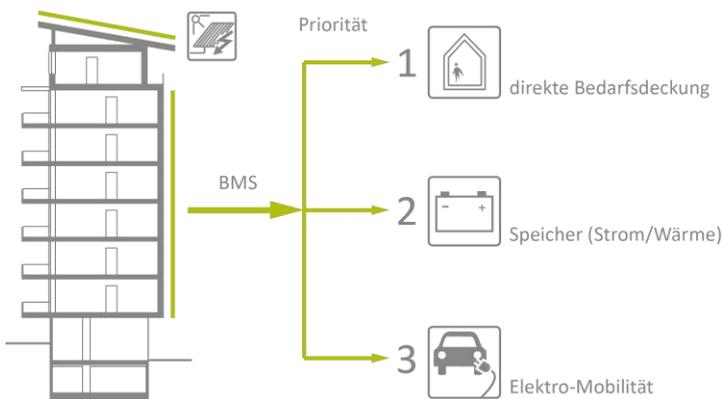


Abb. 119 Priorisierung der solaren Energieverteilung im Aktiv-Stadthaus; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Für die Auslegung des Speichers wurden u.a. der Strombedarf sowie Fahr- und Standzeiten evaluiert (Abb. 120). Dabei wurde die Annahme einer Verfügbarkeit der Wagen am Aktiv-Stadthaus zwischen 6 bis 20 Uhr von nicht mehr als 20 % getroffen. Dem lag die Annahme zu Grunde, dass der Fahrer ca. 9 -10 h für eine Fahrt zur Arbeitsstätte unterwegs ist.

Grundlagen je PKW		
vorwiegende Fahrzeit der Wagen:		6h - 20h Uhr
Fahrleistung:	mind.	70 km/d
Strombedarf pro km:	lt. BMVBS	0,24 kWh
Strombedarf täglich:	mind.	16,8 kWh
Strombedarf monatlich (20 Tage):	mind	336 kWh
Ladeintervall:		5 h
monatlicher Strombedarf in Abhängigkeit von der Flottengröße:		
2	mind	672 kWh
4	mind	1344 kWh
6	mind	2016 kWh
8	mind	2688 kWh
10	mind	3360 kWh

Abb. 120 Monatlicher theoretischer Strombedarf in Abhängigkeit der Flottengröße, als Grundlage einer Speicherauslegung; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Eigener Speicher exklusiv für die Elektromobilität

Alternativ könnte bei größeren Projekten ein eigener Speicher für die Elektromobilität verfügbar sein. Dieser könnte tagsüber mit überschüssiger Energie des vom Haus produzierten Stromes geladen werden und individuell und unabhängig vom Haushaltsstrombedarf nachts an die Wagen abgeben und somit eine Erhöhung des Eigennutzungsgrades des erzeugten Stromes erreichen.

Durch die relativ konstante Leistungseinlagerung und den bei einer ausschließlichen Verwendung für die Elektromobilität relativ gleichmäßigen Leistungsentzug können die Belastungen für die Batterie als gering eingestuft werden.

Im Aktiv-Stadthaus wurden verschiedene Speicherkonzeptionen untersucht und hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und ihres Nutzens evaluiert. Aufgrund der mittelfristig angedachten Flottengröße von acht Fahrzeugen sowie der Tatsache, dass das Haus einen größeren Speicher bekommt, der in der Plus-Energie-Konzeption begründet ist, wurde die Planung hinsichtlich des zweiten Speichers für die Elektromobilität nicht weiter verfolgt. Im Rahmen der Speicherkonzeption werden 40 kWh des Hauptspeichers für die Elektromobilität vorgehalten.

Die Entwicklungen am Strommarkt, insbesondere der Strompreis und die eigentlichen Speicherkosten, sowie neue Konzepte zum Stromlastbezug und Förderungsmöglichkeiten könnten diese Technologie zukünftig wirtschaftlich interessant machen.

Um die Wirtschaftlichkeit eines solchen Konzeptes abschätzen zu können, müssen insbesondere die solarertragsschwachen Wintermonate besonders detailliert betrachtet werden, da je nach Strombedarf und Konzept des Hauses der Speicher im Winter aufgrund der geringeren Solarerträge ggf. nicht genutzt würde. In dieser Zeit müssten die E-Mobile vollständig mit Netzstrom geladen werden.

5.8.3. Elektromobilität als (bidirektionaler) Pufferspeicher

Die relativ hohen Speicherkapazitäten der Batterien in den Elektrofahrzeugen legen eine Nutzung der Fahrzeuge als Pufferspeicher zum Lastspitzenausgleich sowie zur Erhöhung des Eigennutzungsgrades des solar erzeugten Stromes nahe. Ein Problem ist jedoch, dass die Fahrzeuge in den allgemeinen Spitzenlastzeiten oft nicht dem Haus zur Verfügung stehen.

Durch ein geschicktes Nutzermanagement und eine intelligente Gebäudeautomation könnte es jedoch gerade bei Einfamilienhäusern, bei denen die Batterieleistung der Wagen im Vergleich zu der Stromlast des Hauses relativ hoch sein kann, ggf. sinnvoll sein, einige Verbraucher wie Waschmaschinen, Trockner oder sonstige Haushaltsgeräte im Rahmen eines Energiemanagements an die Verfügbarkeit der Fahrzeuge bzw. an entsprechende Ladezustände der Batterie zu koppeln, um die Spitzenlasten des Hauses zu verlagern bzw. Einfluss auf den netzgekoppelten Strombezug zu nehmen.

Da diese Technik noch in der Forschung und nicht serienreif verfügbar ist, wurde die bidirektionale Nutzung im Aktiv-Stadthaus nicht weiter verfolgt.

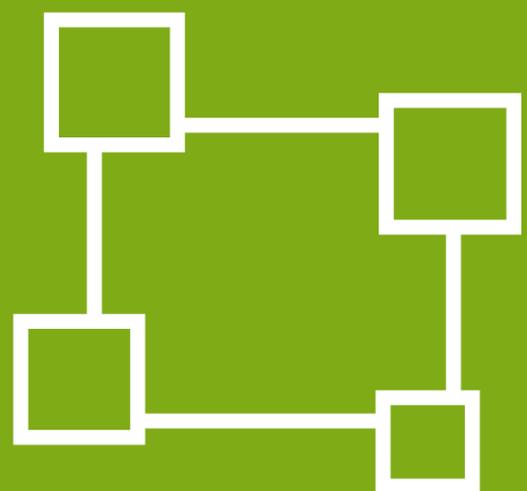
5.9. Ausblick

Aufgrund des einzigartigen Kontextes, in dem das Aktiv-Stadthaus errichtet wird und der daraus resultierenden Möglichkeit, sollte besonderer Wert auf eine zukunftsweisende, offene Schnittstelle zwischen der Immobilie und dem urbanen Raum über die Mobilität gelegt werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die gesamte Infrastruktur möglichst flexibel auf unbekannt zukünftige Umstände reagieren kann. Diese könnten letztlich auch aufgrund eines veränderten Nutzerverhaltens entstehen, wenn die Elektromobilität im Zuge ihrer Etablierung in der deutschen Automobilindustrie in einigen Jahren einen anderen Stellenwert einnehmen sollte. Ein weiterer interessanter Aspekt könnte die Anbindung der benachbarten Tiefgarage an die Technik sein, die ggf. einen Quartiersbezug unabhängig vom Aktiv-Stadthaus herstellen könnte.



AP C

Energiemanagement für den Nutzer



6. AP C – Energiemanagement für den Nutzer

Bei jedem Gebäude stellt das Nutzerverhalten einen wesentlichen Faktor für den Energieverbrauch dar. Dies gilt umso mehr bei einem Mehrfamilien-Wohnhaus mit vielen Bewohnern. Hier kann nicht davon ausgegangen werden, dass jeder Bewohner von sich aus eine hohe Motivation zum Energieeinsparen mitbringt. So kann es sein, dass bei manchen Plus-Energie-Konzeptionen der Verbrauch aufgrund von Nutzergewohnheiten von der Bilanz stark abweicht.³⁷ Neben dem Energieverbrauch ist es bei einem Plus-Energie-Gebäude zudem von Interesse, den Eigengebrauch regenerativ erzeugten Stroms zu Spitzenzeiten der Erzeugung zu erhöhen.

Neben dem Einsatz innovativer Technologien zur Energieerzeugung sollen daher die Mieter des Aktiv-Stadthauses über ein Nutzerinterface zum Energiesparen bzw. Eigengebrauch des regenerativen Stroms angeregt werden. Dieses soll den Energieverbrauch, die regenerative Energieerzeugung und die Energiebilanz über Tablet-PCs in den Wohneinheiten sichtbar machen. Ein Warmmietenkonzept nach einem Guthaben-System soll zusätzlich einen verstärkten Anreiz zur Energieeinsparung generieren.

Ein solches Nutzerinterface mit Integration eines Guthaben-Konzeptes ist auf dem Markt nicht verfügbar. Die notwendigen Inhalte für das Interface wurden daher im Rahmen des Forschungsprojektes skizzenhaft entwickelt.

6.1. Das Nutzerinterface

6.1.1. Nutzen

Das Nutzerinterface soll die Voraussetzungen für einen spielerischen Umgang der Bewohner mit der Schnittstelle Mensch:Technik:Energie hinsichtlich Hardware, Software und Benutzeroberfläche schaffen.

Folgende Ziele werden mit der Anwendung des Nutzerinterfaces verfolgt:

- Optimierung des Energieverbrauchs
- Sensibilisierung des Nutzers zum Energiesparen über ein Energieguthaben und einem Energievergleich zu den anderen Bewohnern
- Erhöhung des Eigennutzungsanteils an selbst erzeugter, regenerativer Energie (über Empfehlungen, Gebäudeautomatisation, Lastmanagement)
- Einfaches Erfassungs- und Abrechnungssystem durch Jahrespauschale für den Immobilienbetreiber
- Identifikation mit dem Aktiv-Stadthaus durch z.B. Information des regenerativen Stromertrags des Gebäudes
- Spaß und spielerischer Umgang mit der Technik (zusätzliche Anwendungen wie Kalender, E-Mail und Wetterinformationen als Anreiz)

Die Gebäudeautomation, wie bei Interfaces derzeit üblich, steht im Falle des Aktiv-Stadthauses nicht im Vordergrund. Das Energiemonitoring, d.h. die Information der Nutzer über den Energiebezug des Hauses und seinen persönlichen Verbrauch, soll zunächst einen rein informativen Charakter besitzen. Das Wohnen in einem Plus-

³⁷ K.Voss et al., Nullenergiehäuser, Dokumentation Plus-Energie-Haus Kraftwerk B, 2011

Energie-Haus soll bewusster gemacht werden. Die Hinweise sollen spielerisch und positiv erfolgen ohne den Mieter einzuschränken oder zu bevormunden.

Lastverschiebepotentiale

Die Möglichkeit der Erhöhung des Eigengebrauchs der regenerativ erzeugten Energie über die Gebäudeautomation der A⁺⁺⁺-Haushaltsgeräte wurde im Rahmen des Projektes mit 3,5 % ermittelt. Das Lastverschiebepotential ist damit nicht sehr hoch. Eine Gebäudeautomation wird daher nur in fünf Wohneinheiten für Forschungszwecke vorgesehen. Ohne den (wirtschaftlichen) Aufwand der ansteuerbaren Geräte soll jedoch, manuelles Stromlastmanagement gefördert werden. Dies soll durch die gezielte Information der Bewohner über die Energieflüsse im Gebäude über das Nutzerinterface geschehen. In einem abschließenden Monitoring (siehe Kap. 6.5), sollen die Akzeptanz und erreichte Einflussnahme evaluiert werden.

6.1.2. Datenschutz

Nach Datenschutzgesetz hat jeder Mieter den Anspruch auf Geheimhaltung. Beim Monitoring soll demnach bei den Mietern die Zustimmung zur Verbrauchsdatennutzung eingeholt werden bzw. im Mietvertrag geregelt sein.

6.1.3. Hardware

In allen 74 Wohneinheiten des Aktiv-Stadthauses sollen 10“- Tablet-PCs in zentraler Lage zur Verfügung stehen. Diese sollen ggf. von der Wand abnehmbar sein. Zwei größere Touchpanels sind für den öffentlichen Bereich (Car-Sharing/Hauszugang) angedacht.

6.1.4. Software

Die Tablet-PCs werden in ein Netzwerk eingebunden sein. Ob dieses Netzwerk nur im Haus zur Verfügung steht (Intranet) oder an das WorldWideWeb angebunden ist, ist derzeit noch in Diskussion. Denkbar ist, dass die Mieter das Nutzerinterface in Form einer App zur Verfügung gestellt bekommen und diese über ihren eigenen Internetanschluss nutzen. Zudem hat man sich auf die zu verwendende Software noch nicht festgelegt. Sie soll die Zusammenführung unterschiedlicher Messdaten erlauben. Ein Update der Daten soll mindestens ca. alle 10 Minuten erfolgen. Die Inhalte sollen nachträglich an unterschiedliche Gegebenheiten bzw. andere Gebäude anpassbar sein. Innovationen auf dem Markt sollen nachträglich installiert werden können (offenes System).

6.1.5. Aufbau

In Anlehnung an das Messkonzept des Monitorings soll das Nutzerinterface in einer Basisvariante für alle 74 Wohneinheiten Verbrauchs- und Erzeugungsdaten bereitstellen (siehe Abb.121). Während für alle Wohneinheiten der Stromverbrauch als Gesamtwert erfasst werden soll, kann dieser für fünf ausgewählte Wohneinheiten (Erweiterung 1) gesondert den Nutzungen für Lüftung, Waschen, Trocknen, Geschirrspülen, Beleuchtung, Kochen, Lebensmittelkühlung und Unterhaltungsmedien zugeordnet werden. Zusätzliche fünf Wohneinheiten erhalten eine Gebäudeautomation für die genannten Nutzungen, die über das Touchpanel programmierbar sind (Erweiterung 2).

Zwei Touchpanels sollen ggf. im öffentlichen Bereich (Car-Sharing-Station/Hauszugang) angebracht sein. Über diese sollten ausschließlich das gesamte Haus betreffende Bilanzen wie auch die regenerative Stromproduktion dargestellt werden.

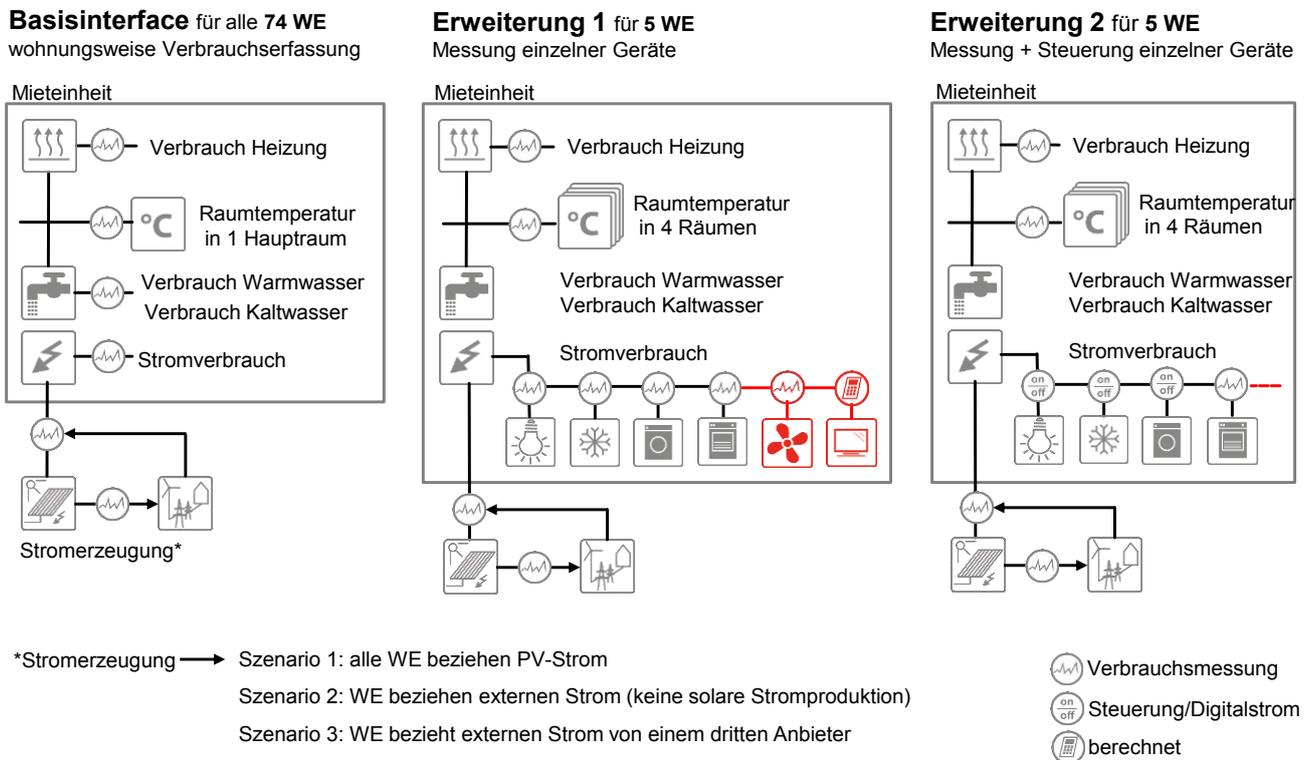


Abb.121 Bezug Nutzerinterface zu Monitoringkonzeption; Quelle: FGee, TU Darmstadt

6.1.6. Inhalte

Energieverbrauch und Erzeugung

Für jede Wohneinheit ist ein Energiemonitor vorgesehen, der dem Mieter bzw. Eigentümer die Energieerzeugung und den Energieverbrauch für Heizung, Warmwasser, Kaltwasser und Elektrizität anzeigt und ihn sowohl üblichen Verbrauchsdatenprofilen wie den Durchschnittswerten des Gesamtobjekts gegenüberstellt. Das Interface soll als IST-Anzeige fungieren sowie kumulierte Daten für die Woche, den Monat, das Quartal und das Jahr anzeigen.

Die Darstellung der wichtigsten Verbrauchswerte im anonymisierten Hausvergleich soll zusätzliche Anreize zum Energiesparen bieten. Die Anzeigedetaillierung bzw. -auswahl soll in Abstimmung mit der Entwicklung des Building-Management-System (BMS).

Da eine Reaktion der elektrischen Geräte auf eine hohe Solarstromerzeugung oder besonders günstigen Strom derzeit aus wirtschaftlichen Gründen noch nicht automatisiert geregelt werden kann, sollen auf den Touchpanels für alle 74 Wohneinheiten zusätzliche Verhaltensempfehlungen in Form von einfachen Piktogrammen dargestellt werden. Ist im Haus Erzeugungsüberschuss aktuell oder in naher Zukunft verfügbar (sichtbar über z.B. Ampelindikator, kann zum Aktivieren energieintensiver Verbraucher geraten werden. Wird teurer Netzstrom bezogen, soll dies auf dem Touchpanel ersichtlich sein und zum Energiesparen, z.B. durch einfache Energiespartipps, anregen.

Für die fünf Wohneinheiten, die eine Automation der energiereichen Verbraucher besitzen, sollen die Geräte über das Panel in Abhängigkeit der Verfügbarkeit von günstigem bzw. solaren Strom gesteuert bzw. bedient werden können.

Die Verfügbarkeit von solarem Strom soll über eine Wetterprognose für die nächsten 24 h vorhergesagt werden. Zusätzlich soll auch der Strombedarf der Bewohner durch ein Prognose-Tool erlernt werden, so dass das Lastmanagement (Ladung von Speicher etc.), aber auch die Verhaltensempfehlungen und automatisierten Geräte auf die zukünftige Bilanz reagieren, bzw. die Bewohner darüber informiert werden können.

Eine Temperaturanzeige soll den Bewohner über seine Raumtemperatur informieren und auf ggf. zu langes Fensterlüften bei voller Heizleistung aufmerksam machen. Zudem können an dieser Stelle Temperaturprofile in Abhängigkeit von Anwesenheitszeiten eingestellt werden (für 5 WE mit Erweiterung 2, siehe Abb.121).

Für die fünf Wohneinheiten, in denen eine Gebäudeautomation installiert ist, sollen die Profile auch sinnvoll an die Stromverbraucher gekoppelt sein. In diesen programmierbaren Profilen, wie z.B. Kino, Party, Cocooning, Abwesend und Manuell, können Standbybetriebe deaktiviert und ggf. Beleuchtungsszenarien konfiguriert werden.

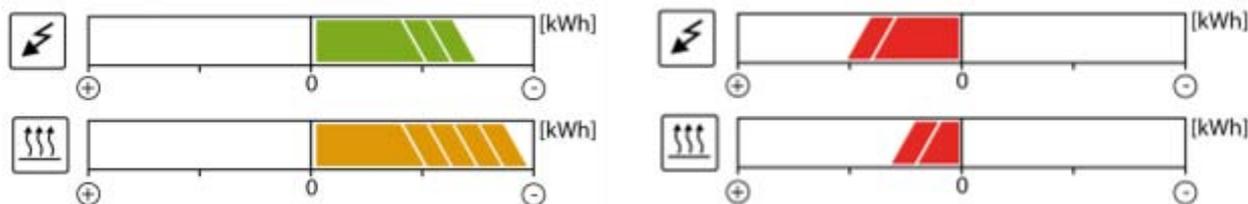
Die Steuerung der Geräte sollte bei allen mit einer Zeitprogrammierung und einem on/off-Funktion bedient werden können. Der Kühlschrank soll zudem auf unterschiedliche Temperaturstufen, wie z.B. Schockfrost ($< -18\text{ °C}$) oder Abwesenheit (min. Temperaturen) programmiert werden.

Energieguthaben

Jede Wohnung soll gemäß einem Guthaben-Konzept auf der Grundlage einer Warmmiete für die Energiedienstleistungen auskömmliche Jahreskontingente erhalten, die mit der Miet- bzw. Nebenkostenzahlung abgegolten sind. Darüber hinaus gehende Verbräuche sind mit zusätzlichen Energieabrechnungen zu begleichen (siehe hierzu auch Kap. 4.5).

Das Energiekontingent soll eine Verbrauchspauschale getrennt für Strom und Wärme (Heizung und Warmwasser) umfassen, die monatsweise sowie für das Jahr dargestellt werden kann. Das Energiekontingent wird dabei monatsweise variieren (siehe Abb. 123, Abb. 124). Über eine monatliche Abschlagszahlung der Nutzer erfolgt die Abrechnung. Am Ende des Jahres wird eine Gesamtabrechnung erstellt, in der ein ggf. vorhandener Malus des Energieverbrauchs verrechnet wird.

Abb. 122
Beispielhafte Darstellung der Anzeigemöglichkeit des Energiekontingents für Strom und Wärme; inks: positives Guthaben; rechts: Unterschreitung des Guthabens, Quelle: FGee, TU Darmstadt



Für die Festlegung des Energiekontingentes wurde exemplarisch die Energiebilanz aus dem PHPP zugrunde gelegt. Für die Höhe wurden zwei Herangehensweisen betrachtet. Die Erste veranschlagt das Energiekontingent gem. Bilanz. Hier können ggf. massive Unterschreitungen durch einen ambitionierten Mieter wahrscheinlich sein. Folgende Bilanz würde dem zugrunde liegen:

1. Energiekontingentannahme:

Aktuelle Wärmebilanz mit $Q_H=22 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und $Q_{TWW}=25 \text{ l/Person und Tag}$

- Eventuell massive Unterschreitungen des Kontingents am Jahresende

Aktuelle Strombilanz mit $Q_{HHS}=2.142 \text{ kWh/WE} (=18 \text{ kWh/m}^2\text{a})$

- Eventuell massive Unterschreitungen des Kontingents am Jahresende

Die zweite Möglichkeit besteht darin, das Energiekontingent etwas geringer anzusetzen („Spar-Bilanz“). Entsprechend einem gestaffelten Strompreismodell, kann das niedrigere Kontingent als Anreiz zum Energiesparen dienen. Darüber gehende Verbräuche werden über zuvor definierte und höhere Strompreise abgeglichen.

2. Energiekontingentannahme:

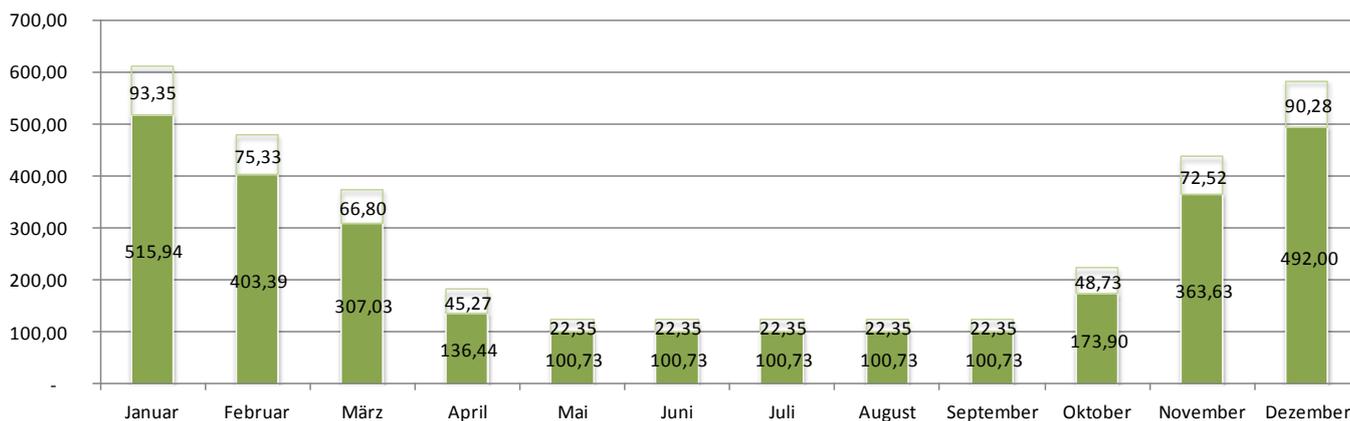
Spar-Bilanz Wärme mit $Q_H=15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und $Q_{TWW}=20 \text{ l/ Person und Tag}$

- wahrscheinlichere Nachzahlungen der Bewohner am Jahresende (Sicherheit für Anlagenbetreiber)
- Größerer Anreiz zum Stromsparen

Spar-Bilanz Strom mit $Q_{HHS}=1.800 \text{ kWh/WE} (=15 \text{ kWh/m}^2\text{a})$

- wahrscheinlichere Nachzahlungen der Bewohner am Jahresende (Sicherheit für Anlagenbetreiber)
- größerer Anreiz zum Stromsparen

Energiekontingent Wärme 2 - Anreiz Energiesparen Q_H und Q_{TWW}



Energiekontingent Strom 2 - Anreiz Energiesparen

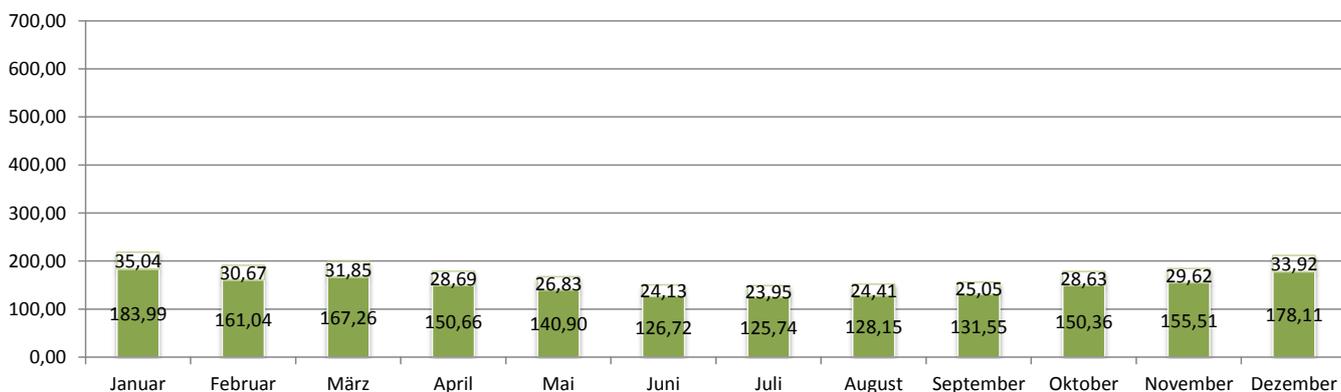


Abb. 124 Beispielhafte Ermittlung des Energiekontingents für Strom; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Für die unterschiedlichen Wohnungstypen des Aktiv-Stadthauses ergeben sich durch den Quadratmeterbezug und die Wahl der „Spar-Bilanz“ die folgenden Jahreskontingente für Wärme und Strom:

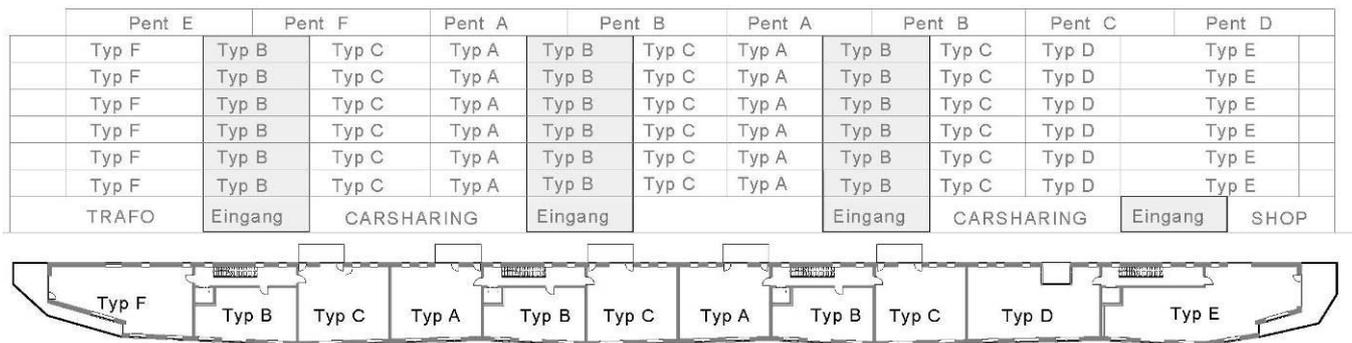


Abb. 125 Wohnungstypen des Aktiv-Stadthauses; Quelle: HHS Planer + Architekten AG

Typ B	2-Zimmer	54,00 m²	Wärmekontingent:	1.416,91 kWh/a
			Stromkontingent:	971,70 kWh/a
Typ A	3-Zimmer	81,02 m²	Wärmekontingent:	2.125,89 kWh/a
			Stromkontingent:	1.457,91 kWh/a
Typ C	3-Zimmer	83,70 m²	Wärmekontingent:	2.196,21 kWh/a
			Stromkontingent:	1.506,14 kWh/a
Typ OG/A	3-Zimmer Penthaus	84,46 m²	Wärmekontingent:	2.216,15 kWh/a
			Stromkontingent:	1.519,81 kWh/a
Typ OG/C	3-Zimmer Penthaus	88,36 m²	Wärmekontingent:	2.318,48 kWh/a
			Stromkontingent:	1.589,99 kWh/a
Typ OG/B	3-Zimmer Penthaus	93,96 m²	Wärmekontingent:	2.465,42 kWh/a
			Stromkontingent:	1.690,76 kWh/a
Typ OG/E	3-Zimmer Penthaus	99,40 m²	Wärmekontingent:	2.608,16 kWh/a
			Stromkontingent:	1.788,65 kWh/a
Typ D	4-Zimmer	101,90 m²	Wärmekontingent:	2.673,76 kWh/a
			Stromkontingent:	1.833,63 kWh/a
Typ OG/D	3-Zimmer Penthaus	103,70 m²	Wärmekontingent:	2.720,99 kWh/a
			Stromkontingent:	1.866,02 kWh/a
Typ F	4-Zimmer	104,40 m²	Wärmekontingent:	2.739,36 kWh/a
			Stromkontingent:	1.878,62 kWh/a
Typ OG/F	3-Zimmer Penthaus	110,28 m²	Wärmekontingent:	2.893,65 kWh/a
			Stromkontingent:	1.984,43 kWh/a
Typ E	4-Zimmer	122,30 m²	Wärmekontingent:	3.209,04 kWh/a
			Stromkontingent:	2.200,72 kWh/a

Tab. 2 Energiekontingente für die Wohnungstypen; Quadratmeterbezug; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Rechtliche Rahmenbedingung

Zu den rechtlichen Rahmenbedingungen der Stromvermarktung durch den Vermieter siehe Kap. 4.104.10.

Elektro-Mobilität

Neben der Energiebilanz der Wohnungen soll die Elektromobilität über das Interface erfasst und koordiniert werden (Ladezustand, Verfügbarkeit, Reservierung, Ausleihe). Hierfür ist eine Schnittstelle mit dem möglichen Flottenbetreiber (ggf. book 'n' drive) vorzusehen. Ob eine Oberfläche im Rahmen des Interfaces für die E-Mobilität möglich wird, oder der Flottenbetreiber ausschließlich seine eigene Webseite betreiben möchte, ist an die Zustimmung des zukünftigen Flottenbetreibers gebunden. Eine Verknüpfung zur Flottenbetreiber-Website wäre dann ggf. eine Alternative.

Allgemeine Informationen

Allgemeine Informationen und Dienstleistungen sollen den Tablet-PC zusätzlich für den Nutzer attraktiv machen und es ihn in den alltäglichen Gebrauch selbstverständlich einbinden. Anzeigen wie Datum, Uhrzeit, Wetter (Außentemperatur, Wettervorhersage) und ggf. der Zugang zum Internet (Synchronisation mit dem E-Mailprogramm, Kalender, Suchmaschinen, Nachrichten, etc.) sollen ermöglicht werden.

6.1.7. Oberflächengestaltung

Die Oberflächengestaltung soll übersichtlich sein und eine einfache Handhabung des Touchpanels auch für Nicht-Technikinteressierte (z.B. durch einen "Ampelindikator") ermöglichen. Sie soll einen spielerischen Umgang erlauben und Anregungen zum Umgang mit der wohnungseigenen Energie bieten, ohne den Nutzer zu überfordern.

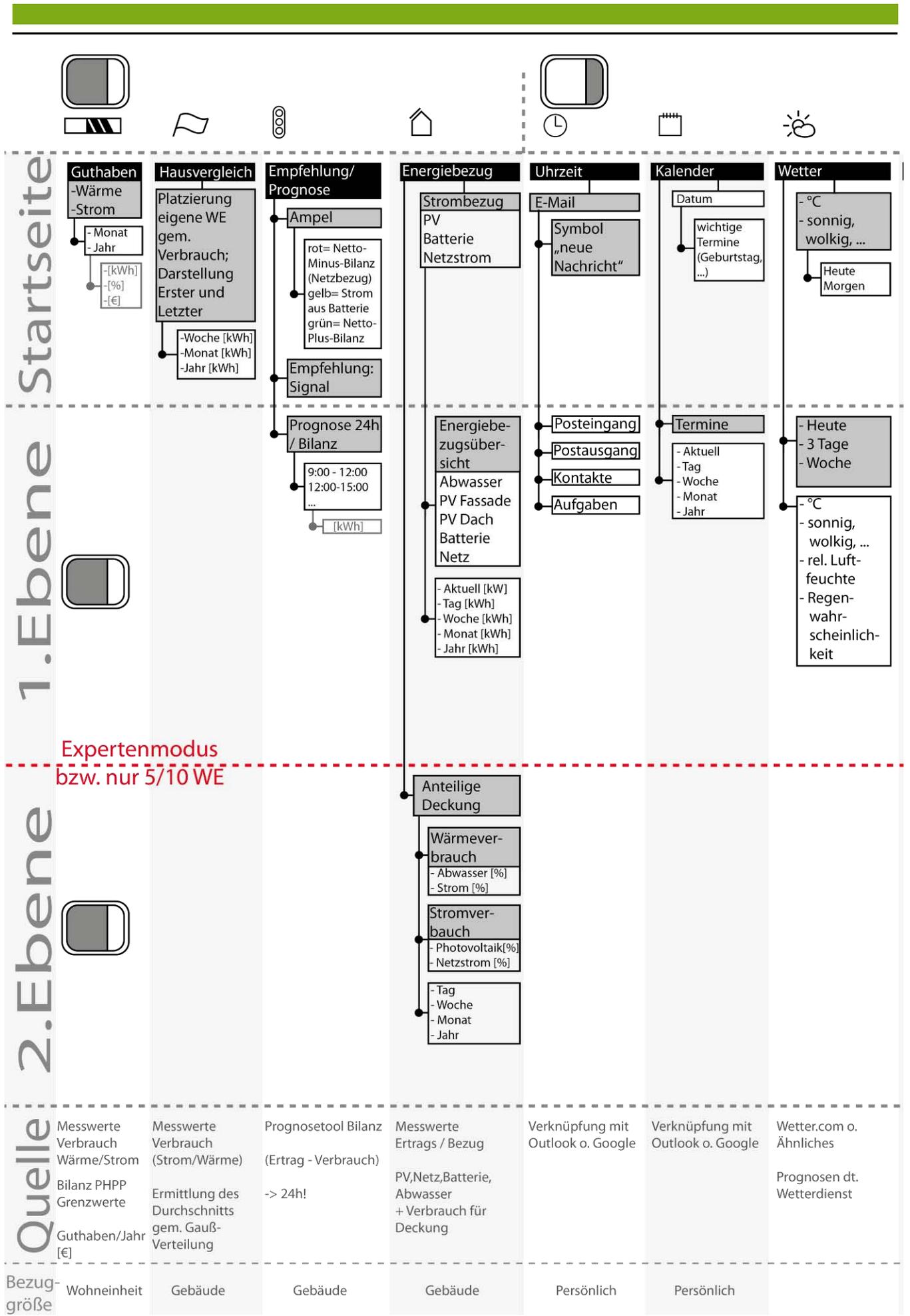
Für die jüngeren Bewohner des Aktiv-Stadthauses könnte z.B. ein Spiel zur ehrgeizigen Energiereduktion eingeführt werden. Dies würde nicht nur einen regelmäßige Nutzung des Interfaces, sondern auch die Aufmerksamkeit der Kinder und Jugendlichen auf das Thema Energie lenken (siehe z.B. <http://myenergysmarthome.eu/>).

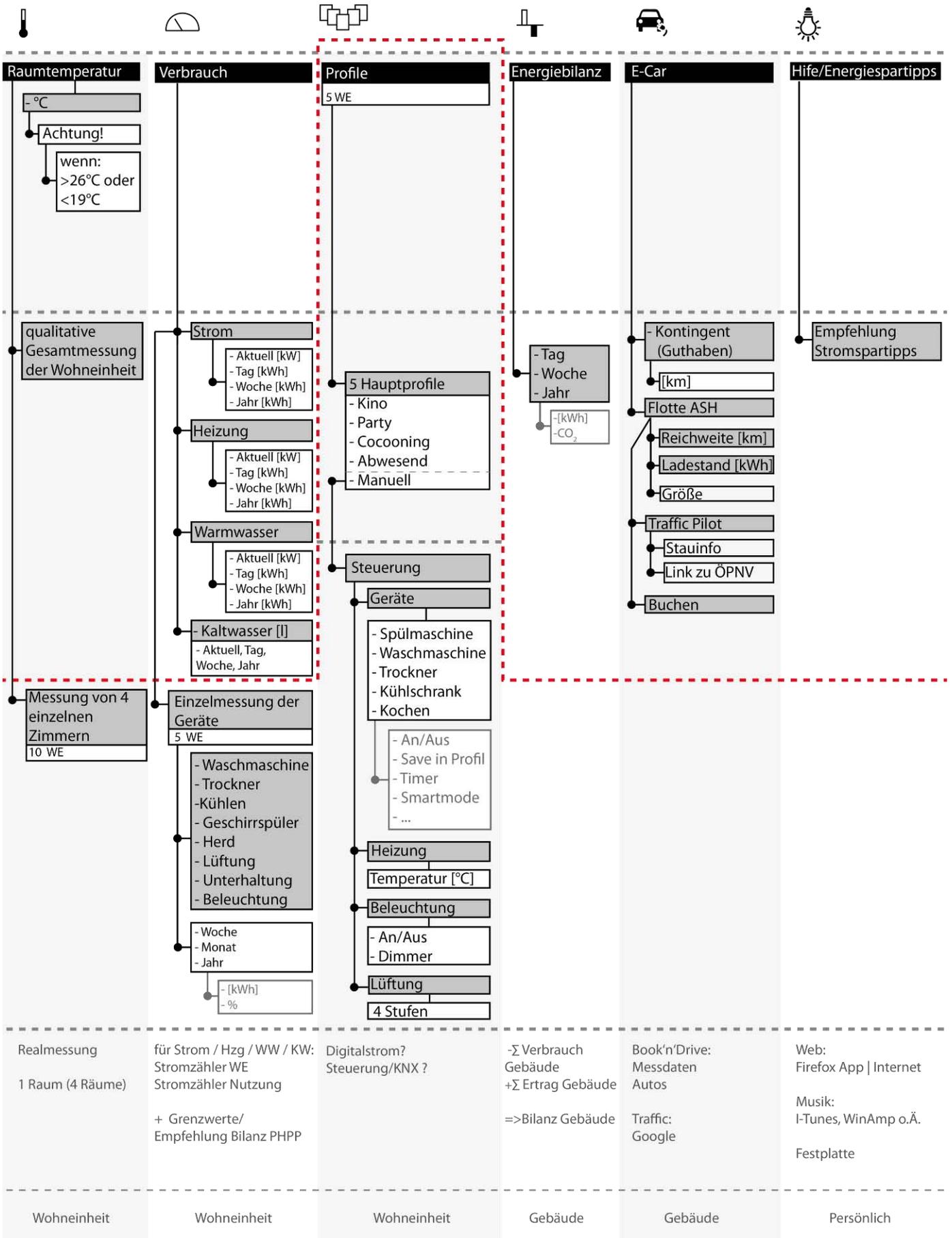
Eine Standby-Darstellung der wichtigsten Informationen (z.B. aktuelle Hausbilanz mit Anweisung zur Handlung (Ampel) könnte die Wahrnehmung des Nutzerinterfaces verbessern. Eine ansprechende Startseite oder Standby-Seite ist daher besonders wichtig.

Visuelle Anreize sollen durch einfache Signalfarben (grün/rot) oder z.B. Smileys geschaffen werden. Ausschließlich negative Darstellungen sind jedoch zu vermeiden.

6.2. Übersicht eines möglichen Aufbaus des Nutzerinterfaces unter Zuweisung der Datengrundlagen

Die folgende Übersicht (siehe folgende Doppelseite) zeigt einen möglichen Aufbau der zuvor benannten Inhalte. Sie sind in unterschiedliche Anzeigeebenen (Startseite, Ebene 1, Ebene 2) nach ihrer Wichtigkeit gegliedert. Zudem wird bei den Inhalten in verschiedene Nutzerkategorien - einem Mietermodus, einem Expertenmodus und den zehn Wohneinheiten mit einer erweiterten Messung (unterhalb der roten Linie) - unterschieden. Der Mietermodus wird allen 74 Wohneinheiten zur Verfügung gestellt. Die Darstellungen der erweiterten Erfassung des Verbrauchs sowie die Möglichkeit der Steuerung einzelner Geräte sind den zehn Wohneinheiten mit einer erweiterten Messung bzw. den fünf Wohneinheiten mit einer Gebäudeautomation vorbehalten. Im sogenannten „Expertenmodus“ sind vertiefende Anzeigen für Technikinteressierte vorgesehen, die man sich - unabhängig von erweiterten Messungen - auf Wunsch freischalten lassen kann. Die Unterscheidung zwischen Mieter- und Expertenmodus vermeidet ein Überfrachten des Tools mit Anzeigen und Informationen. In den unteren Zeilen der Übersicht sind Datenquellen (z.B. Messungen oder Berechnungen) sowie die Bezugsgrößen für die anzuzeigenden Inhalte benannt.





Anhand der vorangegangenen Übersicht wurden exemplarische Ansichten des Touch-Panels entwickelt, welche im Folgenden auszugsweise dargestellt werden. Mit Hilfe der Darstellungen werden die Inhalte sowie die unterschiedlichen Darstellungstiefen nochmals im Einzelnen erläutert.

6.2.1. Startseite

Aufbau

Auf der Startseite soll mit Priorität das Energieguthaben, der Energieverbrauch im Hausvergleich, eine Energiebilanzprognoseanzeige in Form einer Ampel sowie die Anzeige des aktuellen Energiebezugs immer sichtbar sein.

Im rechten Reiter sind allgemeine Informationen, wie Uhrzeit, Datum, Mail-Eingang, Wetter, Raumtemperatur immer feststehend ablesbar. Diese Spalte dient der Navigation durch die einzelnen Themen. Sowohl der rechte und linke Reiter ermöglichen, sich für die einzelnen Informationen eine Ebene tiefer zu „klicken“. Wohingegen der rechte Reiter immer stehen bleibt, kann der linke variieren.

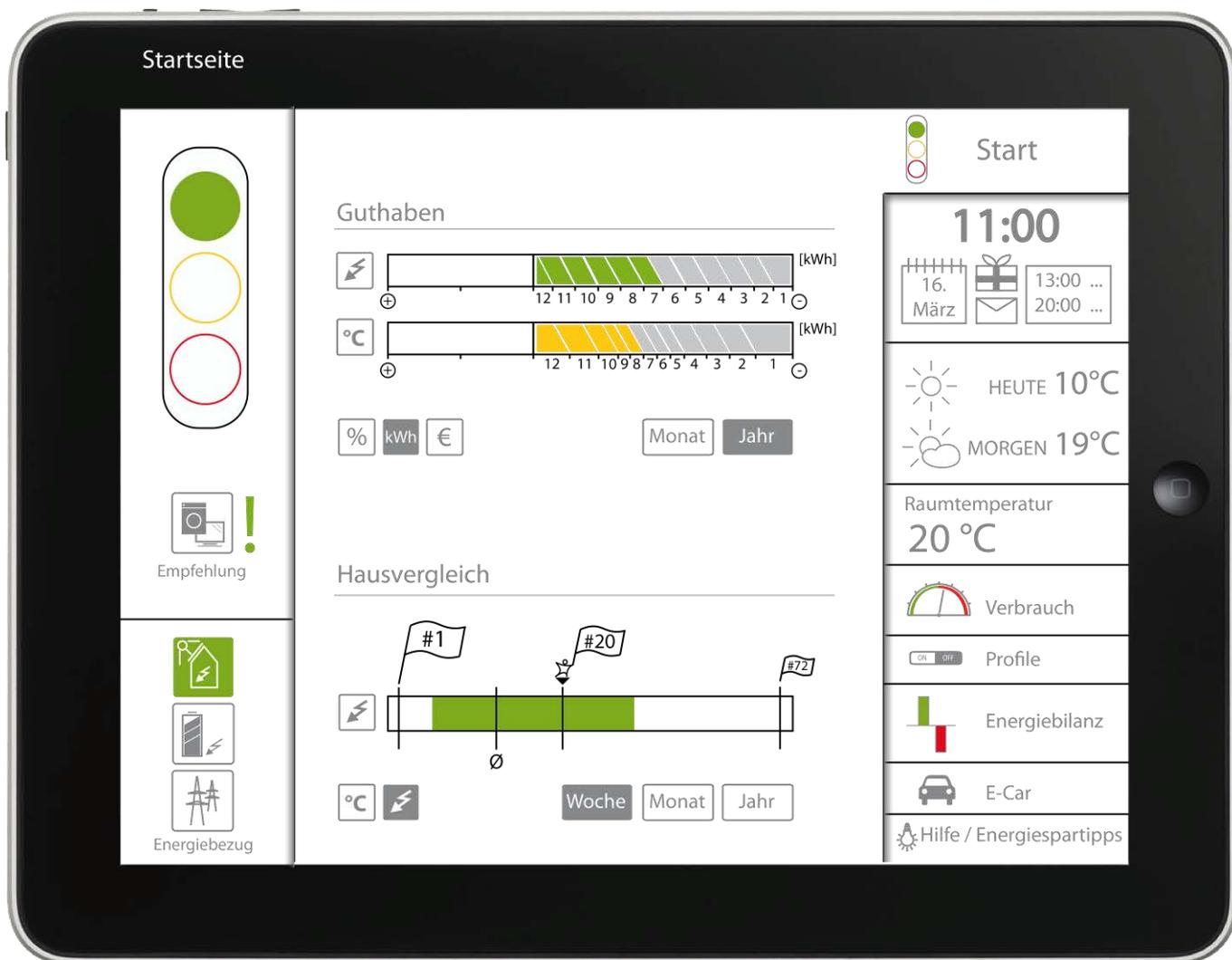


Abb. 126 Startseite Nutzerinterface; Quelle der Grafik: TU Darmstadt, FGee; Rahmen: iPad, Apple Inc.

6.2.2. Guthaben

Die Guthabenanzeige (siehe Abb. 126) gibt dem Mieter sein Energiekontingent für Strom und Wärme (TWW und Heizung) wieder. Es wird als Balken ähnlich eines Ladezustandes einer Batterie angezeigt. Ist das Energieguthaben überschritten erscheint dies als roter Balken im negativen Feld. Das Energieguthaben variiert bedarfsabhängig im Jahresverlauf. Wohingegen in den Wintermonaten in der Regel ein höherer Verbrauch möglich ist, ist in den Sommermonaten das Energieguthaben geringer. Festgelegt wird das Guthaben vorerst bilanziell, kann aber nach den ersten Jahren korrigiert werden (lernendes System).

Die Anzeigeeinheit kann zwischen Prozent, kWh und Euro variiert werden, zudem soll eine Anzeige für das Jahr als auch für den einzelnen Monat möglich sein. Diese Schaltmöglichkeit ist auf der Startseite jeweils durch die einzelnen Buttons dargestellt. Dabei ist die aktuell aktive Anzeige grau hinterlegt.

1 Guthaben					
	Inhalt	Anzeigevarianten	Anzeige für	Darstellung / Datenquelle	Bezugsgröße
	Anzeige eines Energiekontingents für Strom und Wärme (Heizung und Warmwasser)	Energie: - Strom - Wärme Darstellung von: - Monat - Jahr Einheiten: - % - kWh - €	74 WE	- Energiekontingente Wärme Strom [kWh/Monat] und [kWh/a] - Energiepauschale Wärme Strom [€/a], Nachzahlungstarife [€/kWh] - bilanzielle Ermittlung des Energiekontingents (ggf. lernendes System) - Die Guthabekosten können gem. der Kostenpauschale im Mietvertrag hinterlegt werden. Zusätzlich entstehende Kosten bei Überschreitung des Kontingents werden gem. Marktpreis abgerechnet. Die Erfassung ist aufwändiger und gilt es noch zu prüfen.	Wohneinheit
<i>Nutzen / Sonstige Angaben</i>					
	- Über die Erfassung der evtl. notwendigen Nachzahlung am Ende des Monats [kWh] soll am Jahresende eine automatische Abrechnung der Energiekosten [€] für den Immobilienbetreiber erfolgen.				

Tab. 3 Tabellarische Darstellung der Displayinhalte des Guthabens für das Nutzerinterface, Quelle: FGee, TU Darmstadt

6.2.3. Hausvergleich

Die Darstellung des Verbrauchs im anonymisierten Hausvergleich (siehe Abb. 126), dient dem Ansporn des Mieters Strom zu sparen, bzw. der Bestätigung seines Sparerfolges. Angezeigt werden soll der Verbrauch des Mieters im Verhältnis zum durchschnittlichen Verbrauch aller Wohneinheiten. Dabei sollen sehr hohe und sehr geringe Verbrauchswerte im Durchschnittsverbrauch nicht berücksichtigt werden. Dargestellt werden sollen zusätzlich der geringste Verbraucher als auch der höchste. Eine Herausforderung besteht dabei noch darin, temporär nicht bewohnte Haushalte (z.B. aufgrund von Urlaub) nicht zu berücksichtigen.

Die Anzeige des Hausvergleiches kann für Strom wie auch für Wärme angezeigt werden. Zudem ist die Anzeige für die letzte Woche, den letzten Monat sowie des letzten Jahres denkbar.

2 Hausvergleich					
	Inhalt	Anzeigevarianten	Anzeige für	Darstellung / Datenquelle	Bezugsgröße
	Anzeige des Energieverbrauchs von Strom und Wärme im anonymisierten Hausvergleich	Energie: - Strom - Wärme Darstellung von: - Woche - Monat - Jahr Einheiten: - kWh	74 WE	- Ermittlung des durchschnittlichen Verbrauchs aller Mieteinheiten pro Tag, Monat und Jahr. - Herausrechnen von „Ausreißern“ max/min. - Vergleichende Anzeige der Mieteinheit mit dem höchsten und des geringsten Verbrauchs („Sieger“).	Gebäude
Nutzen / Sonstige Angaben					
	<ul style="list-style-type: none"> - Die Verbrauchsanzeige im Hausvergleich soll dem zusätzlichen Anreiz der Energieeinsparung dienen. - Erlaubt einen spielerischer Umgang mit dem Thema Energie und weckt ggf. den Ehrgeiz einzelner Mieter 				

Tab. 4 Tabellarische Darstellung der Displayinhalte des Hausvergleichs für das Nutzerinterface, Quelle: FGee, TU Darmstadt

6.2.4. Empfehlung/ Prognose

Ampel

Da eine automatisierte Reaktion der technischen Geräte auf eine hohe Solarstromerzeugung oder besonders günstigen Strom bei einer positiven Energiebilanz derzeit aus wirtschaftlichen Gründen noch nicht für alle 74 Wohneinheiten geregelt werden kann, sollen auf allen Touchpanels zusätzliche Verhaltensempfehlungen in Form von einfachen Piktogrammen dargestellt werden.



Abb.127 Interfaceanzeige: Prognose/ Empfehlung; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

Ist im Haus ein Erzeugungsüberschuss verfügbar (sichtbar über eine grüne Ampelanzeige) wird zum Aktivieren energieintensiver Verbraucher geraten. Wird im Gegenteil teurer Netzstrom bezogen soll dies auf dem Touchpanel über eine rote Ampelanzeige ersichtlich sein und zum Energiesparen anregen.

Der Ampelanzeige liegt nicht nur die Energieerzeugung, sondern die Bilanz von Energieerzeugung und Verbrauch des gesamten Hauses zugrunde. Die Prognosebilanz von Verbrauch und Ertrag ist eine Berechnung, welche für das Building-Management-System (BMS) des Wärme- und Stromhaushaltes erstellt werden muss und somit als Information bereits vorhanden ist.

Folgende beispielhafte Szenarien liegen den Ampelfarben zugrunde:

Grün:

- PV-Anlage erzeugt viel Strom
- Verbrauch ist gering
- Wärmepumpe wird aktiviert
- Nutzer erhalten zusätzlich das Signal, dass Verbraucher eingeschaltet werden können

Gelb:

- PV-Anlage erzeugt Strom
- Hoher Stromverbrauch (größer als momentane Erzeugung)
- Bezug des Stroms aus der Batterie;
- Zusätzl. Bezug von Netzstrom
- Nutzer erhalten das Signal, den Stromverbrauch zu reduzieren

Rot:

- PV-Anlage erzeugt keinen Strom
- Hoher Stromverbrauch
- Wärmepumpe ist in Normalbetrieb aufgrund des Wärmebedarfs
- Ggf. Netzstrombezug von ungünstigem Tarif (Tag-/Nachtarif)

Die Energiebilanz beruht dabei nicht allein auf der aktuellen Messung, es fließt zudem die Prognose für die nächsten Stunden mit ein, um z.B. kurzweilige Wetterereignisse (wie z.B. einen starken Regen) nicht zu berücksichtigen. Zudem sollen für das Lastmanagement nötige Speicherladungen berücksichtigt werden.

Die der Ampel zugrunde liegenden Szenarien sind für das Building-Management-System entwickelt worden und beinhalten für jeglichen Betriebsfall entsprechende Handlungsanweisungen für die zentralen Komponenten wie Wärmepumpe, Stromspeicher, Energiemanagementsystem und Nutzerinterface. In Abhängigkeit der jeweiligen Betriebssituationen werden die Nutzungshinweise auf das Display übermittelt.

Prognose/Empfehlung

Über das Empfehlungs-, bzw. Ampelpiktogramm gelangt man eine Ebene tiefer, in der die Bilanzprognose für die nächsten 4 h angezeigt wird. Diese Anzeige soll insgesamt für die nächsten 24h (z.B. durch das „weiterwischen“) dargestellt werden (siehe Abb. 128). Eine Prognoseanzeige darüber hinaus wird für die Gerätenutzung nicht als zuverlässig erachtet. Neben der Prognoseanzeige soll zudem ein Countdown angezeigt werden, welcher die Dauer der möglichen Nutzung intensiver Verbraucher bzw. die Dauer bis zur nächsten Nutzung anzeigt (siehe Abb.127).

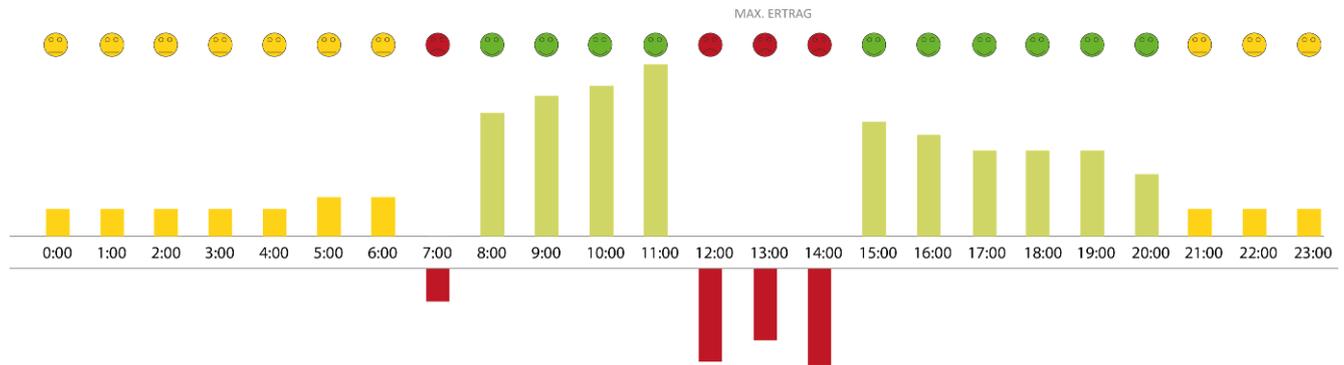


Abb. 128 Interfaceanzeige: Bilanz-Prognose der nächsten 24 h; Quelle: FGee, TU Darmstadt

3 Prognose/ Empfehlung					
	Inhalt	Anzeigevarianten	Anzeige für	Darstellung / Datenquelle	Bezugsgröße
	Ampel	Ampelindikator: Rot Gelb Grün	74 WE	- Prognosebilanz aus Verbrauch und Ertrag (zugrundeliegende Prognose der nächsten 24h) - bzgl. des Verbrauchs ist das Prognosetool ein lernendes System	Gebäude
	Anzeige der Prognose für die nächsten 4 h inkl. als Countdown z.B: 5h grün = in 5h ist ein günstiger Strombezug möglich	Energiebilanz [kWh] - Insgesamt für die nächsten 24 h - Darstellbar in 4h - Schritten	74 WE	-Prognosetool (24 h) der Wetter + Klimadaten zur Vorhersage von solarer Stromerzeugung in Kopplung an die Empfehlungen - Prognosetool (24h) für zukünftige Verbräuche (lernendes System), z.B. 08:00h morgens hoher Verbrauch	Gebäude
	Handlungsempfehlungen zum Benutzen Energieintensiver Verbraucher bzw. zum Stromsparen	Piktogramm	74 WE	- Anzeige beruht auf Prognosebilanz - Ampel grün = Verbrauchsempfehlung - Ampel rot = Energiesparempfehlung	Gebäude
	Ggf. Verknüpfung mit Profilen der Gebäudeautomation und Steuerung (8.)		5 WE		Gebäude
Nutzen / Sonstige Angaben					
	<ul style="list-style-type: none"> - Die Prognosebilanz von Verbrauch und Ertrag ist eine Berechnung, die für das Lastmanagement des Wärme- und Stromhaushaltes erstellt werden muss und ist somit eine sowieso bestehende Information. - Die Prognoseanzeige wird ein selbstlernendes System - Die Prognose soll zur Erhöhung des Eigennutzungsgrades bzw. zur Verbrauchseinsparung anregen 				

Tab. 5 Tabellarische Darstellung der Displayinhalte der Prognose/Empfehlung für das Nutzerinterface, Quelle: FGee, TU Darmstadt

6.2.5. Energiebezug

Ebenfalls wird auf der Startseite der aktuelle Energiebezug angezeigt (siehe Abb. 129 ff). Hier wird zwischen Netzstrombezug, Batteriebezug oder solarer Stromerzeugung unterschieden. Über die Anzeige kann man eine Ebene tiefer gehen und erhält eine Anzeige des aktuellen Energiebezugs mit Wiedergabe der Bezugs- bzw. Erzeugungsmenge in kW. Neben dem Strombezug wird auch der Wärmebezug aus dem Abwasser angezeigt. Die Abwassermenge wird gemessen bzw. berechnet. In der Anzeige kann zwischen der aktuellen Messung, den letzten 24 Stunden, den letzten 7 Tage, den letzten 12 Monate sowie dem letzten Jahr gewechselt werden.

In der Kategorie Energiebezug gibt es zudem die Möglichkeit sich zusätzlich die prozentualen Anteile der einzelnen Energiebezüge für den jeweiligen Bedarf anzeigen zu lassen (z.B. COP Wärmepumpe = Anteil Umweltwärme zu Strombezug). Diese Anzeige ist derzeit für den sogenannten Expertenmodus vorgesehen, für den man sich separat freischalten lassen kann.

4 Energiebezug					
	Inhalt	Anzeigevarianten	Anzeige für	Darstellung / Datenquelle	Bezugsgröße
	Anzeige der Art des aktuellen Strombezugs (Netzstrom/ Batterie/ Photovoltaik) über eine Piktogrammanzeige	Energie: - Strom Darstellung von: - Aktuell Anzeige: - piktografisch	74 WE	- Erfassung ob Solar-, Batterie- oder Netzstrom zur Verfügung steht. - Erfassung über Messung	<i>Gebäude</i>
	Energieerträge 1 Photovoltaik (Dach + Fassade) und Abwasserwärme, Ladestand Batterie, Netzbezug	Energie: - Strom Darstellung von: - Aktuell Einheit: - kW	Basis 74 WE	- Erfassung der Energieerträge für PV (Dach + Fassade) und Abwasser, Einspeisung in Batterie und Netz, Netzbezug - Ermittelt aus aktuelle Messung (alle 10 min)	<i>Gebäude</i>
	Energieerträge 2 Photovoltaik (Dach + Fassade) und Abwasserwärme	Energie: - Strom - Wärme Darstellung von: - Aktuell - Tag - Woche - Monat - Jahr Einheit: - kWh	Basis 74 WE	- Erfassung der Energieerträge für PV (Dach+ Fassade) und Abwasser, pro Tag, pro Monat, pro Jahr - Anzeige im Bezug zum Maximalertrag (hinterlegter Wert) - Ermittelt aus Messung bzw. Berechnung (Abwasserwärme)	<i>Gebäude</i>
	Anteiliger Strombezug aus dem Netz zu erzeugtem PV-Strom und anteiliger Wärmebezug Wärmepumpe Strom zu Abwasserwärme	Energie: - Strom - Wärme Darstellung von: - Tag - Woche - Monat - Jahr Einheit: - %	Experte	- Erfassung Verbrauch Strom [kWh] und anteilige Deckung [kWh] über PV- oder Netzstrom [%/Echtzeit und Jahr] - Erfassung Verbrauch Wärme [kWh] und anteilige Deckung der Wärmepumpe über Strom und Abwasserwärme [%]	<i>Gebäude</i>
<i>Nutzen / Sonstige Angaben</i>					
	- Identifikation mit dem Plus-Energie-Gebäude über Information der eigenen Stromerzeugung				

Tab. 6 Tabellarische Darstellung der Displayinhalte des Energiebezugs für das Nutzerinterface,
Quelle: FGee, TU Darmstadt

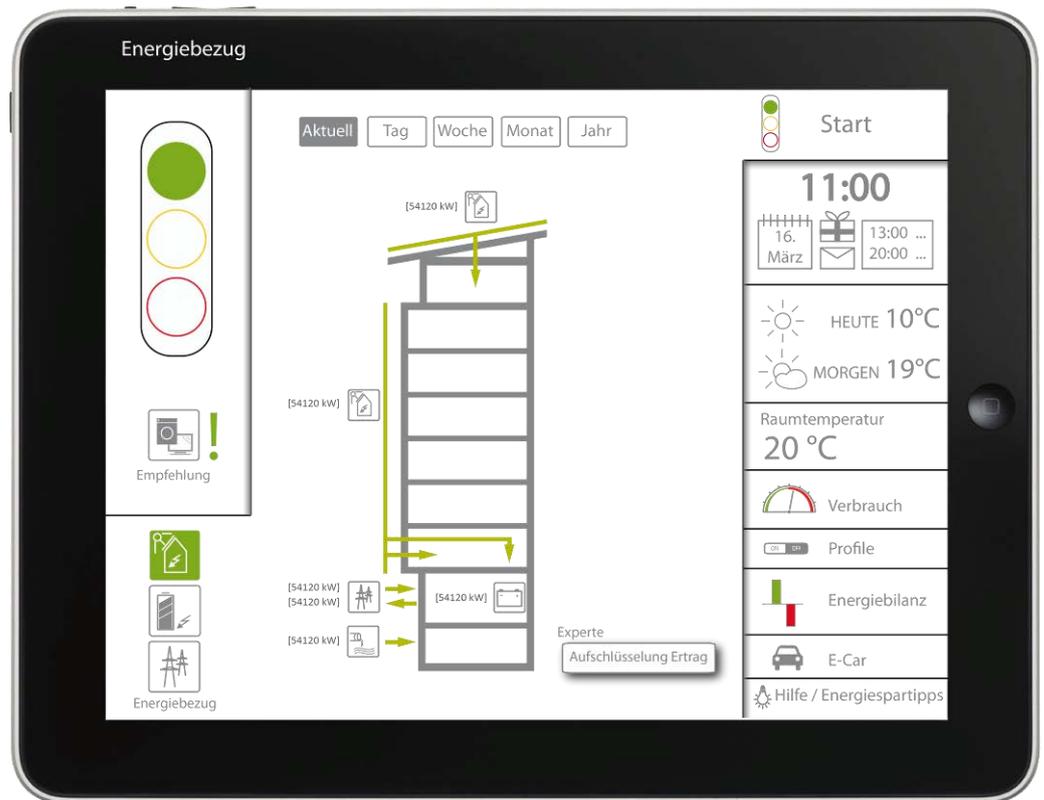


Abb. 129 Interfaceanzeige: Energiebezug, aktuell; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.



Abb. 130 Interfaceanzeige: Energiebezug, Wochenanzeige Strom; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.



Abb. 131 Interfaceanzeige: Energiebezug, Wochenanzeige Wärme ; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

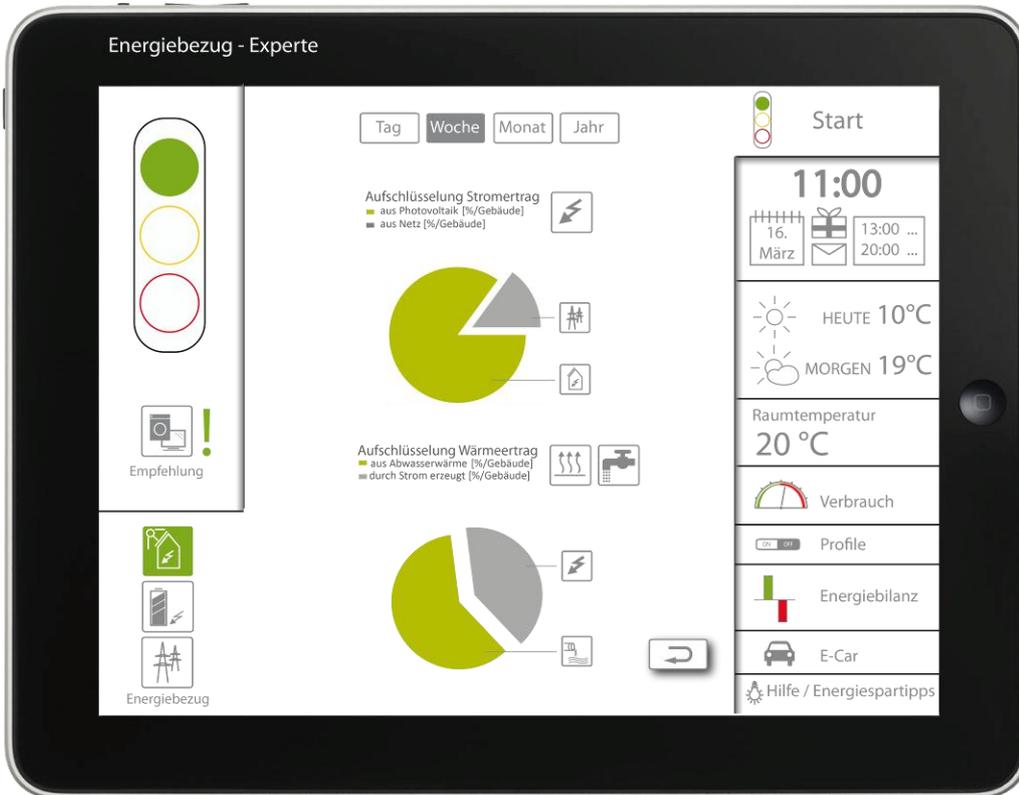


Abb. 132 Interfaceanzeige: Energiebezug, Expertenmodus ; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

6.2.6. Raumtemperatur

Die Raumtemperatur (siehe Abb. 133 f) wird auf der Startseite für den Hauptraum (Küche, Wohnen) dargestellt. Erscheint ein rotes Ausrufezeichen, so ist die Raumtemperatur ggf. zu gering bzw. zu hoch. Über diese Anzeige kann der Mieter eine Ebene tiefer gehen und sich Informationen anzeigen lassen, was er ggf. kontrollieren kann, um z.B. 20°C wieder zu erzielen.

Hier können z.B. folgende Hinweise erscheinen:

> 26 ° C

- Fenster sowie Sonnenschutz schließen
- Nachtluft als Vorkühlung des Raums oder Gebäudes
- regelmäßiges, kurzes Stoßlüften (Querlüften) und nicht auf „Kipp“
- SommerBypass (keine Wärmerückgewinnung) aktivieren
- Heizung aus?

< 19 ° C

- Fenster geschlossen?
- regelmäßiges, kurzes Stoßlüften (Querlüften) und nicht auf „Kipp“
- bei Zugerscheinungen -> Lüftung herunterregulieren
- Heizung an?

Gemäß der Wetterprognose für die nächsten Tage werden diese Hinweise je nach Außentemperatur ebenfalls über die Anzeige „Hilfe/Energiespartipps“ präventiv gegeben (siehe hierzu Kap.6.4).

Für die zehn Wohneinheiten mit einer erweiterten Messung werden die Raumtemperaturen von vier Räumen erfasst und dargestellt.

4 Raumtemperatur					
	Inhalt	Anzeigevarianten	Anzeige für	Darstellung / Datenquelle	Bezugsgröße
	Anzeige der Innenraumtemperatur in einem Hauptraum	Darstellung von: - Aktuell Einheiten: - °C	74 WE	- Erfassung der Innenraumtemperatur im Hauptraum über Temperaturfühler - Anzeige von Achtung-Symbol bei > 26 °C und < 19 °C!	<i>Wohneinheit</i>
	Anzeige der Innenraumtemperatur von 4 Räumen	Darstellung von: - Aktuell Einheiten: - °C	10 WE	- Erfassung der Innenraumtemperatur von 4 Räumen über Temperaturfühler - Anzeige von Achtung-Symbol bei > 26 °C und < 19 °C!	<i>Wohneinheit</i>
<i>Nutzen / Sonstige Angaben</i>					
	<ul style="list-style-type: none"> - Allgemeine Information - Anregen auf sehr niedrige oder sehr hohe Raumtemperaturen aufgrund eines Fehlverhaltens (z.B. Dauerlüften) zu reagieren 				

Tab. 7 Tabellarische Darstellung der Displayinhalte der Raumtemperatur für das Nutzerinterface, Quelle: FGee, TU Darmstadt

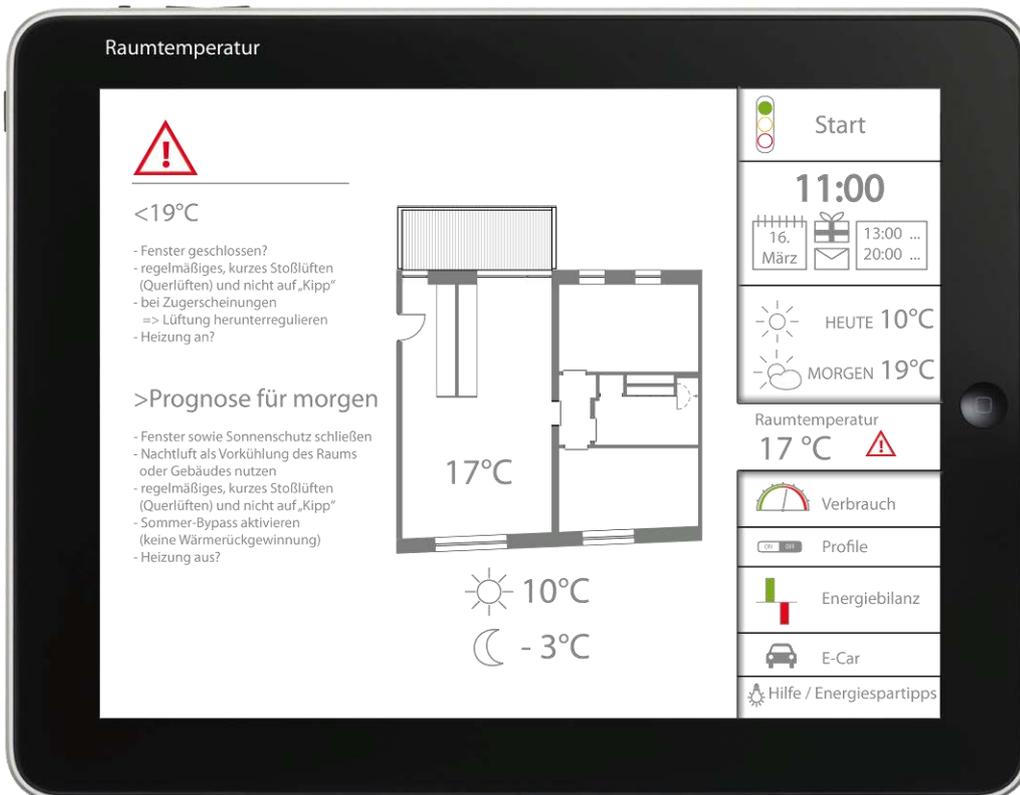


Abb. 133 Interfaceanzeige: Raumtemperatur ; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

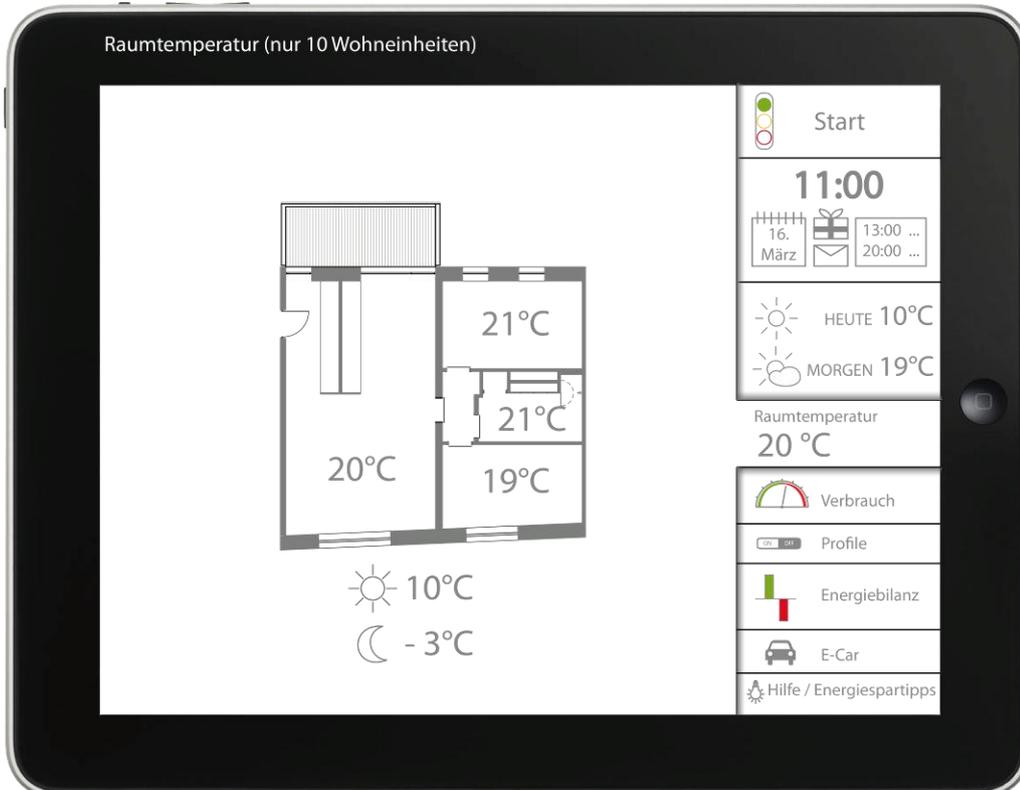


Abb. 134 Interfaceanzeige: Raumtemperatur, erweiterte Anzeige ; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

6.2.7. Verbrauch

Die Verbrauchsanzeige (siehe Abb. 135 ff) erreicht man über den rechten Ordnerreiter. Allen Mietern soll der Verbrauch für Strom, Heizung, Warmwasser und Kaltwasser ausgewiesen werden. Die zehn Wohneinheiten mit einer erweiterten Messung können sich zudem den Stromverbrauch der Haushaltsgeräte, der Lüftung, Beleuchtung und sonstige Arbeitsgeräte einzeln darstellen lassen. Der Verbrauch der Haushaltsgeräte (Waschmaschine, Trockner, Kühlschrank, Geschirrspülmaschine und Backofen) sowie der Beleuchtung und Lüftung wird separat gemessen. Sonstige Geräte müssen als Summe aus einer Gesamtmessung des Strombezuges rechnerisch ermittelt werden.

Die Verbrauchsanzeige soll aktuell (basierend auf einer 10 min-Messung), für die letzten 24 h (Tag), für die letzten 7 Tage (Woche), für die letzten 12 Monate (Jahr) sowie für die letzten Jahre angezeigt werden. Für die Darstellung soll zudem ein historischer Vergleich des jeweiligen Vorjahres möglich sein, was in den exemplarischen Zeichnungen noch nicht dargestellt ist.

Die aktuelle Verbrauchsanzeige erfolgt über die Darstellung eines Tachos. Dabei soll jeweils das mögliche Maximum des Verbrauchs (höchst möglicher Ausschlag) über das Gerät mit der höchsten Leistung festgelegt werden. Für die Tages-, Wochen-, Monats- und Jahresanzeige werden Balkendiagramme gezeigt. Eine Linie kennzeichnet den empfohlenen Verbrauch (Grundlage für das Energieguthaben), der bilanziell ermittelt wird. Liegt der Verbrauch darüber, wird der Anteil grau dargestellt. Ist der Verbrauch im „grünen Bereich“, erscheint die farbliche Anzeige des Balkens entsprechend.

Für die zehn Wohneinheiten mit einer erweiterten Messung soll neben der einzelnen Verbrauchsanzeige zudem der Verbrauch der einzelnen Geräte im Verhältnis zueinander angezeigt werden. Dies lässt die Bewohner die Hauptstromverbraucher ihrer Wohnung leicht erkennen.

5 Verbrauchsanzeige					
	Inhalt	Anzeigevarianten	Anzeige für	Darstellung / Datenquelle	Bezugsgröße
	Darstellung des Stromverbrauchs (Gesamtstromverbrauch je Wohneinheit)	Energie: - Strom - Heizung - WW - KW Darstellung von: - Aktuell - Tag - Woche - Monat - Jahr Einheiten: - kW/kWh	74 WE	- Erfassung des gesamten Strom-, Heizung, WW, KW-Verbrauchs pro Wohneinheit - Erfassung über Leistungserfassungen (10 min-Messungen) bzw. Wärmemengenzähler - Erfassung des gesamten Heizwärmeverbrauchs (Fußbodenheizung) - Erfassung des gesamten Trinkwarmwasserverbrauchs (inkl. Badheizkörper, da im Heizkreis enthalten) - Anzeige im Bezug zu empfohlenem Verbrauch /Tag, /Monat und /Jahr (bilanziell ermittelter Werte)	Wohneinheit
	Zusätzliche Anzeige einzelner Stromverbraucher	zusätzliche Anzeige folgender Stromverbraucher: - Waschmaschine - Trockener - Kühlschrank - Backofen - Geschirrspüler - Beleuchtung - Lüftung - sonstige Geräte Einheiten: - kW/kWh	10 WE	- Erfassung der einzelnen Nutzungen - Ermittlung des Verbrauchs für Unterhaltungsmedien durch Differenz Gesamtstromverbrauch abzgl. einzelnen Nutzungen - Anzeige im Bezug zu empfohlenem Verbrauch /Tag, /Monat und /Jahr (bilanziell ermittelter Werte)	Wohneinheit
	Anteiliger Stromverbrauch der Geräte mit einer Einzelmessung	Stromverbraucher: - Waschmaschine - Trockener - Kühlschrank - Backofen - Geschirrspüler - Beleuchtung - Lüftung - sonstige Geräte	10 WE	Erfassung der einzelnen Nutzungen - Ermittlung des Verbrauchs für Unterhaltungsmedien durch Differenz Gesamtstromverbrauch abzgl. einzelnen Nutzungen - Berechnung der prozentualen Anteile	Wohneinheit
Nutzen / Sonstige Angaben					
	<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklung eines Bewusstseins für den eigenen Stromverbrauch - Hilfe der Relativierung über einen Bezug zu einer empfohlenen Verbrauchsgrenze (gem. Energieguthaben) - Hilfe zur Einordnung von Geräten mit großem und geringen Verbrauch (nur für die 10 Haushalte mit einer erweiterten Messung möglich) 				

Tab. 8 Tabellarische Darstellung der Displayinhalte der Verbrauchsanzeige für das Nutzerinterface, Quelle: FGee, TU Darmstadt

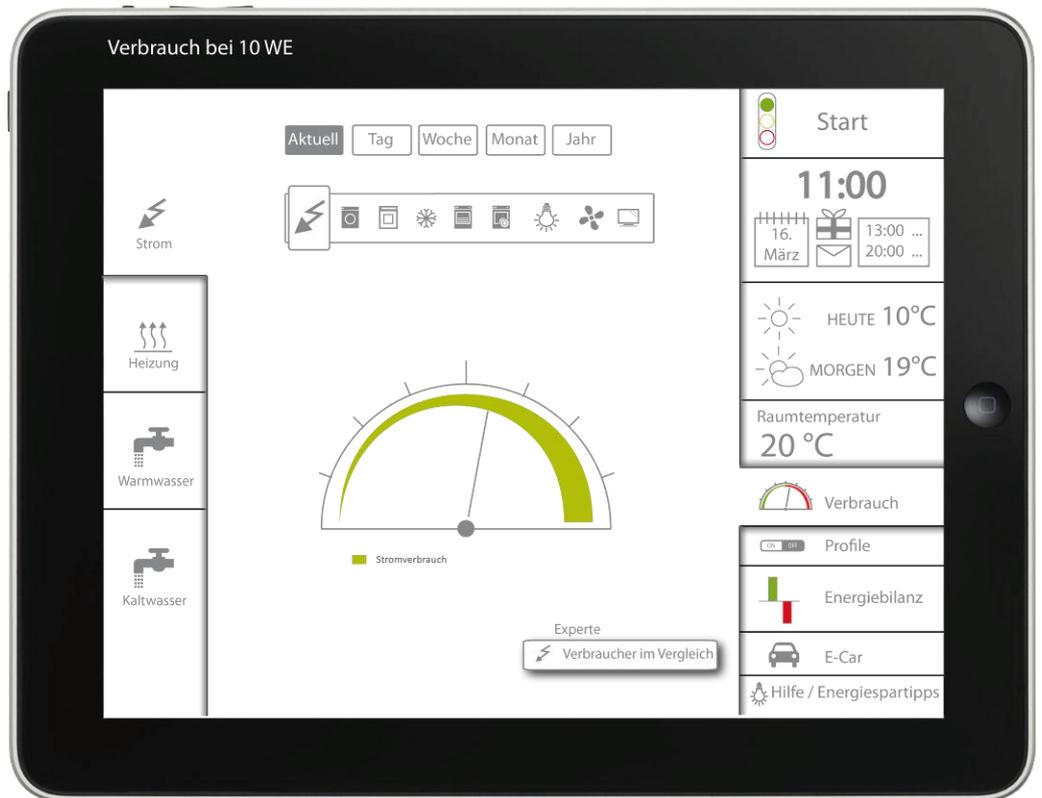


Abb. 135 Interfaceanzeige: Verbrauch, aktuell, Strom für 10 WE ; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

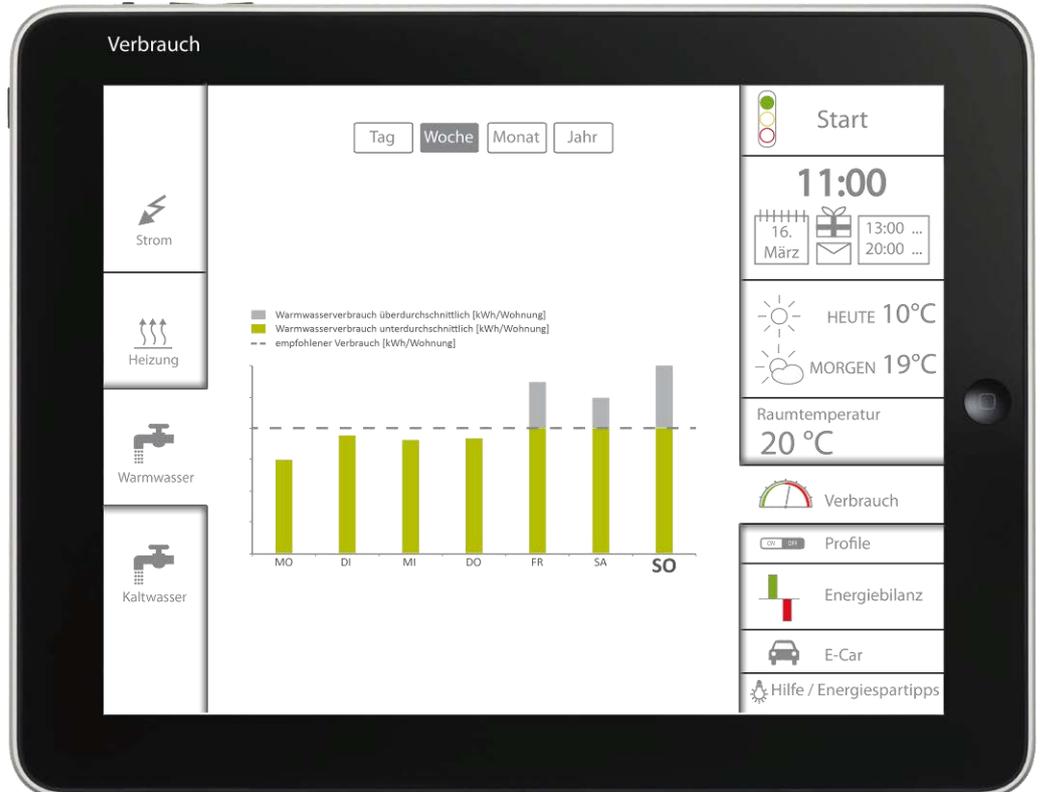


Abb. 136 Interfaceanzeige: WW-Verbrauch d. letzten 7 Tage; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

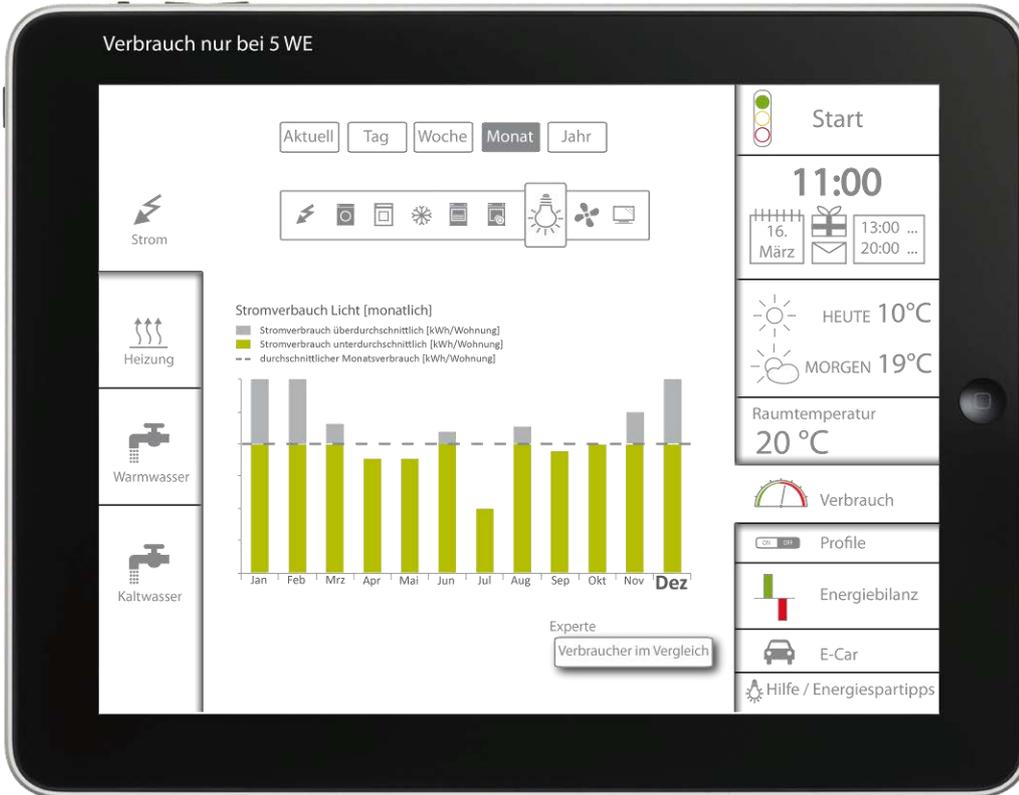


Abb. 137 Interfaceanzeige: Stromverbrauch d. letzten 12 Monate; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

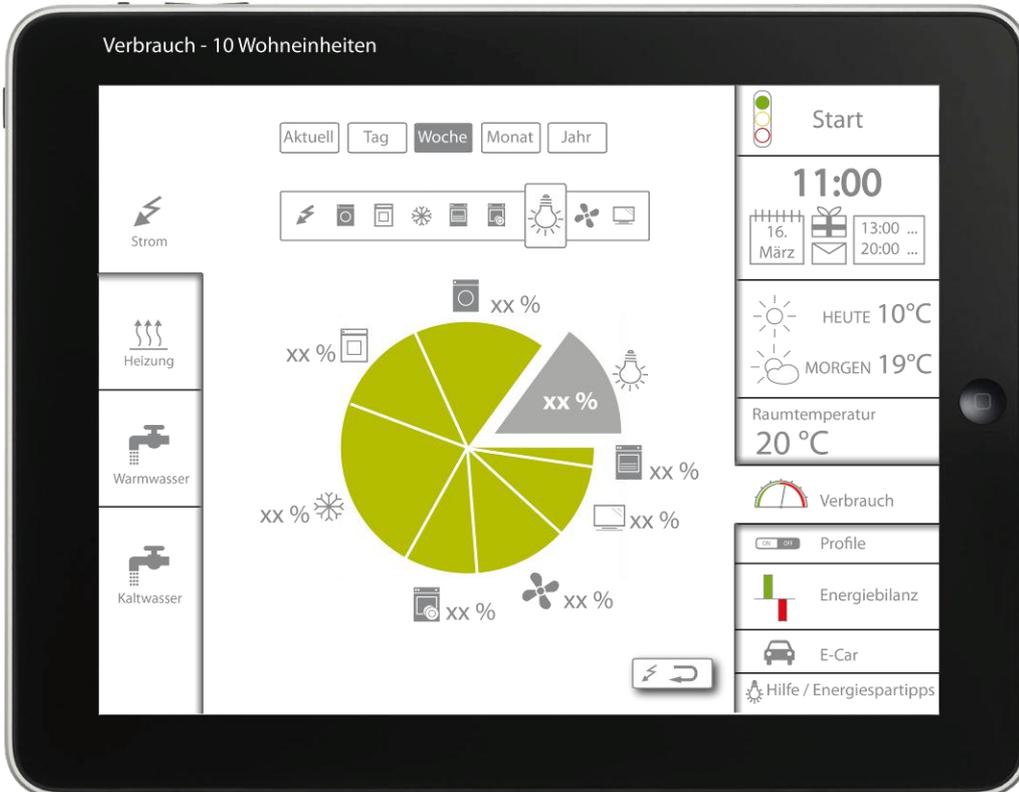


Abb. 138 Interfaceanzeige: anteiliger Stromverbrauch einzelner Geräte; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

6.2.8. Energiebilanz

Die Energiebilanz (siehe Abb. 139 ff) aus Energieerzeugung und Verbrauch wird auf das Haus bezogen dargestellt. Die Anzeige soll aktuell (10 min-Messung), für die letzten 24 h, für die letzten 7 Tage, für die letzten 12 Monate sowie für das letzte Jahr (im Durchschnitt) dargestellt werden. Neben der zeitlichen Vertiefung, soll zudem die Bilanz in kWh sowie für CO₂ ausgegeben werden.

6	Energiebilanz				
	Inhalt	Anzeigevarianten	Anzeige für	Darstellung / Datenquelle	Bezugsgröße
	Darstellung einer Gesamtbilanz (Erzeugung/Verbrauch) auf Endenergiebasis des gesamten Gebäudes	Darstellung von: <ul style="list-style-type: none"> - Aktuell - Tag - Woche - Monat - Jahr Einheiten: <ul style="list-style-type: none"> - kW/kWh - CO₂ 	74 WE	- Erfassung des gesamten End-Energieverbrauchs des Gebäudes für Wärme und Strom, Gegenrechnen mit dem Gesamtertrag für Photovoltaik, Anzeige der Gesamtbilanz (Plus- oder Minus) aktuell, /Monat, /Jahr - Umrechnung der Endenergiebilanz in [kg] CO ₂	Gebäude
Nutzen / Sonstige Angaben					
	- Identifikation mit dem Plus-Energie-Gebäude über Information der eigenen Stromerzeugung				

Tab. 9 Tabellarische Darstellung der Displayinhalte der Energiebilanz für das Nutzerinterface, Quelle: FGee, TU Darmstadt

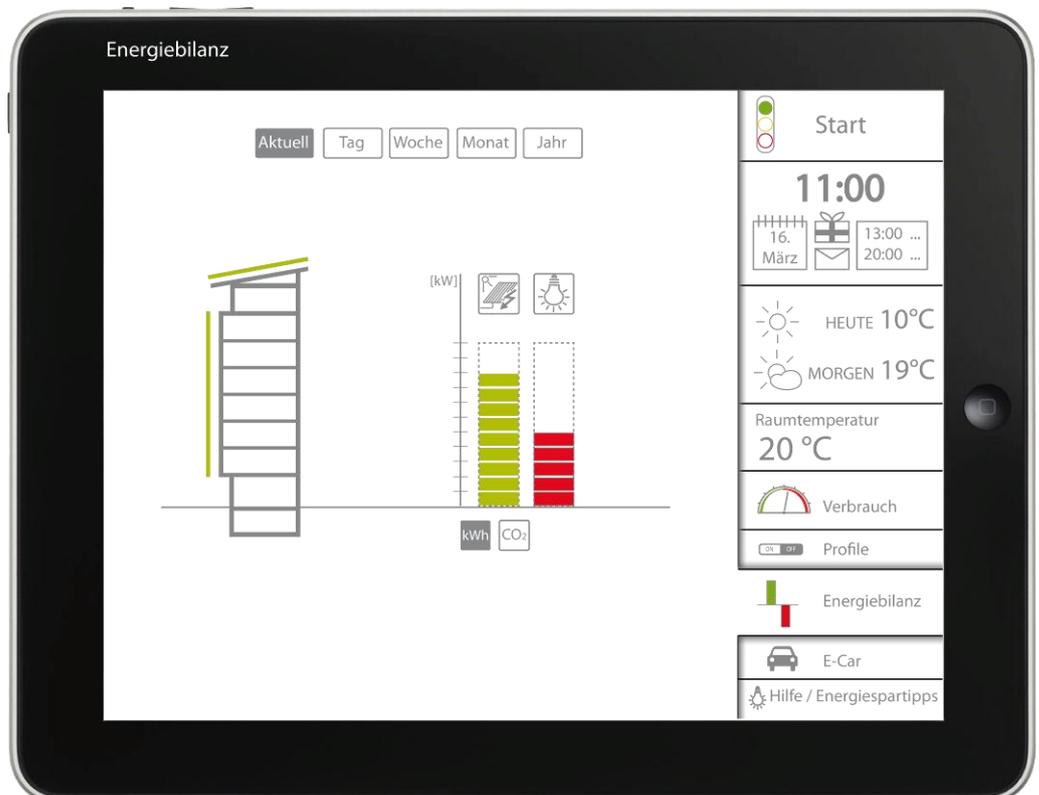


Abb. 139 Interfaceanzeige: Energiebilanz, aktuell; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

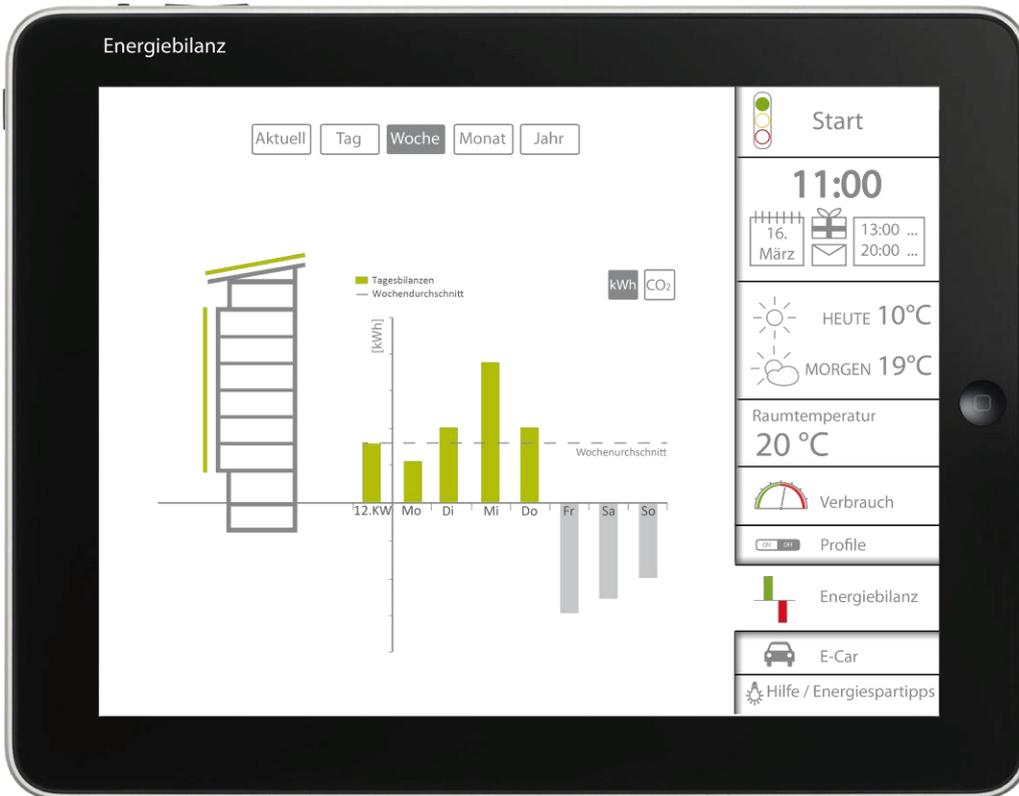


Abb. 140 Interfaceanzeige: Energiebilanz, derletzten 7 Tage; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

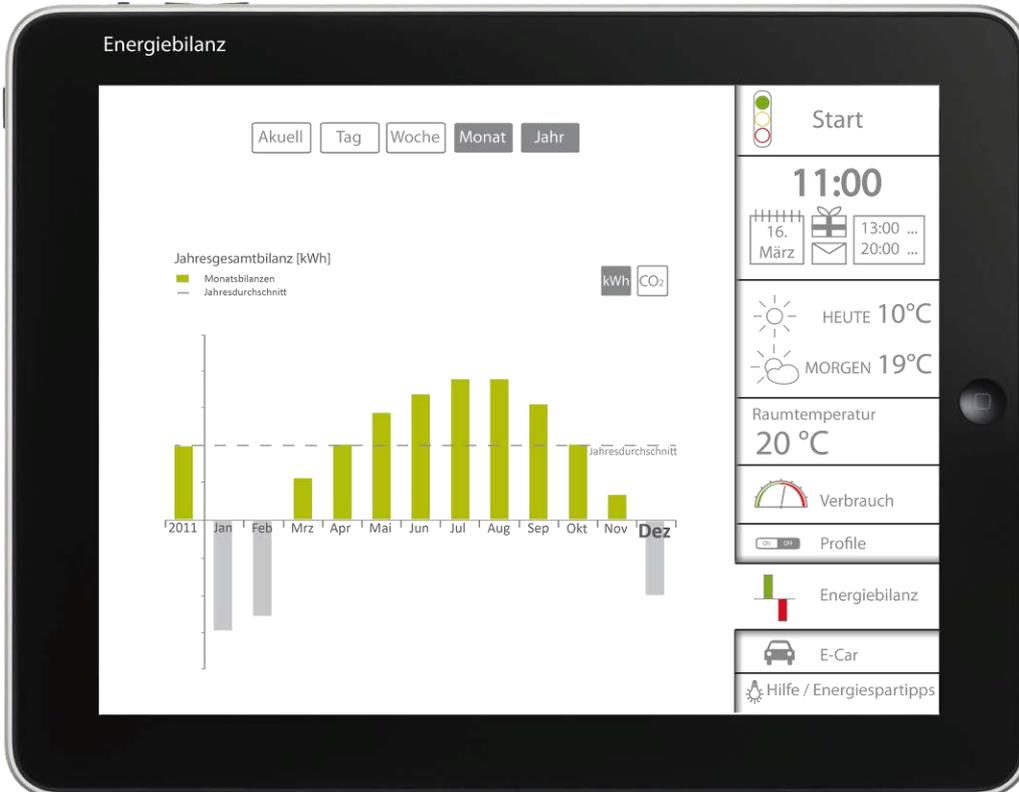


Abb. 141 Interfaceanzeige: Energiebilanz, der letzten 12 Monate inkl. Jahresdurchschnitt; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

6.2.9. E-Car

Die Car-Sharing-Flotte soll ebenfalls über das Interface verwaltet werden können. Hier können zum Beispiel Informationen über das gebuchte km-Kontingent, Ladezustand und damit verbundene mögliche Reichweite und/oder die Verfügbarkeit einzelner Fahrzeuge dargestellt werden. Diese Darstellung könnte über eine Messung an den Ladesäulen der einzelnen Fahrzeuge erfolgen. Die Möglichkeit der Reservierung und Ausleihe wäre zudem eine komfortable Ergänzung. Hierfür ist eine Schnittstelle mit dem möglichen Flottenbetreiber (book 'n' drive) vorzusehen. Ob eine Oberfläche im Rahmen des Interfaces für die E-Mobilität möglich wird, oder der Flottenbetreiber ausschließlich seine eigene Web-Seite betreiben möchte, ist an die Zustimmung des zukünftigen Flottenbetreibers gebunden.

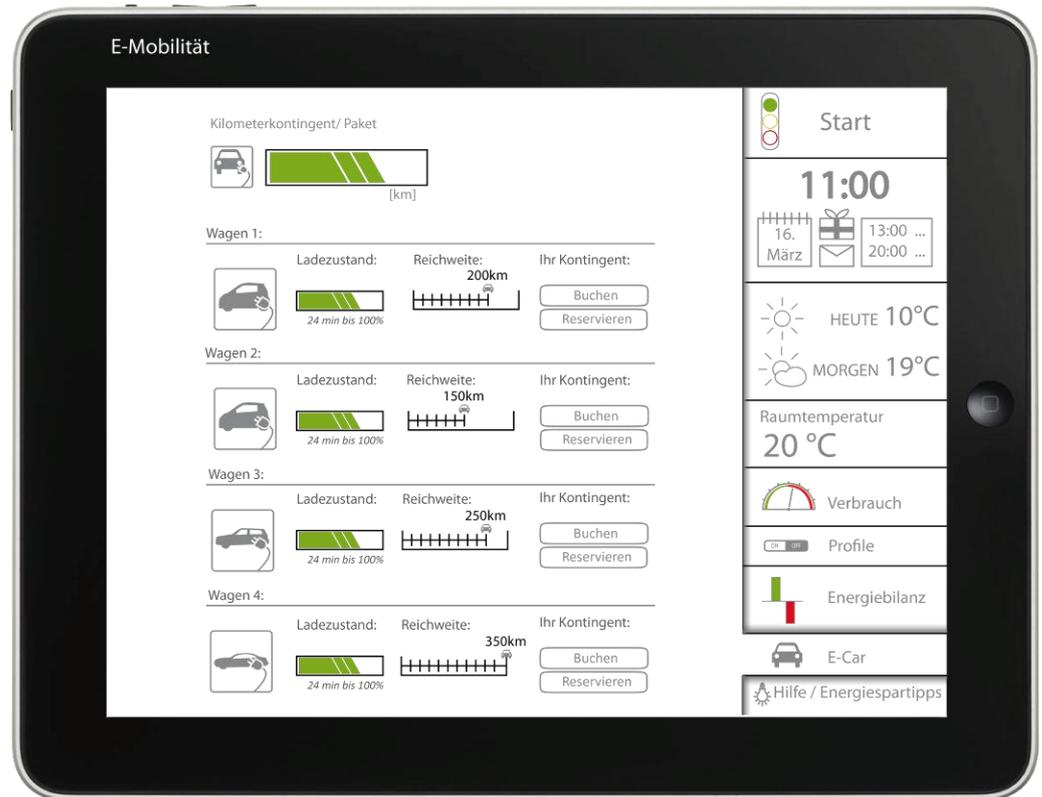


Abb. 142 Interfaceanzeige: E-Car-Sharing; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

7	E-Car-Sharing				
	Inhalt	Anzeigevarianten	Anzeige für	Darstellung / Datenquelle	Bezugsgröße
	- Anzeige des Kilometerkontingents/ des gebuchten Car-Sharing-Pakets	Einheiten: - km	74 WE	- Gebuchte km- Kontingent gem. Mietvertrag oder Angabe des Flottenbetreibers	<i>Wohneinheit</i>
	- Anzeige des Modells, des Ladezustandes und der erzielbaren Reichweite der einzelnen Fahrzeuge	Einheiten: - % - km	74 WE	- Messung an den Ladesäulen - Die Verfügbarkeit/Ladezustand der Fahrzeuge müsste über das BMS erfasst werden	<i>E-Mobile</i>
	- Buchung/Reservieren eines E-Mobil-PKW		74 WE	- Book'n`drive	<i>E-Mobile</i>
Nutzen / Sonstige Angaben					
	<ul style="list-style-type: none"> - Verknüpfung des Plus-Energie-Gebäudes mit nachhaltiger Mobilität auch über das Interface - Nutzerkomfort und ggf. höhere Nachfrage des Car-Sharing-Angebots 				

Tab. 10 Tabellarische Darstellung der Displayinhalte des E-Car-Sharings für das Nutzerinterface, Quelle: FGee, TU Darmstadt

6.3. Profile

Für die fünf Wohneinheiten, die eine Gebäudeautomation für die Beleuchtung, Lüftung und Haushaltsgeräte wie Waschmaschine, Trockener, Kühlschrank, Backofen und Geschirrspüler erhalten, wird die manuelle Einstellung der Geräte wie auch die Wahl von Profilen ermöglicht. Hinter den Profilen liegen Voreinstellungen, die verschiedene Verbrauchsszenarien bedienen. Es werden die Profile „Kino“, „Party“, „Abwesend“ und „Cocooning“ vorgeschlagen (siehe Abb. 143).

Dem Profil „Kino“ kann z.B. eine besondere Lichtstimmung zugrunde liegen, vorausgesetzt die Beleuchtung ist ggf. dimm- bzw. einzeln regulierbar. Dem Profil „Party“ liegt z.B. eine Herunterregelung der Heizleistung zugrunde (aufgrund dem trägen System z.B. 3 h vor Partybeginn), um den Wärmeeintrag mehrerer Personen zu berücksichtigen. Zudem kann hier die Lüftungsleistung hoch geregelt werden.

Die Profile Cocooning („Einigeln“) und „Abwesend“ besitzen Voreinstellungen für das Energiesparen, ggf. wie das Abschalten von Standbybetrieben, das Herunterregeln der Heizleistung, ggf. das Einschalten des Lichts am Abend (Einbrecherprävention bei Abwesenheit).

Die manuelle Voreinstellung der Haushaltsgeräte, soll mit Blick auf die Energiebilanzprognose erfolgen. Aus diesem Grund sollte die Prognosedarstellung immer parallel zur Geräteprogrammierung ablesbar sein (siehe Abb. 144). Die Einstellungen können wiederholt, in einem bestimmten Profil gespeichert, oder der „smartMode“ bedient werden. Der „smartMode“ bezieht sich automatisch auf die Energiebilanzprognose der nächsten 24 h und aktiviert das Gerät je nach Prognose automatisch. Der Zeitpunkt der automatischen Aktivierung soll dem Nutzer angezeigt werden. Er kann nur aktiviert werden, wenn sich innerhalb der nächsten 24h eine Plus-Energie-Bilanz einstellt.

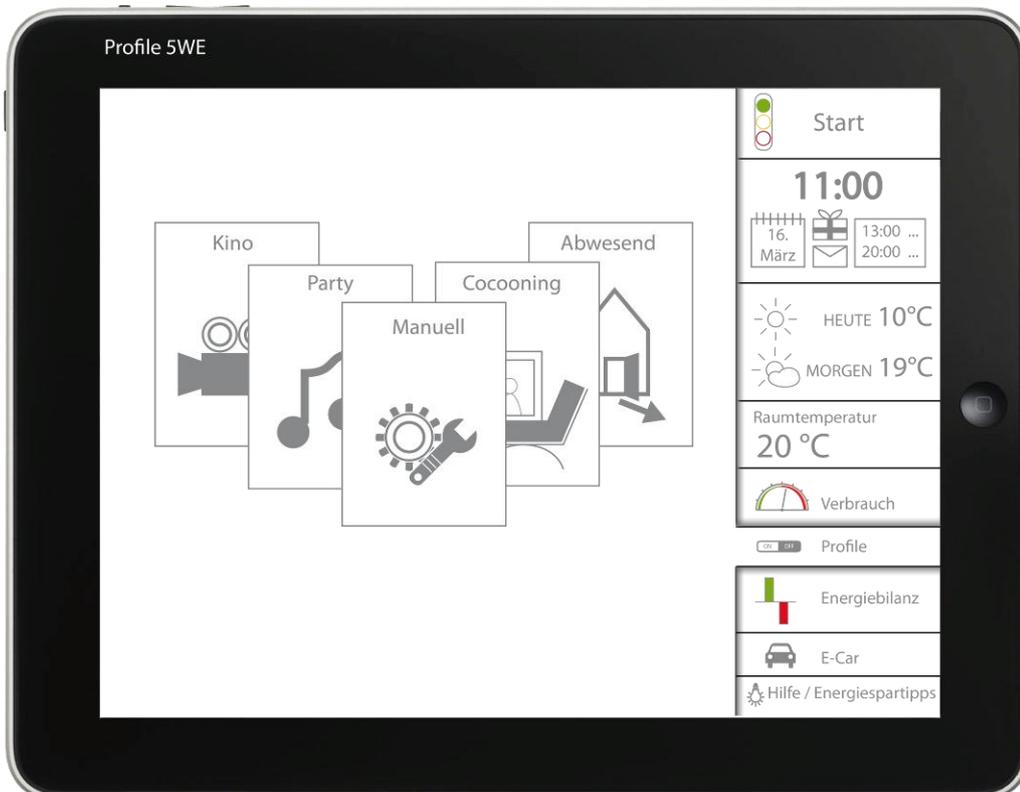


Abb. 143 Interfaceanzeige: Profile, Wahlanzeige; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

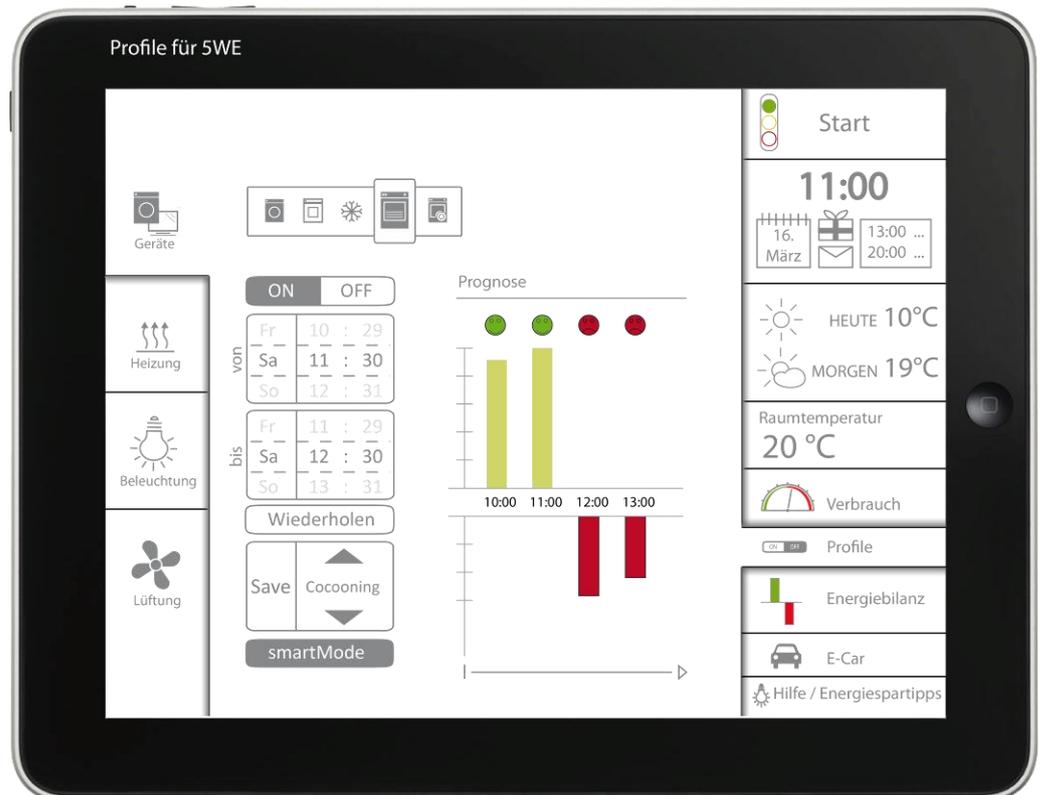


Abb. 144 Interfaceanzeige: Profile, Manuelle Einstellungen; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

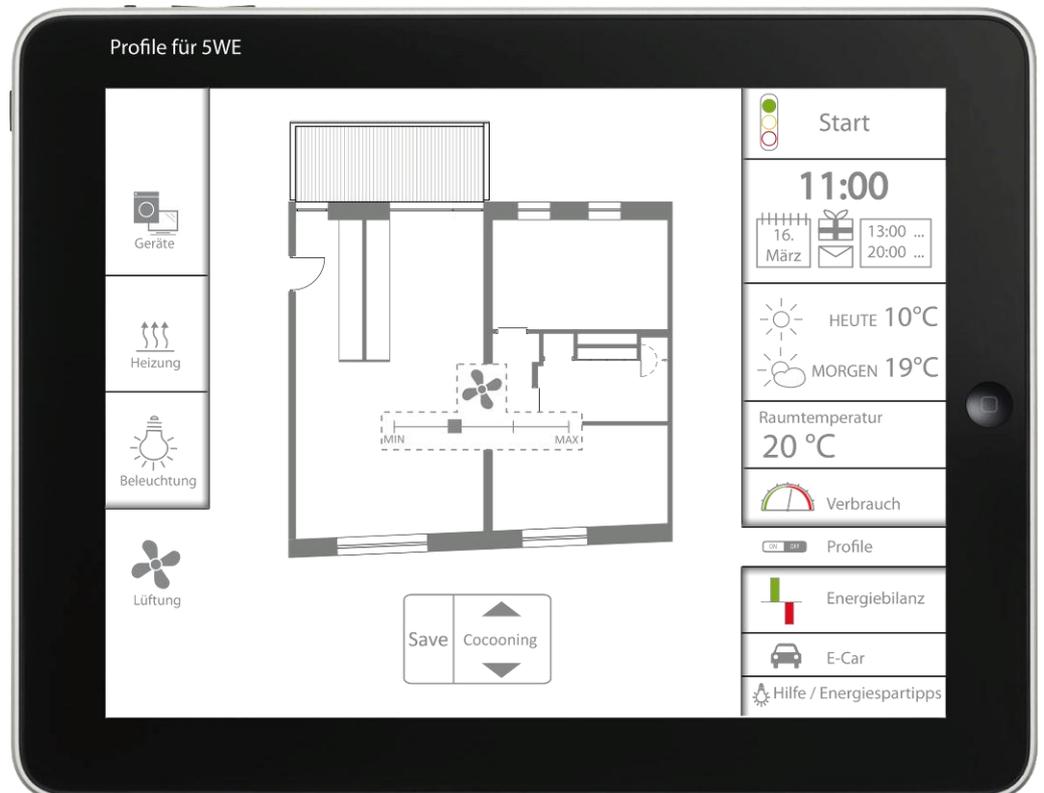


Abb. 145 Interfaceanzeige: Profile, Bsp. Lüftungsregelung; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

8 Profile					
	Inhalt	Anzeigevarianten	Anzeige für	Darstellung / Datenquelle	Bezugsgröße
	Wahl der programmierbaren Nutzerprofile: z.B. Gäste, Abwesenheit, Party, Urlaub und manuell	4 Profile + manuell (Startseite)	5 WE	- Erfassung der gespeicherten Nutzerprofile	Wohneinheit
	- Steuerung einzelner Stromverbraucher in Abhängigkeit der Verfügbarkeit von regenerativem Strom: Geräte: Lebensmittelkühlung, Waschen, Trocknen, Geschirrspülen, Kochen/Backen	An/aus, Zeitprogrammierung, Wiederholung, Speicherung in Profil „X“, „Smart Mode“	5 WE	- „Smart Mode“ aktiviert: Geräte manuell präpariert (Geschirrspüler, Waschmaschine, Trockner, Herd) springen automatisch bei positiver Bilanz (5.) an (Lastmanagement)	Wohneinheit
	- Steuerung einzelner Stromverbraucher in Abhängigkeit der Verfügbarkeit von regenerativem Strom: Nutzungen: Lüftung, Heizung, Beleuchtung	Steuerung raumabhängig (z.B. anhand des Grundriss) Ca. 4 Stufen °C Stufenlos dimmbar	5 WE	Abhängig von Lüftungsgerät (Anzahl Stufen)	Wohneinheit
Nutzen / Sonstige Angaben					
	<ul style="list-style-type: none"> - Lastmanagement - Energieeinsparung - Nutzerkomfort 				

Tab. 11 Tabellarische Darstellung der Displayinhalte der Profile für das Nutzerinterface,
Quelle: FGee, TU Darmstadt

6.4. Energiespartipps

Eine weitere Hilfestellung zum Energiesparen bieten die Energiespartipps. Hier wird zwischen der Darstellung aktueller und allgemeiner Spartipps unterschieden.

Bei aktuellen Energiespartipps handelt es sich um präventive Maßnahmen die der Mieter manuell, unabhängig von einer Gebäudeautomation, durchführen kann. Ein Beispiel ist, das Aktivieren des Sonnenschutzes am frühen Morgen bei einer Vorhersage von hohen Temperaturen und Sonnenschein. Ist ein aktueller situationsbedingter Energiespartipp vorhanden, so leuchtet in dem rechten Reiter eine Glühbirne auf.

Die allgemeinen Energiespartipps beinhalten allgemeine Hinweise wie dem Einsatz von effizienten Geräten, LED-Leuchtmittel, größte Verbraucher etc. Sie sind situationsungebunden und können von dem Mieter bei Interesse separat aufgerufen werden.

→ *Eine exemplarische Aufführung von Energiespartipps ist in Anlage 3 zu finden.*

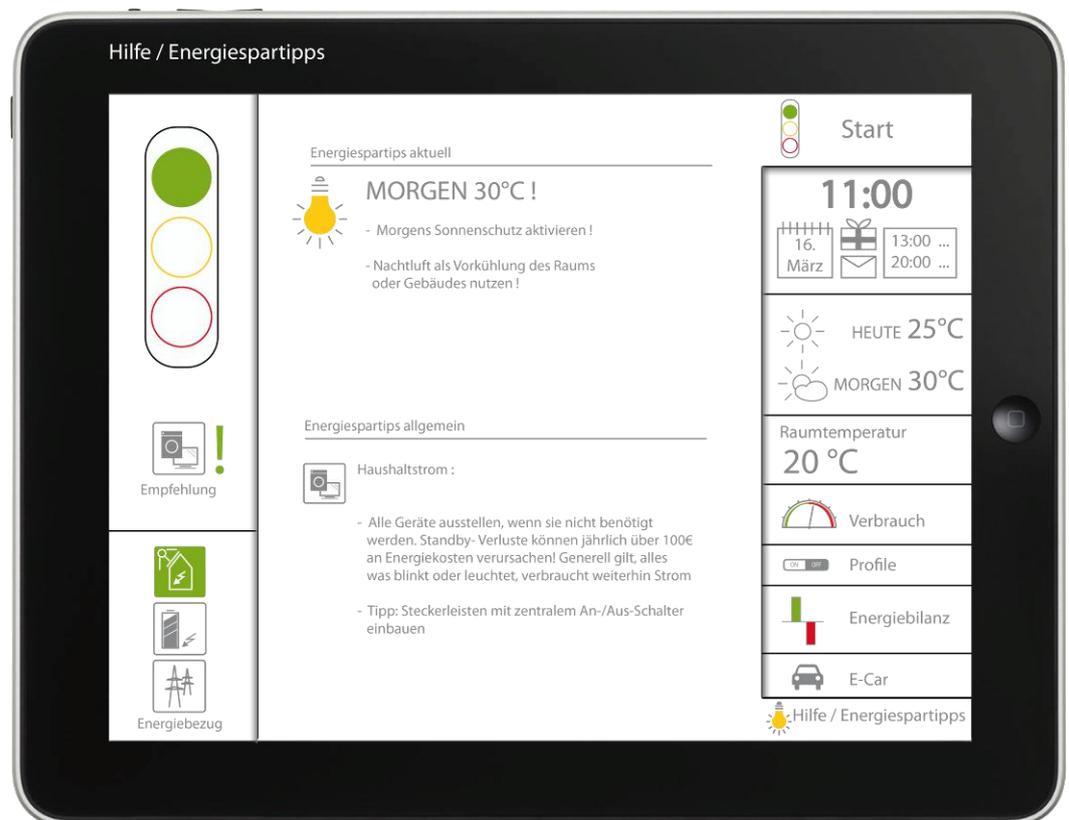


Abb. 146 Interfaceanzeige: Energiespartipps; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

9 Energiespartipps					
	Inhalt	Anzeigevarianten	Anzeige für	Darstellung / Datenquelle	Bezugsgröße
	Energiespartipps aktuell	- Haushaltsgeräte - Beleuchtung - Lüftung - Heizung	74 WE	- <i>aktuell gültige Tipps zum Energiesparen bzw. Steigern des Eigengebrauchs des regenerativen Stroms</i> - <i>Bezug auf Energiebilanzprognose und Wettervorhersage</i> - <i>Aufleuchten einer Glühbirne im rechten Reiter, bei bestehendem neuen Energiespartipp</i>	Wohneinheit
	Energiespartipps allgemein	- Haushaltsgeräte - Beleuchtung - Lüftung - Heizung	74 WE	- <i>allgemeingültige Tipps zum Energiesparen (z.B. Quelle: dena)</i>	
<i>Nutzen / Sonstige Angaben</i>					
	<ul style="list-style-type: none"> - Hilfestellung zum Energiesparen - Ermöglichen von vorausschauenden passiven Maßnahmen zum Energiesparen, wie z.B. das aktivieren des Sonnenschutzes bei einer Vorhersage von hohen Temperaturen und Sonnenschein 				

Tab. 12 Tabellarische Darstellung der Displayinhalte der Energiespartipps für das Nutzerinterface, Quelle: FGee, TU Darmstadt

6.4.1. Wetter | Termine | E-Mail

Allgemeine Informationen und Dienstleistungen (siehe Abb. 147f) sollen den Tablet-PC zusätzlich für den Nutzer attraktiv machen und es in den alltäglichen Gebrauch selbstverständlich einbinden. Anzeigen wie Datum, Uhrzeit, Wetter (Außentemperatur, Wettervorhersage) und ggf. der Zugang zum Internet (Synchronisation mit dem E-Mailprogramm, Kalender, Google, Nachrichten, etc.) sollen ermöglicht werden.

10 Allgemeine Angaben					
	Inhalt	Anzeigevarianten	Anzeige für	Darstellung / Datenquelle	Bezugsgröße
	Datum, Uhrzeit (Kalender, Termine)	Aktuell Uhr (digital o. analog), Kalenderblatt (Startseite)	74 WE	Verknüpfung und Synchronisierung mit Google, Outlook, o.ä.	Wohneinheit
	Wetter + Klimadaten + Außentemperatur (Vorhersage)	Piktogramm, Temperatur [°C] Echtzeit	74 WE	Verknüpfung mit Wetter App oder Dt. Wetterdienst	
<i>Nutzen / Sonstige Angaben</i>					
	<ul style="list-style-type: none"> - Steigerung der Attraktivität des Interfaces - Einbindung in den Alltag 				

Tab. 13 Tabellarische Darstellung der Displayinhalte der allgemeinen Dienstleistungen für das Nutzerinterface, Quelle: FGee, TU Darmstadt

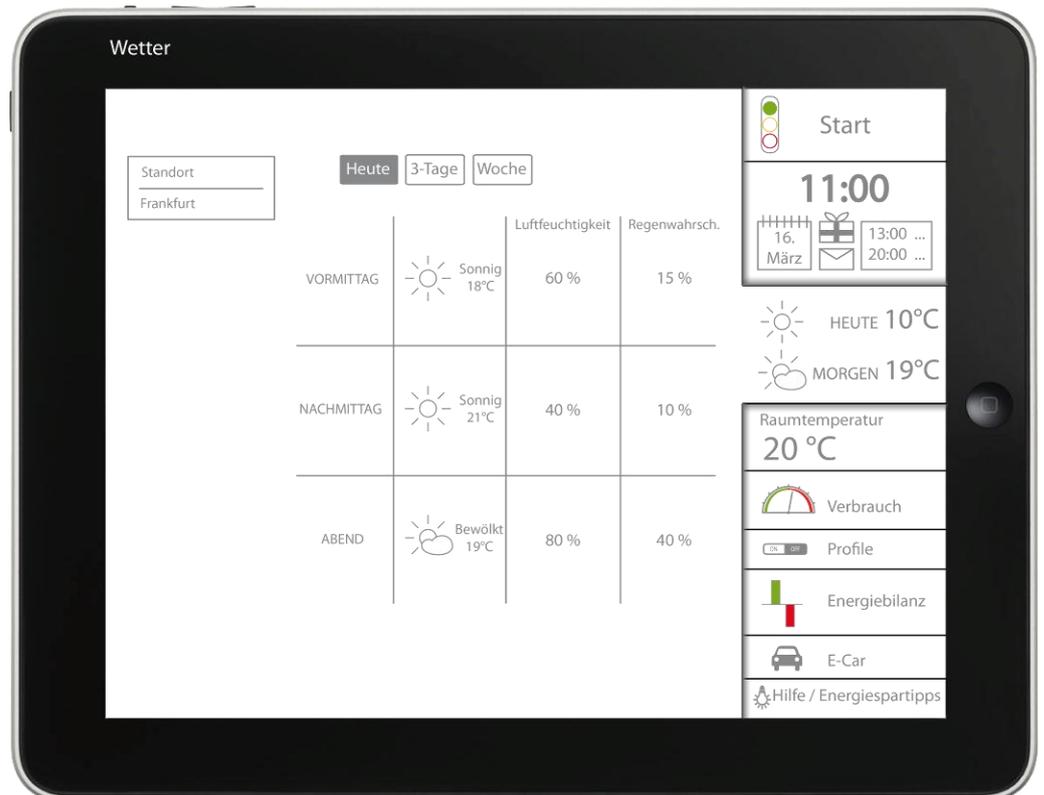


Abb. 147 Interfaceanzeige: Wetter; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

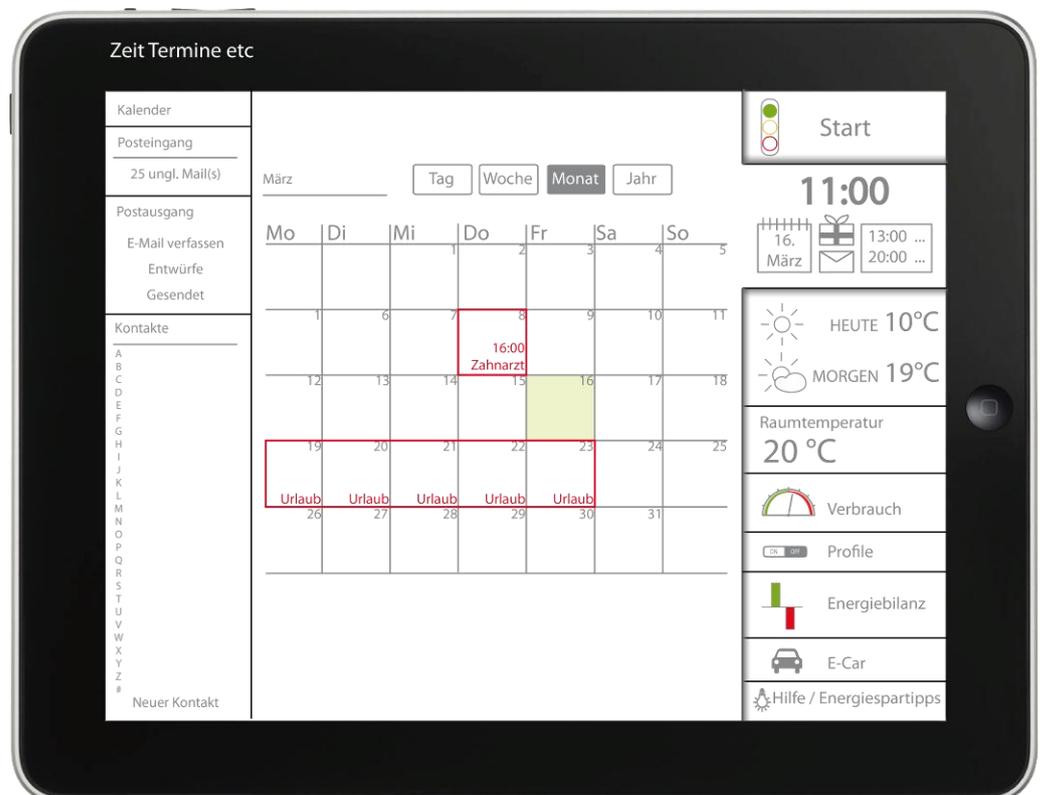


Abb.148 Interfaceanzeige: Kalender; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.

6.5. Monitoring des Nutzerverhaltens

Für die Überprüfung der Funktionalität des Nutzerinterfaces, wird von dem Forschungsteam ein Monitoring des Nutzerverhaltens und der Akzeptanz des Nutzerinterfaces vorgeschlagen, deren Konzeption im Folgenden beschrieben wird.

6.5.1. Monitoring - Interdisziplinäre Auswertung und Dokumentation des Nutzerverhaltens

Parallel zur Erfassung und Auswertung von Verbrauchs- und Erzeugungswerten kann über eine Befragung der Bewohner das Nutzerverhalten analysiert und dokumentiert werden. Gerade in einem Gebäude mit vielen Bewohnern wie in einem Mehrfamilienhaus stellt das Nutzerverhalten einen wesentlichen Faktor für den Energieverbrauch dar. Die Nutzerinterfaces (Touch-Panels), die jeder Wohneinheit zur Verfügung gestellt werden sollen, spielen dabei eine wichtige Rolle.

In Form der Messwerterfassung sowie einer ergänzenden Nutzerbefragung können die Benutzung und die Akzeptanz der Touch-Panels dokumentiert und deren Einfluss auf das Nutzerverhalten, d.h. Erhöhung des Eigengebrauchs solar erzeugten Stroms sowie die Energieeinsparung analysiert werden. Informations- und Kommunikationstechnologien sowie die Gebäude- und Raumautomation sind darauf hin zu untersuchen, inwieweit eine Versorgungssäule „Strukturierter IT-Verkabelung“ den Nutzerkomfort und die Energieeffizienz erhöht.

Auch die Akzeptanz und die Benutzung der E-Mobile per Car-Sharing können über eine Nutzerbefragung sowie einer Auswertung der Benutzungszeiten des Car-Sharing dokumentiert werden, um die Wirtschaftlichkeit und Möglichkeit der Etablierung weiterer solcher Modelle zu evaluieren.

Für die Auswertung des Projekterfolgs ist dieser qualitative Teil des Monitorings, gerade für die Beurteilung der Einflussgröße Nutzer in einem Mietshaus mit einer Großzahl an Wohneinheiten, ein zentraler Bestandteil des Gesamt-Monitoringkonzeptes.

6.5.2. Das Vorgehen

Die Befragung aller Bewohner soll über Fragebögen erfolgen. Die Fragebögen sollen an alle 74 Wohneinheiten verteilt und ausgewertet werden.

Durchgeführt werden soll die Befragung in den Jahren 2014 (Erstbezug), 2015 und 2016. Je Wohneinheit sollen alle erwachsenen Bewohner sowie die Minderjährigen Bewohner ab 14 Jahre (mit Zustimmung der Erziehungsberechtigten) zu drei Zeitpunkten im Verlauf von 24 Monaten im Abstand von 12 Monaten befragt werden. Die Intervalle finden in Abstimmung mit dem Vermieter statt. Die Befragung wird mit Einwilligung der Betroffenen unter Wahrung des Datenschutzes erhoben.

Mit den Mietern der zehn Wohneinheiten, für die entweder differenzierte Daten einer Stromverbrauchsmessung und Raumtemperaturerfassung vorliegen oder mit „Digitalstrom“ ausgerüstet sind (folglich der Konzeption „Erfassung und Auswertung von Messdaten“), soll eine qualitative Interviewstudie durchgeführt werden.

Die Ergebnisse aus der Auswertung der zehn Wohneinheiten sollen in einer Korrelationsphase im Abschluss mit den Messwerterfassungen verglichen werden,

um Rückschlüsse auf den Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch zu ziehen.

Im Rahmen aller drei Messungen sollen neben den Verhaltensweisen und Einstellungen zum Touchpad auch Fragen zur E-Mobilität und zur Nutzung des Car-Sharings- bzw. E-Bike-Angebots im Hause gestellt werden. Daraus sollen Nutzergewohnheiten und deren Wandel sowie die Zufriedenheit der Nutzer abgebildet werden. Zudem sollen diese Daten, wenn möglich mit Fahrzeiten und Fahrstrecken, unter schriftlicher Einwilligung der Mieter abgeglichen werden, die Rückschlüsse für weitere Car-Sharing-Modelle mit E-Mobilen zulassen.

Mit der Ergänzung des Monitorings um eine Auswertung und Dokumentation des Nutzerverhaltens verbindet das mögliche wissenschaftlich begleitete Monitoringkonzept quantitative und qualitative Forschungsmethoden. Interdisziplinär soll das wissenschaftliche Team aus dem Fachbereich Gebäudetechnologie, Architektur und Sozialforschung gebildet werden.

AP D

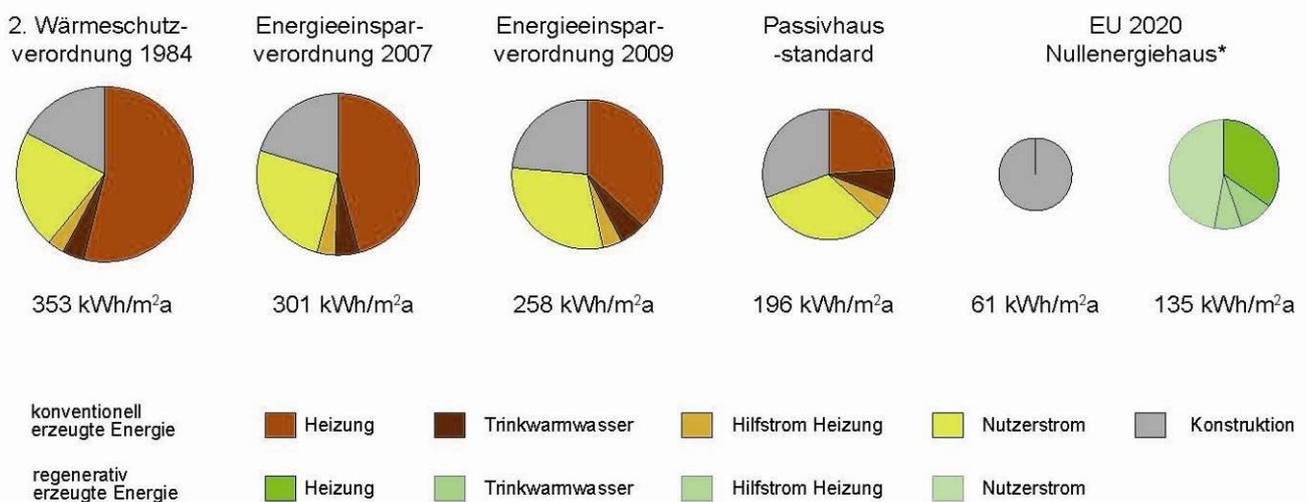
Lebenszyklusbetrachtung



7. AP D – Lebenszyklusanalyse

7.1. Ökobilanzierung - Ausgangslage und Zielstellung

Neben der Steigerung der technischen Effizienz sollen im Rahmen des hier beschriebenen Projektes Untersuchungen im Bereich der „grauen Energie“ und der Umweltwirkungen des Gebäudes vorgenommen werden. Aufgrund der reduzierten Betriebsenergieverbräuche gewinnen Energieaufwendungen in der Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung von Baumaterialien und des Gebäudes an Gewicht (siehe Abb.149). Vor allem beim Plus-Energie-Haus-Standard gilt es, diesen Bereich detailliert zu untersuchen und zu optimieren, damit die Netto-Null- bzw. Netto-Plusenergiebilanz nicht durch im Betrieb unsichtbare Energieaufwendungen im Ganzen relativiert bzw. energetisch „teuer“ erkaufte wird. Ziel ist es, aus dem System Hinweise zur Anwendung der Ökobilanz im Planungsprozess abzuleiten und somit die Übertragbarkeit auf andere Projekte zu gewährleisten.



*) Definition BMVBS vom August 2011

Abb.149 Primärenergiebedarf von Wohngebäuden unterschiedlicher energetischer Standards (Betrachtungszeitraum 50 Jahre). Die Reduzierung des Wärmebedarf könnte bis 2020 mit dem "Nahezu Nullenergiehaus" der EU ihren Abschluss finden. Diese Gebäude werden ihren Energiebedarf für Heizung und Warmwasser sowie Hilfs- und Nutzerstrom im Jahresmittel selbst decken. Gebäude werden dann nahezu nur noch Primärenergiebedarf für die Konstruktion verbrauchen. Perspektivisch müssen demnach die Abschnitte des Lebenszyklus vor und nach der Nutzungsphase Einzug in die Bewertung von Gebäuden halten, soll der Ressourcenbedarf ganzheitlich erfasst und gemindert werden. Quelle: ina GmbH und FGee, TU Darmstadt

Eine Ökobilanz analysiert den Lebensweg eines Gebäudes. Die Ökobilanz bezieht sich dabei auf die potenziellen Umweltwirkungen (z.B. Nutzung von Ressourcen und Umweltauswirkungen von Emissionen) im Verlauf des Lebensweges eines Gebäudes und seiner Bauteile von der Rohstoffgewinnung über Herstellung, Instandhaltung, Betrieb, Entsorgung und Recycling bis zur endgültigen Beseitigung (d.h. ‚von der Wiege bis zur Bahre‘).

Zunächst werden alle Stoffmengen für die Konstruktion des Gebäudes sowie deren Nutzungsdauer im Gebäude erfasst. Gleiches gilt für die Energiemengen, die beim Betrieb des Gebäudes verbraucht werden. Die in dieser so genannten Sachbilanz

ermittelten Stoff- und Energiemengen werden im nächsten Schritt mit Ökobilanzdaten für die Herstellung und Entsorgung der Baustoffe bzw. die Nutzung der Gebäudetechnik (z.B. Betrieb der Heizung) verknüpft. Dafür werden die Daten aus der Ökobau.dat-Datenbank des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) verwendet. Durch die Verknüpfung der Stoff- und Energiemengen des Gebäudes mit den Ökobilanzdaten lassen sich die Umweltwirkungen eines Gebäudes in verschiedenen Wirkungskategorien darstellen (Wirkungsbilanz). Dies sind üblicherweise:

- Treibhauspotential – Beitrag zum Klimawandel (Erderwärmung)
- Ozonabbaupotential – Beitrag zum Abbau der Ozonschicht (Ozonloch)
- Ozonbildungspotential – Beitrag zur Sommersmogbildung
- Versauerungspotential – Beitrag zu saurem Regen / Waldsterben
- Eutrophierungspotential – Beitrag zur Überdüngung (Umkippen von Gewässern etc.)
- Primärenergiebedarf nicht erneuerbar – Verbrauch nicht erneuerbarer Primärenergie (z.B. Erdgas, Erdöl, Kohle)
- Primärenergiebedarf erneuerbar - Verbrauch erneuerbarer Primärenergie (z.B. Sonne, Wind, Biomasse)

Obwohl die unterschiedlichen Wirkungskategorien nicht direkt verglichen werden können, liegt der Fokus der Betrachtung in der Regel auf dem Treibhauspotential und dem Primärenergiebedarf nicht erneuerbar.

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wird eine Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040 / DIN EN 15978 von dem Gebäude erstellt. Dabei wird zum einen ein gleich großes Gebäude in Passivhausbauweise bilanziert und diesem anschließend die Ökobilanz des Plus-Energie-Hauses gegenübergestellt (Teil 1). Zum anderen wird die Planung unter ökologischen Aspekten (z.B. Baustoffwahl) optimiert (Teil 2). Ziel ist die Darstellung des Mehraufwands eines Plus-Energie-Hauses und die Amortisation dieses Mehraufwands durch den Betrieb des Gebäudes sowie die Nutzung der Methode Ökobilanz um die ökologischen Abhängigkeiten von Baustoffwahl und konstruktiven Entscheidungen im Planungsprozess aufzuzeigen.

7.2. Untersuchungsmethodik – Ökobilanzierung

Für das Aktiv-Stadthaus wird eine Ökobilanz der Gebäudekonstruktion und des Gebäudebetriebs gemäß dem von der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) beschriebenen Rechenverfahrens durchgeführt³⁸. Grundlagen waren der aktuelle Planstand, die vorliegende EnEV Berechnung und die Richtlinien des Förderprogramm „Effizienzhaus Plus“ des BMVBS³⁹.

Untersucht wird der gesamte Lebenszyklus der im Rahmen des Neubaus des Aktiv-Stadthauses verwendeten Baumaterialien von ihrer Herstellung über die Instandhaltung bis zur Entsorgung.

³⁸ Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen: Nutzungsprofil Neubau Wohngebäude 2012 (NW012), Kriterium ENV1.1 ‚Ökobilanz – Emissionsbedingte Umweltwirkungen‘, S.2ff. Stuttgart, 2012.

³⁹ Die Ermittlung des Haushaltsstroms erfolgte gemäß „Anlage 1: Wohnhäuser mit Plus-Energie Niveau - Definition und Berechnungsmethode“ für das „Förderprogramm für Modellprojekte im Effizienzhaus-Plus Standard“. Abrufbar im Internet. URL:

http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/70294/publicationFile/55553/anlage-1-definition_und_berechnungsgrundlage.pdf. Stand 30.5.2012.

Verwendet wird dafür das sogenannte „Vereinfachte Rechenverfahren“ das die Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen für die Ökobilanzierung von Gebäuden im Rahmen der Zertifizierung eingeführt hat. Für die Kostengruppen 300 und 400 nach DIN 276 werden folgende Bauteile berücksichtigt:

- (1) Außenwände und Kellerwände inklusive Fenster und Beschichtungen
- (2) Dach
- (3) Geschossdecken inkl. Fußbodenaufbau und -belägen / Beschichtungen
- (4) Bodenplatte inkl. Fußbodenaufbau und -belägen sowie Geschossdecken über Luft
- (5) Fundamente
- (6) Innenwände inklusive Beschichtungen sowie Stützen
- (7) Türen
- (8) Wärmeerzeugungsanlagen

Da dieses vereinfachte Verfahren zwar die Datenaufnahme erheblich vereinfacht, aber die Anschlüsse und bestimmte Bauteile vernachlässigt werden, wird das Gesamtergebnis mit dem Faktor 1,1 multipliziert.

Die Nutzungsdauer des Gebäudes wird gemäß den Vorgaben der DGNB mit 50 Jahren angenommen. Dabei handelt es sich um ein Szenario, das gewählt wird, um die Vergleichbarkeit aller untersuchten Gebäude zu gewährleisten. Alle Bauteile, deren Lebensdauer weniger als 50 Jahre beträgt, werden innerhalb des Gebäudelebenszyklus entsprechend ausgetauscht. Das bedeutet, dass die Umweltwirkungen für Herstellung und Entsorgung des Bauteils nochmals anfallen. Die Lebensdauer der Bauteile orientiert sich an den Vorgaben der Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach BNB“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)⁴⁰. Abweichungen von den Vorgaben des Leitfadens sind in der Sachbilanz gekennzeichnet und begründet.

Die Entsorgung der verwendeten Baumaterialien erfolgt getrennt nach Baustoffen entsprechend der heute üblichen Entsorgungsverfahren.

Für die Berechnung der Umweltwirkungen des Gebäudebetriebs (auf 50 Jahre bezogen) werden die Energieverbräuche für Strom und Wärme aus dem EnEV Nachweis entnommen sowie der Haushaltsstrom gemäß den Richtlinien zum „Effizienzhaus Plus“ berücksichtigt.

7.2.1. Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit gemäß DIN EN 15804 und entsprechend der Vorgaben der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), welche die Grundlage für die vorliegende Untersuchung darstellen, ist mit 1m^2 Nettogrundfläche (NGF) bezogen auf eine Nutzungsdauer von 50 Jahren festgelegt. Daraus ergeben sich die Flächen- und jahresbezogenen Umweltwirkungen über den Lebenszyklus für Konstruktion und Betrieb des Gebäudes. Für das Treibhauspotential bedeutet dies beispielsweise: $\text{kg CO}_2\text{-Äquivalent} / \text{m}^2_{\text{NGF}}\cdot\text{a}$.

⁴⁰ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach BNB. Abrufbar im internet. URL: <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebauededaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html>. Stand: 15.06.2012

7.2.2. Systemgrenzen

Bei der Definition der Systemgrenze für eine Ökobilanzierung wird der Produktlebenszyklus möglichst bis zu den Elementarflüssen untersucht. Auf der Inputseite bedeutet dies die Förderung bzw. Bereitstellung von Rohstoffen, sowohl für das Produkt als auch für die Gewinnung der notwendigen Energie. Auf der Outputseite die Emission von Stoffen in Luft, Boden oder Wasser sowie die Freisetzung von Energie (z.B. bei der thermischen Verwertung). Bei der vorliegenden Untersuchung war ebenfalls die Betrachtung bis zu den Elementarflüssen das Ziel, um eine möglichst ganzheitliche Betrachtung zu erhalten. Eine Beschreibung der In- und Outputs des Systems als Elementarflüsse findet sich in Kapitel „Sachbilanz“.

Produkte und Aufwendungen, die sich nur auf den Baustellenbetrieb beziehen werden nicht berücksichtigt. Transporte werden vernachlässigt. Der Wasserverbrauch im Gebäudebetrieb wird nicht abgebildet.

7.2.3. Datenkategorien

Nach DIN EN ISO 14040 sind mindestens folgende Datenkategorien in eine Ökobilanz zu erfassen: Energieinputs, Rohstoffinputs, Betriebsstoffinputs sowie sonstige physikalische Inputs, außerdem andere Produkte sowie Emissionen in Luft, Wasser und Boden und andere Umweltgesichtspunkte.

Die Aufnahme von In- und Outputs orientiert sich an den Vorgaben der DGNB. Entsprechend wurden für die folgenden Bauteilgruppen die In- und Outputs erhoben:

- (1) Außenwände und Kellerwände inklusive Fenster und Beschichtungen
- (2) Dach
- (3) Geschossdecken inkl. Fußbodenaufbau und -belägen / Beschichtungen
- (4) Bodenplatte inkl. Fußbodenaufbau und -belägen sowie Geschossdecken über Luft
- (5) Fundamente
- (6) Innenwände inklusive Beschichtungen sowie Stützen
- (7) Türen
- (8) Wärmeerzeugungsanlagen

Betrachtet wurden außerdem die Stromerzeugungsanlagen (Photovoltaik) am Gebäude.

7.2.4. Anforderungen an die Datenqualität

Die Anforderungen an die Datenqualität wurden ebenfalls von der DGNB übernommen.

Die Massenermittlung der Bauteile erfolgte auf Basis der Standardbauteilaufbauten und der jeweiligen Bauteilfläche. Diese Daten wurden aus den Planunterlagen⁴¹, der EnEV-Berechnung⁴² entnommen.

Als Datengrundlage für die Umweltwirkungen dient die Ökobau.dat Datenbank des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung⁴³. Diese stellt

⁴¹ Architekten: HHS Architekten, Kassel

⁴² Berechnung: TUD und EGS Plan

durchschnittliche Datensätze für ca. 650 Baumaterialien zur Verfügung. Lagen für die verwendeten Produkte spezifische Environmental Product Declarations (EPD) vor, zum Beispiel veröffentlicht beim Institut Bauen und Umwelt⁴⁴, so wurden diese verwendet.

Insgesamt wurde folgende Reihenfolge der Datenerhebung angestrebt und umgesetzt:

Verwendung von Ökobilanzdaten für konkrete eingesetzte Bauprodukte (z.B. EPD - Environmental Product Declarations)

wenn diese nicht verfügbar waren

Verwendung von durchschnittlichen Ökobilanzdaten aus der Ökobau.dat Datenbank

wenn diese nicht verfügbar waren

Verwendung von Datensätzen aus anderen Quellen (z.B. Literatur)

wenn diese nicht verfügbar waren

Abschätzung der Umweltwirkungen

Die erreichte Datenqualität kann insgesamt als gut bezeichnet werden. Ein Rückgriff auf Literaturdaten oder eine Abschätzung der Umweltwirkungen war für die Gebäudekonstruktion nicht notwendig. Lediglich wenn mehr produktspezifische EPDs vorhanden wären, hätte eine noch bessere Datenqualität erreicht werden können. Zum aktuellen Stand der Planung lagen allerdings für viele Bauteile noch keine konkreten Informationen zu den eingesetzten Produkten vor. Für die Photovoltaik lagen keine Daten aus der Ökobau.dat-Datenbank vor. Diese Daten wurden aus der GEMIS Datenbank entnommen. Da beide Datenbanken nicht die gleiche Grundlage haben, kann das Ergebnis im Bereich der Photovoltaik

7.2.5. Betrachtete Wirkungskategorien

Mit Abschluss der Sachbilanz liegt eine Vielzahl von Daten vor, deren Auswertung in der Regel in dieser Form nur schwer möglich ist. Im Rahmen der Wirkungsabschätzung werden die Sachbilanzdaten entsprechend ihrer potentiellen Wirkung auf die Umwelt so genannten Wirkungskategorien zugeordnet. Die Anzahl der Sachbilanzdaten reduziert sich auf die Anzahl der betrachteten Wirkungskategorien und ermöglicht eine bessere Interpretation der Ergebnisse. Ein Beispiel einer Wirkungskategorie ist das Treibhauspotential. Alle Emissionen, die einen Beitrag zum Treibhauseffekt liefern, werden dieser Kategorie zugeordnet und entsprechend ihrer potentiellen Wirkung aggregiert.

Mit der Auswahl der Wirkungskategorien beginnt die Wirkungsabschätzung. Dabei orientiert sich die Auswahl an der Zieldefinition bzw. der Festlegung des Untersuchungsrahmens. Der zweite Schritt innerhalb der Wirkungsabschätzung ist die Klassifizierung. Hier werden die einzelnen Sachbilanzdaten entsprechend ihrer

⁴³ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Ökobau.dat. April 2010. Abrufbar im internet. URL: <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html>. Stand: 18.10.2010

⁴⁴ Institut für Bauen und Umwelt (IBU). URL: <http://bau-umwelt.de>

Wirkung den einzelnen Kategorien zugeordnet. Durch diese Normierung auf unterschiedliche Wirkungskategorien, kann die Vielzahl der unterschiedlich wirksamen Stoffe auf eine überschaubare Zahl von Umweltwirkungen reduziert werden. Der Beitrag eines Stoffes zu mehreren Kategorien ist entsprechend bei allen Wirkungskategorien zu berücksichtigen. Im Rahmen der Charakterisierung wird jedem Stoff innerhalb der betrachteten Kategorie ein Potential zugeordnet und dieses der Wirkungskategorie angerechnet. Die potenzielle Wirkung eines Stoffes wird in Bezug zu einer maßgebenden Größe in der betrachteten Kategorie angegeben. Für die Wirkungskategorie „Treibhauspotential GWP“ ist diese maßgebende Größe z.B. 1kg CO₂-Äquivalent. Für alle Stoffe, die ebenfalls zur Zunahme des Treibhauseffekts beitragen, wird ihr Treibhauspotential entsprechend in kg CO₂-Äquivalent umgerechnet und angegeben. 1kg Methan hat beispielsweise ein Treibhauspotential von 21 kg CO₂-Äquivalent. Das heißt, 1 kg Methan trägt 21mal stärker zum Treibhauseffekt bei als 1kg CO₂.

Die Norm ISO 14040 legt sich nicht auf bestimmte Wirkungskategorien fest. Auf diese Weise ist es einfacher, zurzeit noch in der Entwicklung befindliche Wirkungskategorien zu integrieren. Es werden jedoch Anforderungen und Empfehlungen an die Auswahl der Wirkungskategorien ausgesprochen. Diese sind unter anderem:

- Übereinstimmung mit der Zieldefinition,
- umfassende Auswahl umweltbezogener Fragestellungen in Bezug auf das Produkt,
- eindeutige Referenzierung der Quellen,
- Erläuterung und Beschreibung der Kategorien und Wirkungsmechanismen,
- Begründung der Auswahl,
- internationale Akzeptanz der Wirkungskategorien ist erwünscht,
- keine „Doppelzählung“ derselben Wirkungen in mehreren Kategorien (z.B. Wirkungskategorie Versauerungspotential und Protoneneintrag als getrennte Kategorien).

Es ist zu erwähnen, dass die Methodik der Wirkungsabschätzung teilweise noch in der Phase der Entwicklung ist. Davon sind insbesondere die Toxizitätspotentiale sowie die Inanspruchnahme von Naturraum betroffen.

Für die vorliegende Untersuchung wurden folgende Wirkungskategorien betrachtet:

- Eutrophierungspotential (EP)
- Ozonabbaupotential (ODP)
- Photochemisches Oxidantienbildungspotential (POCP)
- Primärenergieinhalt, nicht erneuerbar (PEI n-ern.)
- Primärenergieinhalt, erneuerbar (PEI ern.)
- Treibhauspotential (GWP 100)
- Versauerungspotential (AP)

Diese entsprechen den Wirkungskategorien, die auch in einer DGNB Zertifizierung betrachtet werden.

Eutrophierungspotential (EP)

Die Eutrophierung beschreibt die Anreicherung von Nährstoffen an einem Standort innerhalb eines Ökosystems. Allgemein wird Eutrophierung als Überdüngung bezeichnet. Es wird zwischen terrestrischer und aquatischer Eutrophierung unterschieden.

Bei der Überdüngung von Böden kann man bei Pflanzen eine verstärkte Anfälligkeit gegenüber Schädlingen und Krankheiten feststellen. Ist im Boden mehr Stickstoff vorhanden, als für den Höchstertag notwendig, kommt es bei manchen Nutzpflanzen zu einer Anreicherung von Nitrat.

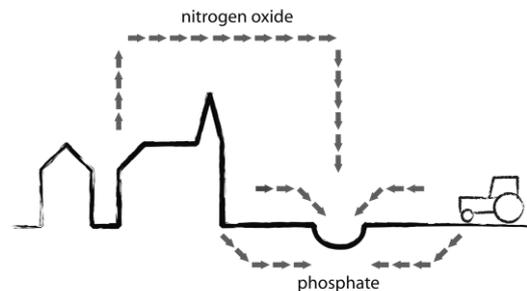


Abb.150 Schema Eutrophierungspotential (EP), Quelle: FGee, TU Darmstadt

Die Folge eines überhöhten Nährstoffeintrags in ein Gewässer ist ein erhöhtes Wachstum von Algen. Durch die Algenvermehrung dringt weniger Sonnenlicht zu den Pflanzen am Boden des Gewässers, wodurch diese weniger Photosynthese betreiben können und weniger Sauerstoff abgeben. Durch den geringen Sauerstoffanteil im Wasser sterben Fische und es kommt zu anaeroben Zersetzungsprozessen im Gewässer. Dabei werden unter anderem Schwefelwasserstoff und Methan frei. Man spricht von einem „Umkippen“ des Gewässers.

Die Eutrophierung wird durch anthropogene Einträge von Stickstoff und Phosphor beschleunigt. Diese Stoffe können aus verschiedenen Quellen kommen: Düngemittel, Verbrennungsmotoren (Stickoxide), Haushaltsabwasser (Waschmittel) sowie Industrieabfälle und -abwässer.

Das Eutrophierungspotential wird als Phosphat-Äquivalent (PO_4 -Äq.) dargestellt. Auch bei der Eutrophierung können die Effekte regional stark unterschiedlich sein.

Ozonabbaupotential (ODP)

Ozon (O_3) ist ein Spurengas in der Erdatmosphäre. Trotz einer sehr geringen Konzentration in der Erdatmosphäre absorbiert Ozon ultraviolette Strahlung (UV-B), die wiederum schädlich für Menschen und Ökosysteme ist. Durch bestimmte Stoffe (z.B. Halogenkohlenwasserstoffe) werden die Ozonmoleküle in der Atmosphäre zerstört und können so ihre schützende Funktion für das Ökosystem nicht mehr ausüben. Diese so genannten Katalysatormoleküle werden dabei nicht gebunden, so dass auch sehr geringe Konzentrationen bereits einen erheblichen Schaden in der Ozonschicht verursachen. Der Prozess wird erst gestoppt, wenn der Katalysator an andere langlebige Substanzen gebunden.

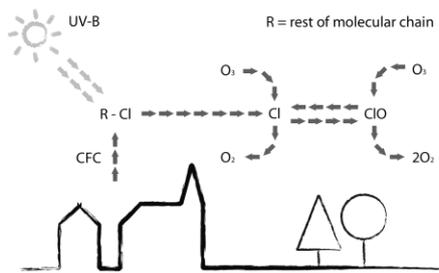


Abb.151 Schema Ozonabbau (ODP), Quelle: FGee, TU Darmstadt

Eine Verringerung der Ozonkonzentration in der Erdatmosphäre wird eine Reihe von negativen Folgen für das Ökosystem der Erde haben. Zu den erwarteten Folgen zählen z.B. Wuchsstörungen bei Pflanzen (und daraus resultierende Missernten), Tumorerkrankungen bei Menschen und Tieren (vor allem Hautkrebs und Augenerkrankungen) sowie eine Abnahme des Planktons mit erheblichen Folgen auf die Nahrungskette.

Der Ozonabbau ist ein globaler Effekt, dessen Auswirkungen allerdings jahreszeitabhängig und geographisch begrenzt auftreten.⁴⁵

Photochemisches Oxidantienbildungspotential (Bodennahe Ozonbildung - POCP)

Ozon (O_3) ist ein Spurengas der Erdatmosphäre. 90% des Gesamt Ozons befindet sich in der Stratosphäre (10 km – 50 km Höhe) und absorbiert dort die für das Leben auf der Erde gefährliche UV-B Strahlung. Ozonbildung in der darunter gelegenen Troposphäre wird dagegen als Sommersmog bezeichnet und wirkt in höheren Konzentrationen toxisch auf den Menschen.

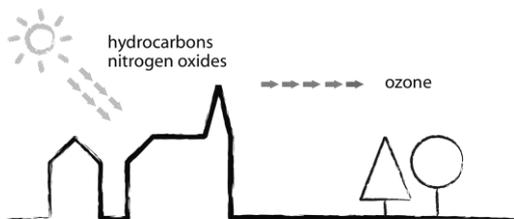


Abb.152 Schema bodennahe Ozonbildung (POCP), Quelle: FGee, TU Darmstadt

Bodennahes Ozon ist die Folge einer komplizierten Kette von chemischen Reaktionen, bei denen unter Einwirkung von Sonnenstrahlung aus Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen verschiedene Reaktionsprodukte entstehen. Stickoxide allein bewirken keine hohe Konzentration von Ozon. Der Prozess wird als photochemische Ozonbildung bezeichnet. Das Vorhandensein von Kohlenmonoxid (CO), zum Beispiel durch Autoverkehr verursacht, verringert den Ozonanteil in der Luft, da das gebildete Ozon unter gleichzeitiger Bildung von CO_2 zu O_2 reduziert wird. Deshalb

⁴⁵ Eyerer (1996), S. 221f.

treten hohe Ozonkonzentrationen eher in Reinluftgebieten (z.B. Wäldern) auf, in denen wenig CO vorhanden ist.

Kohlenwasserstoffe werden bei unvollständigen Verbrennungen und dem Umgang mit Ottokraftstoffen und Lösungsmitteln freigesetzt. Stickoxide entstehen ebenfalls bei Verbrennungen.

Das Photochemische Oxidationspotential wird als Ethen – Äquivalent (C_2H_4 -Äq.) angegeben. Es muss berücksichtigt werden, dass die tatsächliche Ozonkonzentration witterungsabhängig ist.

Primärenergieverbrauch nicht erneuerbar (PEI n.-ern.)

Der Energieerzeugung und -nutzung kommt sowohl in Bezug auf den ökologischen als auch in Bezug auf den ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeitsaspekt besondere Bedeutung zu. Diese Größe enthält aggregiert die Energieäquivalenzwerte der Ressourcen Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Erdgas und Uran. Die potenzielle Wirkung eines Stoffes für Verbrauch fossiler Energieträger wird in Megajoule (MJ) angegeben.

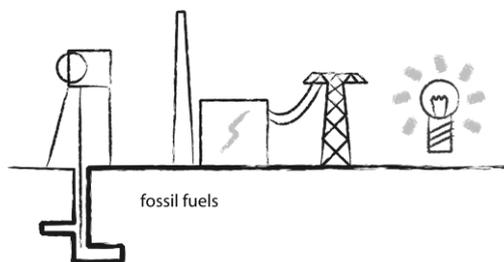


Abb.153 Schema Primärenergieinhalt nicht erneuerbar (PEI), Quelle: FGee, TU Darmstadt

Primärenergiebedarf erneuerbar (PEI ern.)

Analog zum Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEI n.-ern.) beschreibt diese Wirkungskategorie die Energieäquivalenzwerte der erneuerbaren Energieträger. Obwohl diese Energieträger erneuerbar sind, ist dennoch ein effizienter Umgang mit diesen Ressourcen notwendig, um möglichst schnell einen hohen Anteil erneuerbarer Energieträger an der Energieversorgung erreichen zu können. Diese Effizienz wird in der Wirkungskategorie „Primärenergiebedarf erneuerbar“ beschrieben.

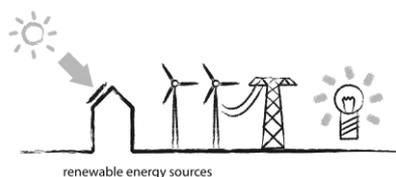


Abb.154 Schema Primärenergieinhalt erneuerbar, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Die beiden Wirkungskategorien Primärenergie bedarf erneuerbar und nicht erneuerbar werden in der Betrachtung zusammengefasst in der Wirkungskategorie „Gesamprimärenergiebedarf (PEI)“.

Treibhauseffekt (GWP – Global Warming Potential)

Der Treibhauseffekt beschreibt die Wechselwirkungen zwischen Sonneneinstrahlung und Erdatmosphäre, die sich in kleinem Maßstab am Wirkungsprinzip eines Treib- oder Gewächshauses nachvollziehen lassen.

Kurzwellige UV- und Lichtstrahlung durchdringen beinahe ungehindert die transparente Hülle des Treibhauses. Im Inneren wird die Strahlung beim Auftreffen auf den Boden oder sich im Raum befindliche Gegenstände in langwellige Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) umgewandelt. Die Infrarotstrahlung kann den Raum jedoch nicht mehr ungehindert verlassen, da sie die transparenten Bauteile nicht mehr direkt durchdringen kann. Infolge dieses Effektes erwärmt sich das Treibhaus.

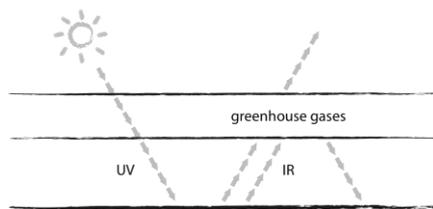


Abb.155 Schema Treibhauseffekt (GWP), Quelle: FGee, TU Darmstadt

Der beschriebene Effekt ist auch in globalem Maßstab zu beobachten. Bestimmte Spurengase in der Erdatmosphäre übernehmen hierbei die Rolle der transparenten Treibhausverglasung. Auch sie lassen die kurzwellige UV- und Lichtstrahlung ungehindert in die Erdatmosphäre eindringen. Diese UV- und Lichtstrahlung wird beim Auftreffen auf die Erdatmosphäre in langwellige Infrarotstrahlung umgewandelt. Die Spurengase in der Erdatmosphäre verhindern, dass die Infrarotstrahlung ungehindert ins Weltall abgestrahlt wird.

Ohne diesen „natürlichen Treibhauseffekt“ läge die durchschnittliche Temperatur auf der Erdoberfläche bei ca. -18°C . Auf Grund der sich in der Atmosphäre befindlichen Spurengase wird die Temperatur bei durchschnittlich $+15^{\circ}\text{C}$ gehalten.

Beispiele für solche Spurengase sind Wasserdampf (H_2O) und Kohlendioxid (CO_2).

Durch menschliche Aktivitäten (z.B. Verbrennungsprozesse) auf der Erde werden zusätzliche, so genannte anthropogene Treibhausgase wie z.B. Kohlendioxid, Methan oder FCKW freigesetzt. Diese Gase erfüllen in der Atmosphäre die gleiche Aufgabe wie die schon vorhandenen Spurengase und sorgen somit für einen zusätzlichen Treibhauseffekt, der wiederum für eine Erwärmung der Atmosphäre sorgt.

Der durch ein bestimmtes Treibhausgas ausgelöste Temperaturanstieg ist nicht genau bekannt und unterscheidet sich je nach benutztem Modell. Entscheidende Größen sind die Absorptionseigenschaften der Gase und Lebenszeit der Moleküle in der Atmosphäre.

Das Treibhauspotential eines Stoffes wird in Kohlendioxid - Äquivalent (CO_2 - Äq.) angegeben. Alle Emissionen werden bezüglich ihres potentiellen Treibhauseffektes zu CO_2 ins Verhältnis gesetzt. Da die Verweildauer der Gase in der Atmosphäre berücksichtigt werden muss, wird der betrachtete Zeitraum immer mit angegeben. Dieser ist üblicherweise auf 100 Jahre normiert.

Versauerung

Beschreibt die Versauerung von Böden und Gewässern durch die Umwandlung von Luftschadstoffen in Säuren.

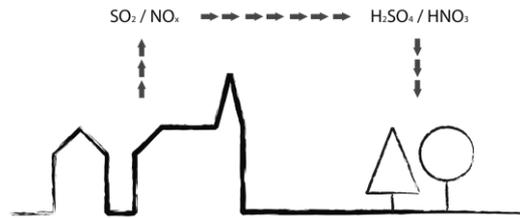


Abb.156 Schema Versauerung (AP), Quelle: FGee, TU Darmstadt

Hauptverursacher sind Schwefeldioxid und Stickoxide mit ihren jeweiligen Säuren (H_2SO_4 und HNO_3). Diese Gase entstehen bei Verbrennungsprozessen in Kraftwerken, in der Industrie, Haushalten, Kleinverbrauchern und durch Autoverkehr.

Die Auswirkungen der Versauerung können höchst unterschiedlich ausfallen. Es wird unterschieden zwischen den Auswirkungen auf Gebäude, Vegetation, Böden, Gewässer und den Menschen. Anschauliches Beispiel für den Ablauf und die Auswirkungen von Versauerung sind der saure Regen und das Waldsterben.

Das Versauerungspotential eines Produktes wird in Schwefeldioxid – Äquivalent (SO_2 -Äq.) angegeben. Alle Emissionen werden bezüglich ihrer potentiellen Versauerung zu SO_2 ins Verhältnis gesetzt. Die Fähigkeit bestimmter Stoffe H^+ - Ionen zu bilden und abzugeben wird als Versauerungspotential bezeichnet (Baumbach 1992). Bei der Versauerung handelt es sich zwar theoretisch um ein globales Problem, allerdings können die Auswirkungen regional unterschiedlich ausfallen.

7.3. Vergleichende Ökobilanz von Passiv- und Plus-Energie-Haus

Bei der vergleichenden Ökobilanz wird das Aktiv-Stadthaus mit einem gleichgroßen Passivhaus sowie dem DGNB Referenzgebäude verglichen.

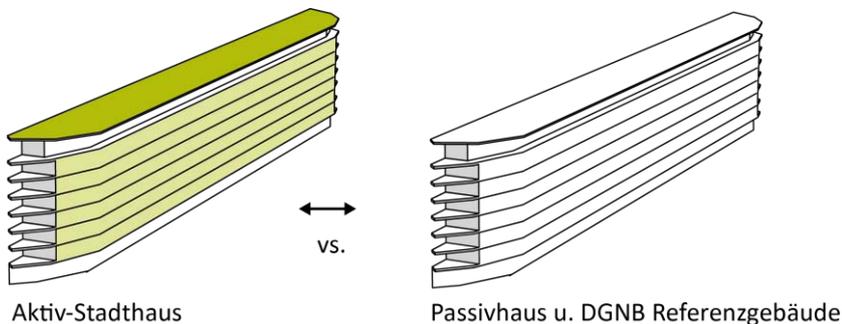


Abb.157 Vergleichende Ökobilanz zwischen dem Aktiv-Stadthaus und einem gleichgroßen Passivhaus sowie dem DGNB Referenzgebäude; Quelle: FGee, TU Darmstadt

7.3.1. Ziel und Untersuchungsrahmen

Ziel der Studie

Für die vergleichende Ökobilanz von Passiv- und Plus-Energie-Haus wird das Gebäude in beiden Varianten untersucht. Dazu wird zunächst die Konstruktion des Gebäudes als Passivhaus bilanziert, die als Grundlage für beide Varianten dient. Im Anschluss wird für diese Konstruktion eine „konventionelle“ Gebäudetechnik, wie sie normalerweise in einem Passivhaus zum Einsatz kommt, bilanziert. Dieses Passivhaus wird in der Nutzungsphase immer noch einen Energieverbrauch aufweisen. Die resultierende Ökobilanz eines Passivhauses dient als Referenz für die anschließende Bilanz des Plus-Energie-Hauses. Für das Plus-Energie-Haus wird die gleiche Baukonstruktion angenommen und um die energiegewinnende Technik des zu errichtenden Plus-Energie-Gebäudes ergänzt. Das Plus-Energie-Haus wird während der Nutzungsphase mehr Energie erzeugen, als es selbst verbraucht.

Untersuchungsrahmen

Für die Ökobilanzierung werden die im Zertifizierungssystem der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) bzw. in Bewertungssystem nachhaltiges Bauen (BNB) des BMVBS beschriebenen Verfahren verwendet. Diese orientieren sich im Wesentlichen an den Vorgaben aus der DIN EN ISO 14040 bzw. der DIN EN 15978.

Funktionelle Einheit

Für die Gegenüberstellung der Ergebnisse werden diese auf $1\text{m}^2_{\text{NGF}} \cdot \text{a}$ normalisiert dargestellt.

Siehe auch „7.2.1 Funktionelle Einheit“

Systemgrenzen

Als Nutzungsdauer des Gebäudes werden 50 Jahre angenommen. Entsprechend werden die Austauschzyklen von Baukonstruktion und Gebäudetechnik auf diese Lebensdauer abgestimmt und in der Ökobilanz berücksichtigt. Die durchschnittlichen Lebensdauern der Bauteilschichten werden der Tabelle „Nutzungsdauern von

Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)“ entnommen⁴⁶.

Siehe auch „7.2.2 Systemgrenzen“

Datenkategorien

Bauteilaufbauten und Massenermittlung erfolgen auf Basis der realen Planung von HHS Planer + Architekten AG. Für die Ökobilanz wird das sogenannte vereinfachte Verfahren nach DGNB / BNB System verwendet⁴⁷. Eine eventuell notwendige Detaillierung im Bereich der Gebäudetechnik (Photovoltaik) wurde ergänzend vorgenommen.

Datengrundlage für die Ökobilanzdaten der Baustoffe, der Gebäudetechnik und des Gebäudebetriebs ist die Ökobau.dat des BMVBS⁴⁸. Für die Gebäudetechnik, insbesondere die Photovoltaikanlage, müssen zudem weitere Datenquellen herangezogen werden. Dabei handelt sich um Daten aus der GEMIS Datenbank zur Abschätzung der Umweltwirkungen der Photovoltaik.

Die resultierenden Energieverbräuche bzw. die Energieerzeugung werden auf Basis der projektbegleitenden Berechnungen mit dem Passivhausprojektierungspaket (PHPP) berücksichtigt. Der Energieüberschuss des Plus-Energie-Hauses wird als Gutschrift mit dem deutschen Strom-Mix verrechnet.

Siehe auch „7.2.3 Datenkategorien“

Anforderungen an die Datenqualität

Durch die uneinheitliche Datengrundlage (Ökobau.dat, GEMIS) wird die Datenqualität negativ beeinflusst. Allerdings würde das Ergebnis durch die Nichtbeachtung der Herstellung der Photovoltaik vermutlich deutlicher stärker verzerrt.

Siehe „7.2.4 Anforderungen an die Datenqualität“

7.3.2. Sachbilanz

Die Durchführung der Sachbilanz erfolgt nach den Vorgaben des Nutzungsprofils „Neubau Wohngebäude >6WE“ in der Version 2010 (NWO10). Es wird das vereinfachte Verfahren verwendet, in die Ergebnisse der Wirkungsbilanz der Gebäudekonstruktion wird dementsprechend ein Aufschlag von 10% eingerechnet.

Siehe dazu auch „7.2 Untersuchungsmethodik – Ökobilanzierung“

⁴⁶ BBSR: Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). 3.1.2011. URL: http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauedaten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2011-11-03.pdf. Stand: 5.4.2012

⁴⁷ Eine ausführliche Beschreibung des vereinfachten Verfahrens ist u.a. der Beschreibung des Kriteriums „Treibhauspotential“ des BNB Systems zu finden. URL: http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/BNB_Steckbriefe_Buero_Neubau/aktuell/BNB_BN_111.pdf. Stand 5.4.2012.

⁴⁸ Weitere Informationen unter: <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebauedaten/oekobaudat.html>. Stand 5.4.2012.

Ansatz Photovoltaik

Für die Herstellung und Entsorgung der Photovoltaik Module liegen in der verwendeten Datenbank (Ökobau.dat 2011) keine Datensätze vor. Um die Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung der Photovoltaik dennoch zu berücksichtigen, wurde auf Daten aus anderen Quellen zurückgegriffen.

Für die monokristalline Hochleistungs-PV, die auf dem Dach verwendet wird, wurde der Datensatz „Solar-PV-mono-Rahmen-mit-Rack-DE-2010“ aus der GEMIS Datenbank (GEMIS 4.7) verwendet.

Für die Dünnschicht PV, die in der Fassade eingesetzt wird, wurden Daten aus der Untersuchung „Solar-PV-amorph-Rahmen-o.Rack-ES-2005“ aus der GEMIS Datenbank verwendet.

In beiden Datenquellen lagen die notwendigen Informationen nicht für alle Wirkungskategorien vor. Nachfolgend sind in der Wirkungsbilanz daher nur die Wirkungskategorien „Primärenergiebedarf nicht erneuerbar“, „Treibhauspotential“ und „Versauerungspotential“ dargestellt. Für diese Wirkungskategorien lagen auch für die Photovoltaik Daten vor.

E-Mobilität

Die Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung der Elektrofahrzeuge für das Gebäude liegt außerhalb der Systemgrenze und ist in der vorliegenden Ökobilanz daher nicht berücksichtigt. Es wurde ein Referenzszenario für die Mobilität entwickelt, bei welcher der überschüssige Strom zum Betrieb der Elektrofahrzeuge verwendet und nicht in das Stromnetz eingespeist wird.

In der Berechnung wird angenommen, dass der in der Jahresbilanz anfallende und nicht vom Gebäudebetrieb selbst verbrauchte Strom vollständig in die Elektrofahrzeuge eingespeist wird. Die Elektrofahrzeuge legen mit diesem Strom ca. 80.000 km im Jahr zurück. Diese Fahrleistung erzeugt keine zusätzlichen Emissionen, da die verwendete Energie durch die PV am Aktiv-Stadthaus bereitgestellt wird.

In den beiden Referenzgebäuden (Passivhaus und DGNB Referenzgebäude) steht dieser Überschuss an Strom nicht zur Verfügung und kann daher auch nicht für die Mobilität der Bewohner genutzt werden. Die Bewohner sind im angenommenen Szenario weiterhin auf konventionelle, also benzinbetriebene, Automobile angewiesen⁴⁹. Um die gleiche Fahrleistung von 80.000 km zurückzulegen, wird Benzin verbrannt und Emissionen verursacht. Für die Darstellung der durchschnittlichen Emissionen wurde der Datensatz „09.4.01 PKW (Benzin) EURO 4“ aus der Ökobau.dat verwendet.

Die über die angesetzte Fahrleistung hinausgehende Mobilität der Bewohner ist in dieser Berechnung nicht berücksichtigt. Da auch die Bewohner des Aktiv-Stadthauses auf konventionelle Fahrzeuge zurückgreifen müssen, um größere Fahrleistungen zu erbringen, werden sich die beiden Gebäude hier gleich verhalten.

⁴⁹ Annahme PKW (Benzin) Euro 4 aus Ökobau.dat Datenbank

7.3.3. Wirkungsbilanz

In der Wirkungsbilanz werden exemplarisch die Ergebnisse der Wirkungskategorien Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEI n.-ern.), Treibhauspotential (GWP) und Versauerungspotential (AP) dargestellt. Die Darstellung erfolgt zunächst für die Gebäudekonstruktion (Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung; Betrachtungszeitraum 50 Jahre) und anschließend unter Berücksichtigung des Gebäudebetriebs (ebenfalls über 50 Jahre).

Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEI n.-ern.) der Gebäudekonstruktion

Der Verbrauch nicht erneuerbarer Primärenergieträger wird beim Aktiv-Stadthaus von der Herstellung der Photovoltaikanlagen in Dach und Fassade (enthalten in Kostengruppe „440 Stromanlagen“) stark beeinflusst. Im Vergleich zu einem Passivhaus mit gleicher Baukonstruktion (Kostengruppe 300) liegt der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf der Gebäudekonstruktion beim Aktiv-Stadthaus fast doppelt so hoch. Durch die Verwendung der Photovoltaik als Verkleidung der Gebäudehülle ist lediglich der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf der Kostengruppe „330 Außenwände“ beim Aktiv-Stadthaus etwas geringer als beim Passivhaus.

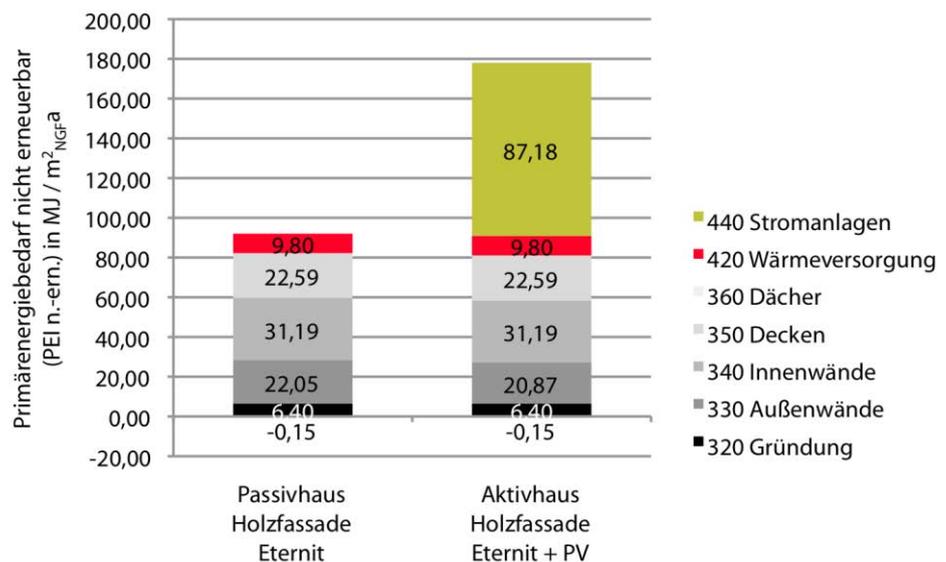


Abb.158 Vergleich des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs (PEI n.-ern.) der Gebäudekonstruktion für die Ausführung des Aktiv-Stadthaus als Passiv- (links) und als Aktivhaus (rechts), Quelle: FGee, TU Darmstadt

Treibhauspotential (GWP) der Gebäudekonstruktion

Analog zum nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf hat das Aktiv-Stadthaus ein deutlich höheres Treibhauspotential (+60%) als ein Passivhaus gleicher Form, Größe und Ausrichtung. Wie beim nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf hat auch beim Treibhauspotential die Herstellung der verwendeten Photovoltaik einen Anteil von mehr als einem Drittel an den Gesamtemissionen.

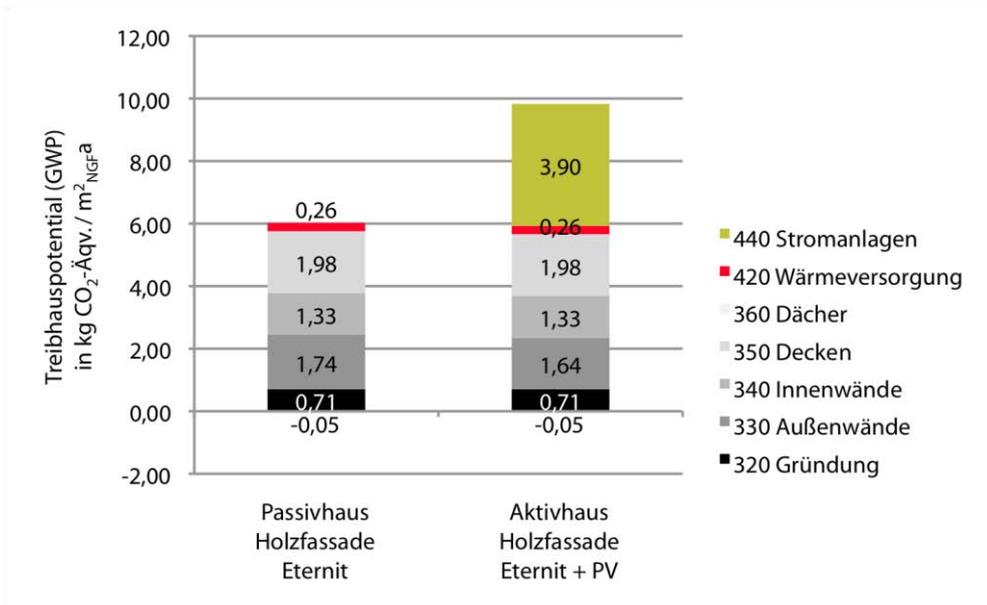


Abb.159 Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) der Gebäudekonstruktion für die Ausführung des Aktiv-Stadthaus als Passiv- (links) und als Aktivhaus (rechts), Quelle: FGee, TU Darmstadt

Beim Aktivhaus Konzept wird ein Teil der Fassade durch die Photovoltaikmodule ersetzt. Dadurch sinkt das Treibhauspotential der Kostengruppe „300 Außenwände“ gegenüber einem Passivhauskonzept. Die Herstellung der notwendigen Photovoltaik verursacht wiederum einen erheblichen Beitrag zum Treibhauspotential.

Versauerungspotential (AP) der Gebäudekonstruktion

Das Versauerungspotential (AP) der Gebäudekonstruktion wird ebenfalls stark durch die Herstellung der Photovoltaik beeinflusst. Der Anteil der PV liegt bei deutlich mehr als einem Drittel des gesamten Versauerungspotentials.

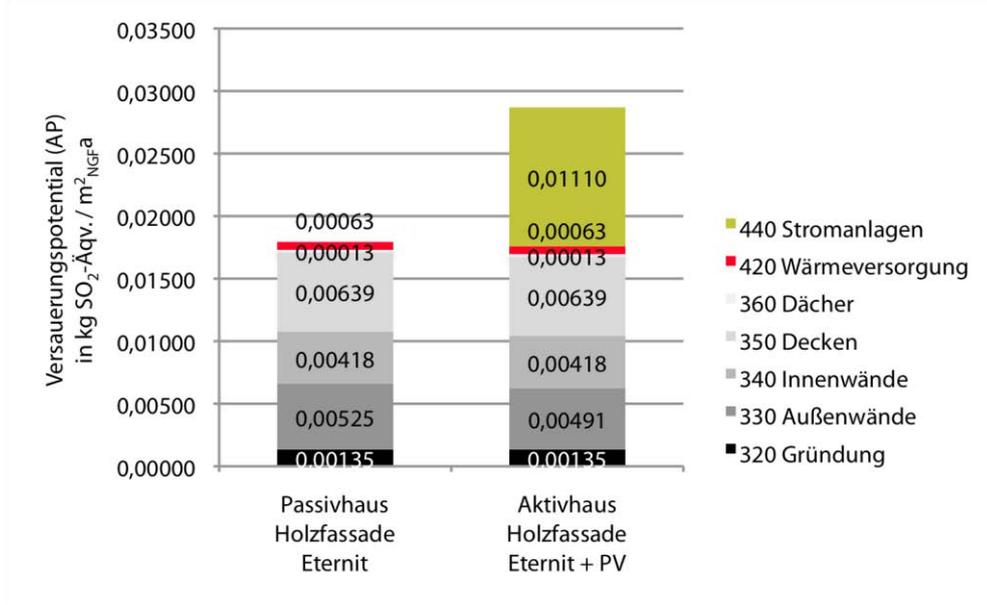


Abb.160 Vergleich des Versauerungspotentials (AP) der Gebäudekonstruktion für die Ausführung des Aktiv-Stadthaus als Passiv- (links) und als Aktivhaus (rechts), Quelle: FGee, TU Darmstadt

Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEI n.-ern.) der Gebäudekonstruktion und des Gebäudebetriebs

Wird die Ökobilanz des Gebäudes unter Berücksichtigung der Gebäudekonstruktion und des Gebäudebetriebs über 50 Jahre betrachtet, hat das Aktiv-Stadthaus im Vergleich zum Passivhaus und zum DGNB Referenzgebäude den niedrigsten nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf. Der hohe Primärenergiebedarf der Gebäudekonstruktion wird im Betrieb mehr als ausgeglichen. Durch die Eigenproduktion von Strom im Gebäude wird keine nicht erneuerbare Primärenergie im Betrieb verbraucht. Im Gegenteil: durch die Überproduktion von Strom (positive Endenergiebilanz) wird nicht erneuerbar hergestellter Strom im Stromnetz ersetzt. Diese Substitution wird dem Aktiv-Stadthaus gutgeschrieben. Über die gesamte Nutzungsdauer hat der Gebäudebetrieb somit eine leicht negative Primärenergiebilanz (-5,43 MJ/m²_{NGF a}).

Im Vergleich zum Aktiv-Stadthaus haben ein vergleichbares Passivhaus oder das DGNB Referenzgebäude zwar einen geringeren Primärenergiebedarf in der Gebäudekonstruktion, dafür aber deutliche Primärenergiebedarfe im Gebäudebetrieb. Dazu kommen noch die Emissionen durch die Mobilität der Bewohner, die beim Aktiv-Stadthaus durch die Elektromobilität gedeckt sind. Das Aktivhaus spart gegenüber dem Passivhaus ca. 60 % der Primärenergie ein und gegenüber dem DGNB Referenzgebäude sogar 71 %.

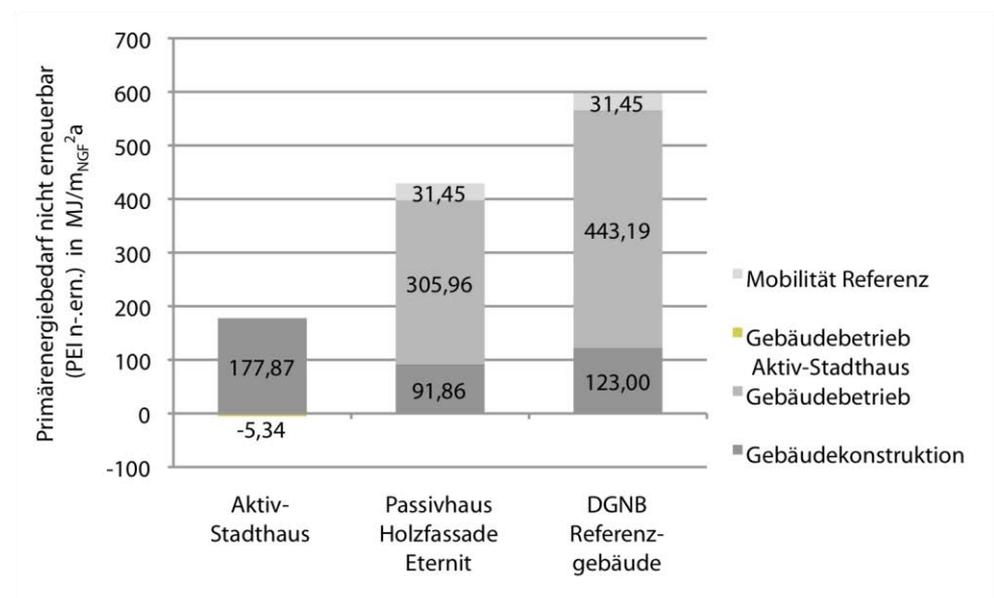


Abb.161 Vergleich des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs (PEI n.-ern.) des Aktiv-Stadthauses (links) mit der Ausführung als Passivhaus ohne energiegewinnende Systeme und dem DGNB Referenzgebäude, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Treibhauspotential (GWP) der Gebäudekonstruktion und des Gebäudebetriebs

Analog zum nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf haben auch beim Treibhauspotential (GWP) das Passivhaus und das DGNB Referenzgebäude unter Berücksichtigung des Gebäudebetriebs die deutlich höheren CO₂ äquivalenten Emissionen als das Aktiv-Stadthaus. Das Aktivhaus spart gegenüber dem Passivhaus ca. 65 % der CO₂ äquivalenten Emissionen ein und gegenüber dem DGNB Referenzgebäude sogar 78 %. Im Vergleich haben Konstruktion und Betrieb des Aktiv-Stadthauses über 50 Jahre ungefähr die gleichen Treibhausgasemissionen, die beim DGNB Referenzgebäude allein durch die Gebäudekonstruktion anfallen.

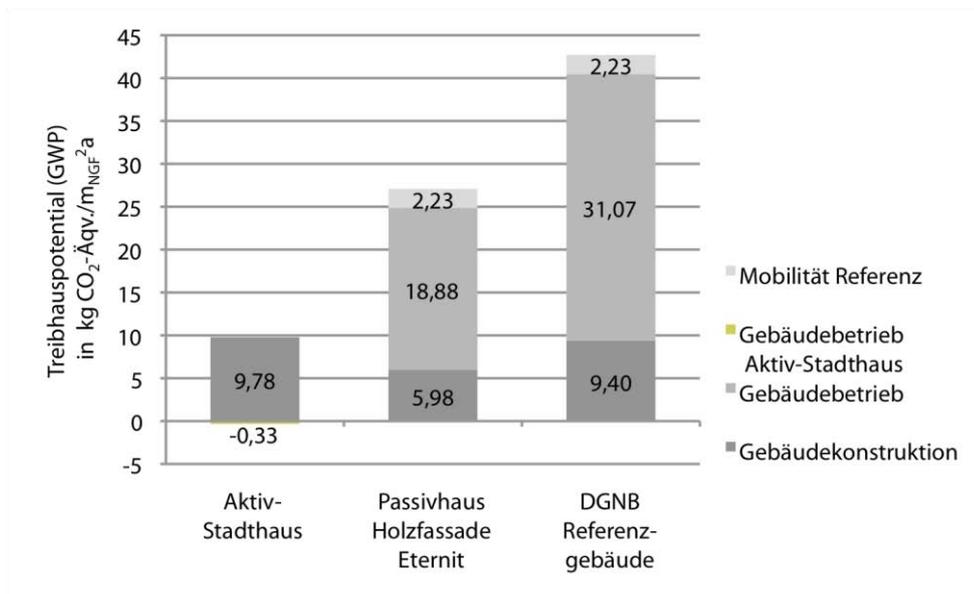


Abb.162 Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) des Aktiv-Stadthauses (links) mit der Ausführung als Passivhaus ohne energiegewinnende Systeme und dem DGNB Referenzgebäude, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Versauerungspotential (AP) der Gebäudekonstruktion und des Gebäudebetriebs

Wie beim nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf und beim Treibhauspotential haben auch beim Versauerungspotential (AP) das Passivhaus und das DGNB Referenzgebäude unter Berücksichtigung des Gebäudebetriebs die deutlich höheren SO₂ äquivalenten Emissionen als das Aktiv-Stadthaus. Das Aktivhaus spart gegenüber dem Passivhaus ca. 52 % der SO₂ äquivalenten Emissionen ein und gegenüber dem DGNB Referenzgebäude sogar 78 %. Im Vergleich haben Konstruktion und Betrieb des Aktiv-Stadthauses über 50 Jahre ein geringeres Versauerungspotential als die Gebäudekonstruktion des DGNB Referenzgebäudes.

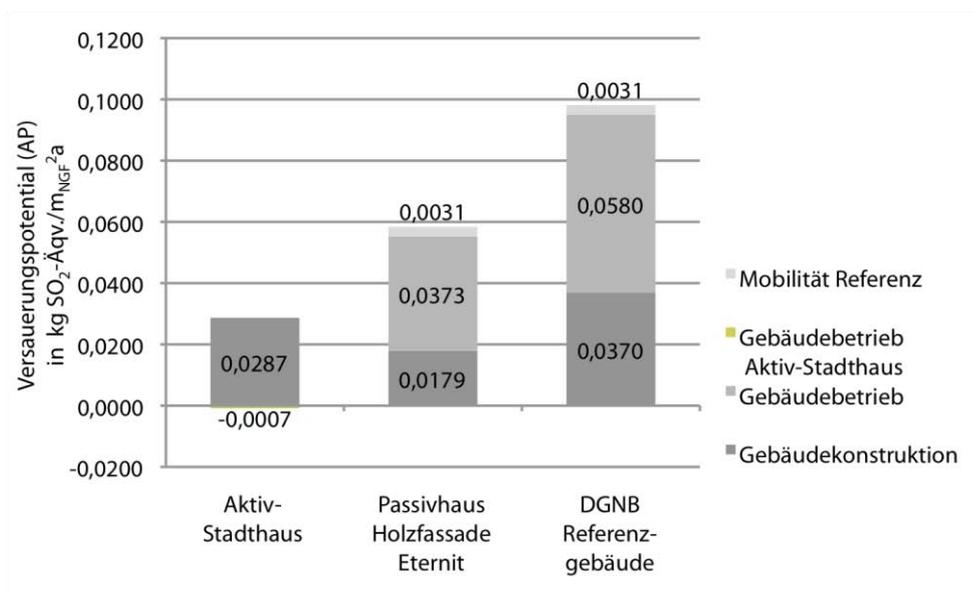


Abb.163 Vergleich des Versauerungspotentials (AP) des Aktiv-Stadthauses (links) mit der Ausführung als Passivhaus ohne energiegewinnende Systeme und dem DGNB Referenzgebäude, Quelle: FGee, TU Darmstadt

7.3.4. Auswertung

Die vergleichende Ökobilanz des Aktiv-Stadthauses mit einem Passivhaus gleicher Größe und Ausrichtung sowie einem DGNB Referenzgebäude zeigt die Umweltwirkungen von Plus-Energie-Häusern.

Durch die eingesetzte, Energie erzeugende Technik haben Plus-Energie-Häuser in den betrachteten Wirkungskategorien signifikant höhere Umweltwirkungen bei der Gebäudekonstruktion (Herstellung, Instandhaltung, Entsorgung). Diese höheren Umweltwirkungen werden durch die nicht vorhandenen Emissionen im Gebäudebetrieb kompensiert. Dies gilt für alle betrachteten Wirkungskategorien.

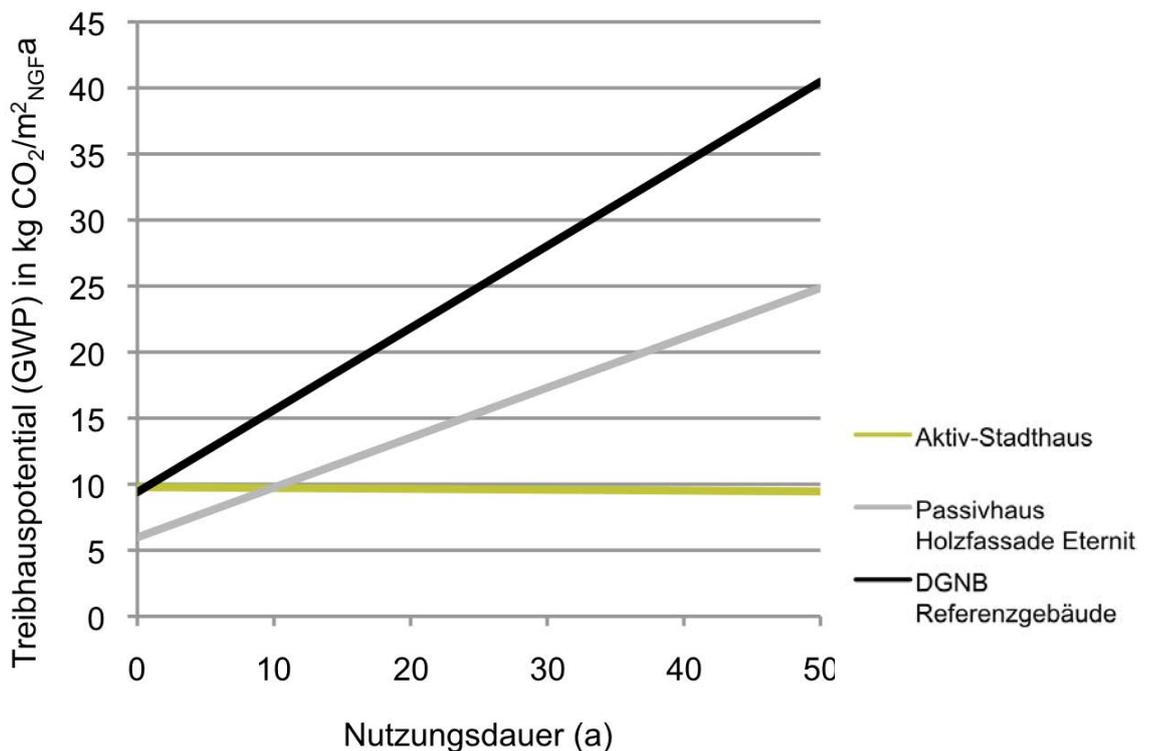


Abb.164 Entwicklung des Treibhauspotentials (GWP) aus Gebäudekonstruktion und -betrieb über 50 Jahre., Quelle: FGee, TU Darmstadt

Durch das leicht negative Treibhauspotential im Gebäudebetrieb werden die höheren Emissionen aus der Gebäudekonstruktion gegenüber dem DGNB Referenzgebäude nach ca. einem Jahr und gegenüber dem Passivhaus nach ca. 10 Jahren kompensiert.

Das Aktiv-Stadthaus zeigt somit das ökologische Potential von Plus-Energie-Häusern gegenüber Gebäuden nach EnEV 2009 Standard (DGNB Referenzgebäude) und Passivhäusern. Hinsichtlich der Gebäudekonstruktion ergibt sich die Verteilung auf die Bauteile aus den statischen Erfordernissen und der besonderen Geometrie des Gebäudes. Eine weitergehende Reduzierung wäre nur mit vollkommen anderen Konstruktionen und dementsprechend geringer Grundstücksnutzung möglich.

Die vorliegenden Ergebnisse unterliegen einer gewissen Unschärfe, die sich aus den verwendeten, unterschiedlichen Datenquellen ergibt. Es ist aber davon auszugehen, dass sie in der Tendenz die Umweltwirkungen richtig darstellen. Des Weiteren sind die Ergebnisse, ebenfalls auf Grund der Datengrundlage, auf die dargestellten

Wirkungskategorien beschränkt. Die Ergebnisse anderer Wirkungskategorien können dementsprechend abweichen und sind ggf. sogar gegenläufig.

7.4. Optimierung der Planung unter ökologischen Aspekten

Die Optimierung der Planung unter ökologischen Aspekten erfolgt planungsbegleitend. Dabei werden sowohl konstruktive Alternativen als auch die Aufbauten einzelner Bauteile miteinander verglichen.

7.4.1. Ziel und Untersuchungsrahmen

Ziel der Studie

Auf Grund der Form und Größe des Gebäudes ergeben sich zwei grundsätzliche konstruktive Alternativen, die untersucht werden:

1. Außenwände tragend ausgeführt bei einer möglichst großen Flexibilität im Innenraum
2. Tragende Schotten ergänzt um einen nicht tragende Holzfassade.

Die oben beschriebene Untersuchung konstruktiver Alternativen erfolgt unter Einbeziehung der unterschiedlichen Bauteilaufbauten von Außen- und Innenwänden. Um das gleiche Erscheinungsbild zu gewährleisten, ist bei beiden untersuchten Konstruktionsarten eine hinterlüftete Fassade als Gebäudeabschluss vorgesehen.

Untersuchungsrahmen

Für die Ökobilanzierung werden die im Zertifizierungssystem der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) bzw. in Bewertungssystem nachhaltiges Bauen (BNB) des BMVBS beschriebenen Verfahren verwendet. Diese orientieren sich im Wesentlichen an den Vorgaben aus der DIN EN ISO 14040 bzw. der DIN EN 15978.

Funktionelle Einheit

Für die Gegenüberstellung der Ergebnisse werden diese auf $1\text{m}^2_{\text{NGF}} \cdot \text{a}$ normalisiert dargestellt.

Siehe auch „7.2.1 Funktionelle Einheit“

Systemgrenzen

Als Nutzungsdauer des Gebäudes werden 50 Jahre angenommen, entsprechend werden die Austauschzyklen von Baukonstruktion und Gebäudetechnik auf diese Lebensdauer abgestimmt und in der Ökobilanz entsprechend berücksichtigt. Die durchschnittlichen Lebensdauern der Bauteilschichten werden der Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)“ entnommen⁵⁰.

Siehe auch „7.2.2 Systemgrenzen“

⁵⁰ BBSR: Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). 3.1.2011. URL:

http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauedaten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2011-11-03.pdf. Stand: 5.4.2012

Datenkategorien

Bauteilaufbauten und Massenermittlung erfolgen auf Basis der realen Planung von HHS Planer + Architekten AG. Für die Ökobilanz wird das sogenannte vereinfachte Verfahren nach DGNB / BNB System verwendet⁵¹.

Siehe auch „7.2.3 Datenkategorien“

Anforderungen an die Datenqualität

Siehe „7.2.4 Anforderungen an die Datenqualität“

7.4.2. Sachbilanz

Die Durchführung der Sachbilanz erfolgt nach den Vorgaben des Nutzungsprofils „Neubau Wohngebäude >6WE“ in der Version 2010 (NWO10). Es wird das vereinfachte Verfahren verwendet, in die Ergebnisse der Wirkungsbilanz der Gebäudekonstruktion wird dementsprechend ein Aufschlag von 10 % eingerechnet.

Die unterschiedlichen Außenwandkonstruktionen sind wie folgt aufgebaut:

Baustoff	Menge	Einheit	Nutzungsdauer
Innenwandfarbe	1,00	m2	15
Gipsputz	1,50	cm	50
Kalksandstein	24,00	cm	50
Mörtel KS-Wand	1,00	m2	50
Mineralwolle-Dämmung	24,00	cm	50
Unterkonstruktion (Aluminiumprofil)	0,36	cm	50
Fassadenplatte	0,80	cm	50

Abb.165 Aufbau Außenwand Variante "Passivhaus KS + Eternit", Quelle: FGee, TU Darmstadt

Baustoff	Menge	Einheit	Nutzungsdauer
Gipskartonplatte	1,00	m2	15
Unterkonstruktion	1,20	m2	50
Mineralwolle-Dämmung	0,01	cm	50
OSB Platte	1,00	cm	50
Steinwolle	1,50	cm	50
Holzständer	24,18	cm	50
Unterkonstruktion (Aluminiumprofil)	0,12	cm	50
Fassadenplatte	0,80	cm	50

Abb.166 Aufbau Außenwand Variante "Passivhaus Holzfassade Eternit", Quelle: FGee, TU Darmstadt

Beide Außenwandaufbauten sind hinsichtlich ihres U-Wertes vergleichbar.

⁵¹ Eine ausführliche Beschreibung des vereinfachten Verfahrens ist u.a. der Beschreibung des Kriteriums

„Treibhauspotential“ des BNB Systems zu finden. URL:

http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/BNB_Steckbriefe_Buero_Neubau/aktuell/BNB_BN_111.pdf.

Stand 5.4.2012.

Im Bereich Gebäudetechnik wird lediglich der Wärmeerzeuger berücksichtigt. In diesem Teil der Untersuchung werden aktive Technologien nicht betrachtet, sondern lediglich die Baukonstruktion (Kostengruppe 300) untersucht.

Siehe dazu auch „7.2 Untersuchungsmethodik – Ökobilanzierung“

7.4.3. Wirkungsbilanz

In der Wirkungsbilanz werden die Ergebnisse für alle in Kapitel 7.3.3 beschriebenen Wirkungskategorien dargestellt. Die Darstellung erfolgt zunächst für die Gebäudekonstruktion (Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung; Betrachtungszeitraum 50 Jahre) und anschließend unter Berücksichtigung des Gebäudebetriebs (ebenfalls über 50 Jahre).

Eutrophierungspotential (EP) der Gebäudekonstruktion

Das Eutrophierungspotential der Holzfassade mit Eternitbekleidung liegt ca. 4,8 % unter denen einer Kalksandsteinwand mit Eternitbekleidung. Dieser Unterschied ergibt sich nicht aus den gewählten Materialien, sondern aus der unterschiedlich großen Nettogrundfläche der beiden Varianten. Durch die schlankere Wandkonstruktion bei der Holzfassade ergibt sich mehr nutzbare Fläche, die sich wiederum bei der Ergebnisdarstellung pro Quadratmeter positiv auswirkt. Mit Ausnahme der Kostengruppe 300, bei der sich die Unterschiede aus den gewählten Materialien ergeben, sind die absoluten Werte für beide Konstruktionsarten gleich, da in diesen Kostengruppen keine konstruktiven Änderungen zwischen den beiden Varianten vorliegen. Bei den absoluten Werten hat die Holzfassade sogar ein um 0,4 % höheres Photochemisches Eutrophierungspotential als die Kalksandsteinfassade.

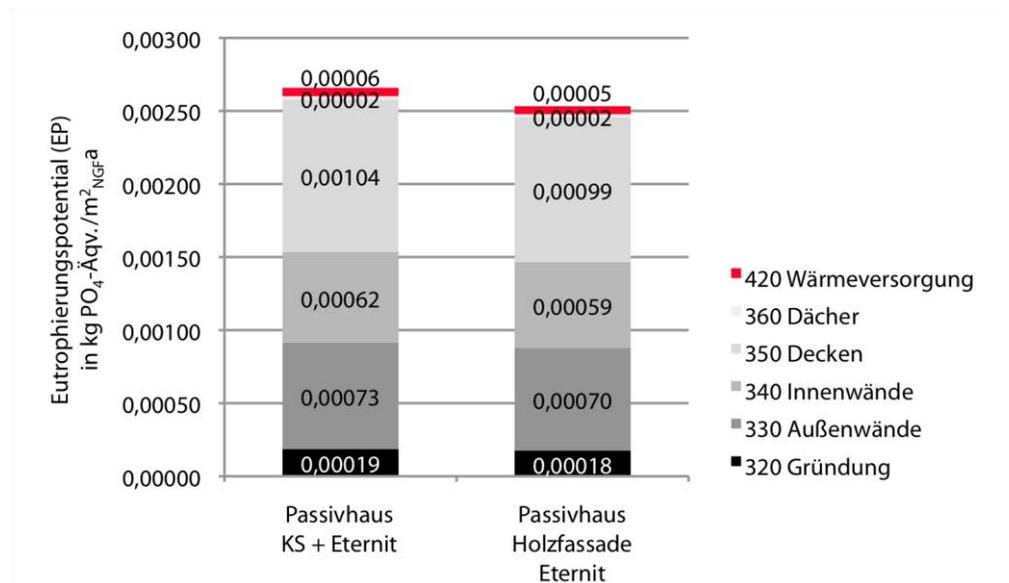


Abb.167 Vergleich des Eutrophierungspotentials unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Ozonabbaupotential (ODP) der Gebäudekonstruktion

Das Ozonabbaupotential der Holzfassade mit Eternitbekleidung liegt ca. 9 % unter denen einer Kalksandsteinwand mit Eternitbekleidung. Im Gegensatz zum Eutrophierungspotential ergibt sich dieser Unterschied zum einen aus der unterschiedlich großen Nettogrundfläche der beiden Varianten, zum anderen aber

auch aus den gewählten Materialien. Der Unterschied zwischen den absoluten Werten (also nicht flächenbezogen) liegt bei 4,2 %.

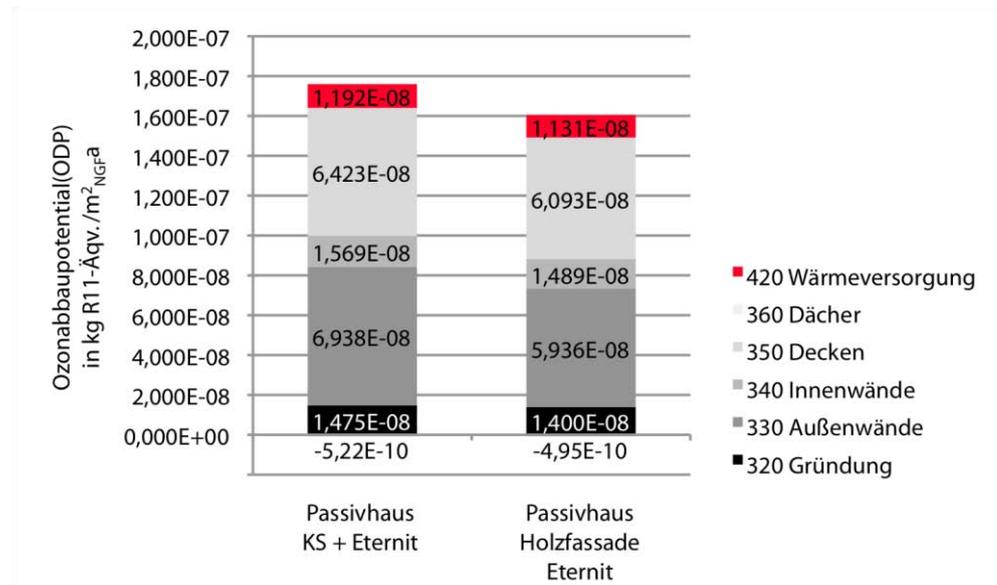


Abb.168 Vergleich des Ozonabbaupotentials unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Photochemisches Oxidantienbildungspotential (POCP) der Gebäudekonstruktion

Das Photochemische Oxidantienbildungspotential der Holzfassade mit Eternitbekleidung liegt ca. 3,5 % unter denen einer Kalksandsteinwand mit Eternitbekleidung. Die Einsparung ist vollständig auf die größere Nettogrundfläche durch die schlankere Wandkonstruktion zurückzuführen. Bei den absoluten Werten hat die Holzfassade sogar ein um 1,7 % höheres Photochemisches Oxidantienbildungspotential als die Kalksandsteinfassade.

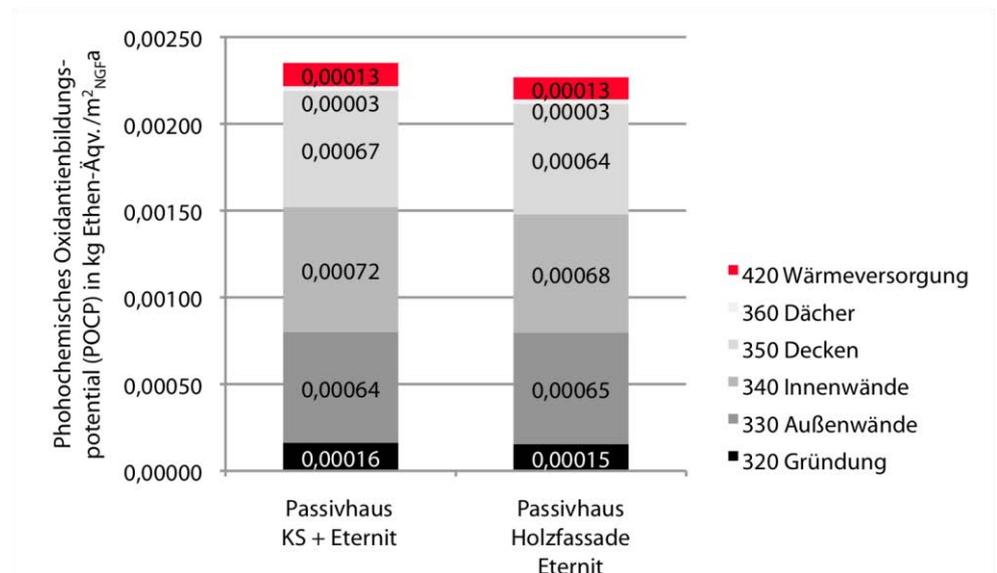


Abb.169 Vergleich des Photochemischen Oxidantienbildungspotentials unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEI n.-ern.) der Gebäudekonstruktion

Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEI n.-ern.) der Holzfassade mit Eternitbekleidung liegt ca. 9,5 % unter denen einer Kalksandsteinwand mit Eternitbekleidung. Der Unterschied ergibt sich zum einen aus der unterschiedlich großen Nettogrundfläche der beiden Varianten, zum anderen aber auch aus den gewählten Materialien. Der Unterschied zwischen den absoluten Werten (also nicht flächenbezogen) liegt bei 4,6 %.

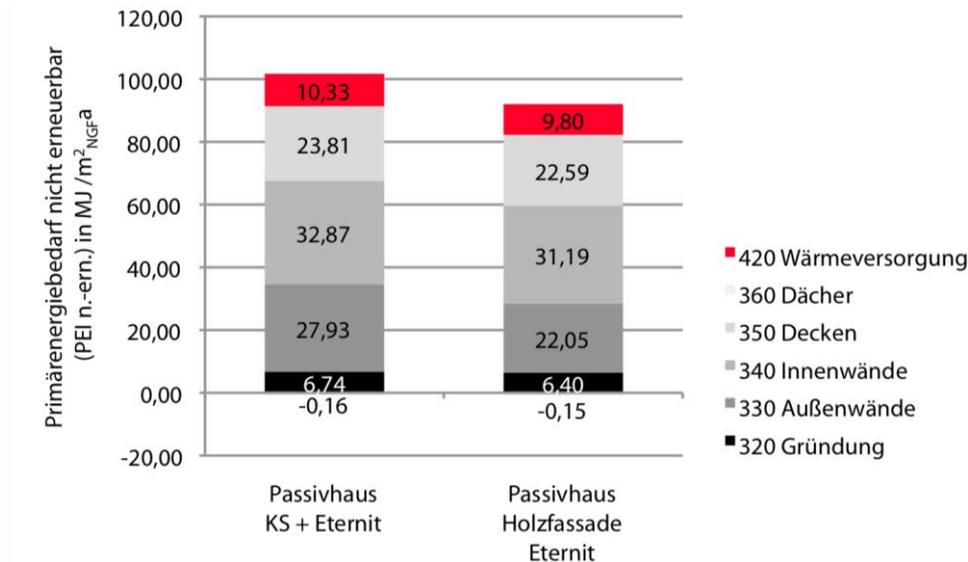


Abb.170 Vergleich des Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEI n.-ern.) unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Primärenergiebedarf erneuerbar (PEI ern.) der Gebäudekonstruktion

Der Primärenergiebedarf erneuerbar (PEI ern.) der Holzfassade mit Eternitbekleidung liegt ca. 6 % über denen einer Kalksandsteinwand mit Eternitbekleidung. Der Unterschied ergibt sich zum einen aus der unterschiedlich großen Nettogrundfläche der beiden Varianten, zum anderen aber auch aus den gewählten Materialien. Der absolute Primärenergiebedarf erneuerbar (also nicht flächenbezogen) liegt 11,9 % über dem einer Kalksandsteinwand.

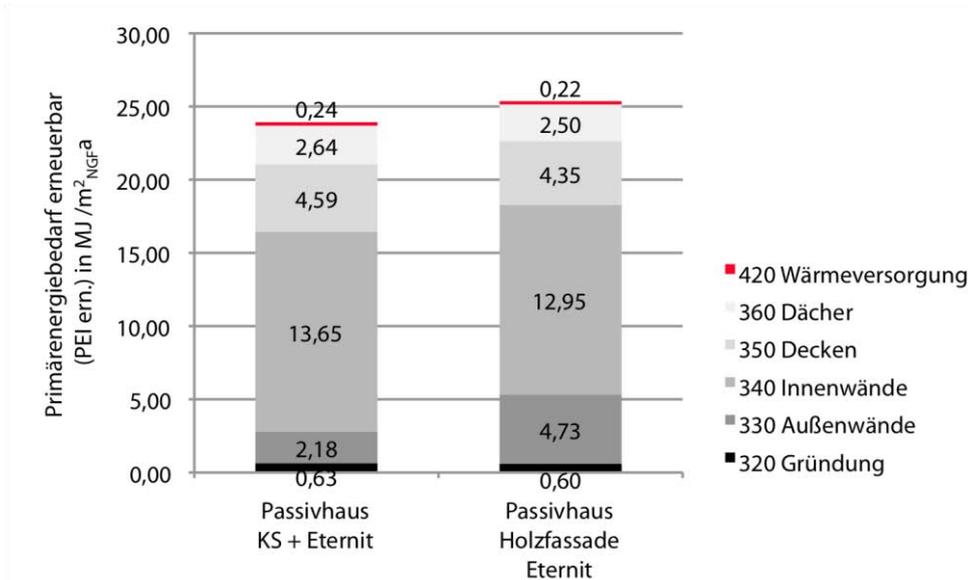


Abb.171 Vergleich des Primärenergiebedarf erneuerbar (PEI ern.) unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Primärenergiebedarf gesamt (PEI ges.) der Gebäudekonstruktion

Der Primärenergiebedarf gesamt (PEI ges.) der Holzfassade mit Eternitbekleidung liegt ca. 1,5 % unter denen einer Kalksandsteinwand mit Eternitbekleidung. Der Unterschied ergibt sich ausschließlich aus den gewählten Materialien. Der Unterschied zwischen den absoluten Werten (also nicht flächenbezogen) liegt ebenfalls bei 1,5 %.

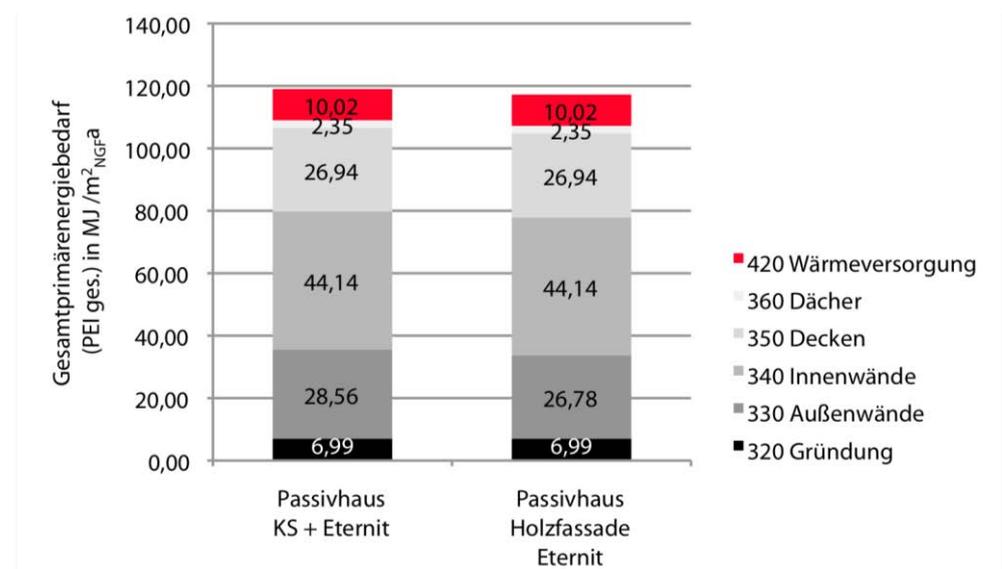


Abb.172 Vergleich des Primärenergiebedarf gesamt (PEI ges.) unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Treibhauspotential (GWP) der Gebäudekonstruktion

Das Treibhauspotential der Holzfassade mit Eternitbekleidung liegt ca. 13 % unter denen einer Kalksandsteinwand mit Eternitbekleidung. Im Gegensatz zum Eutrophierungspotential ergibt sich dieser Unterschied zum einen aus der unterschiedlich großen Nettogrundfläche der beiden Varianten, zum anderen aber auch aus den gewählten Materialien. Der Unterschied zwischen den absoluten Werten (also nicht flächenbezogen) liegt bei 8,4 %.

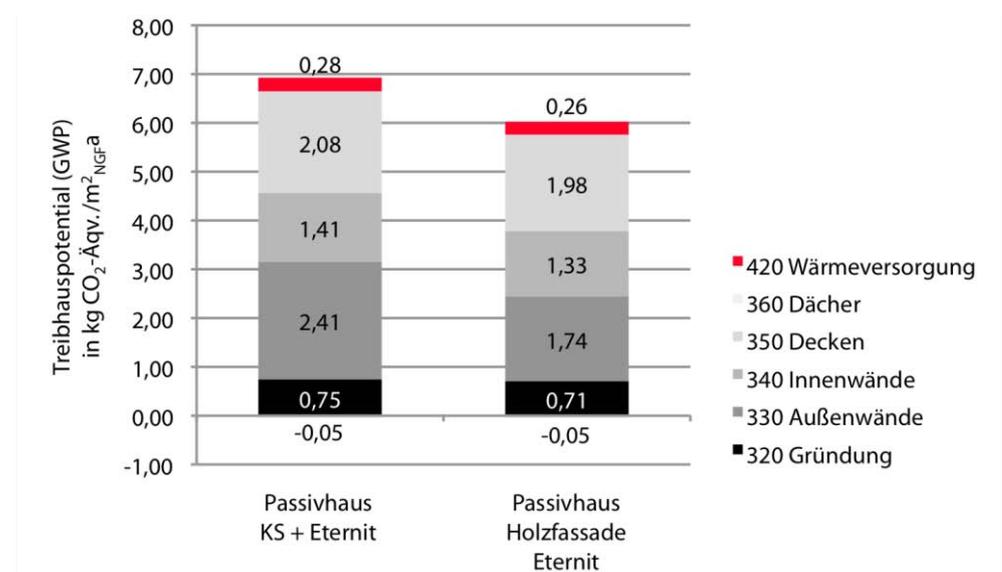


Abb. 173 Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt

Versauerungspotential (AP) der Gebäudekonstruktion

Das Versauerungspotential der Holzfassade mit Eternitbekleidung liegt ca. 1,8 % unter denen einer Kalksandsteinwand mit Eternitbekleidung. Die Einsparung ist vollständig auf die größere Nettogrundfläche durch die schlankere Wandkonstruktion zurückzuführen. Bei den absoluten Werten hat die Holzfassade sogar ein um 3,5 % höheres Versauerungspotential als die Kalksandsteinfassade.

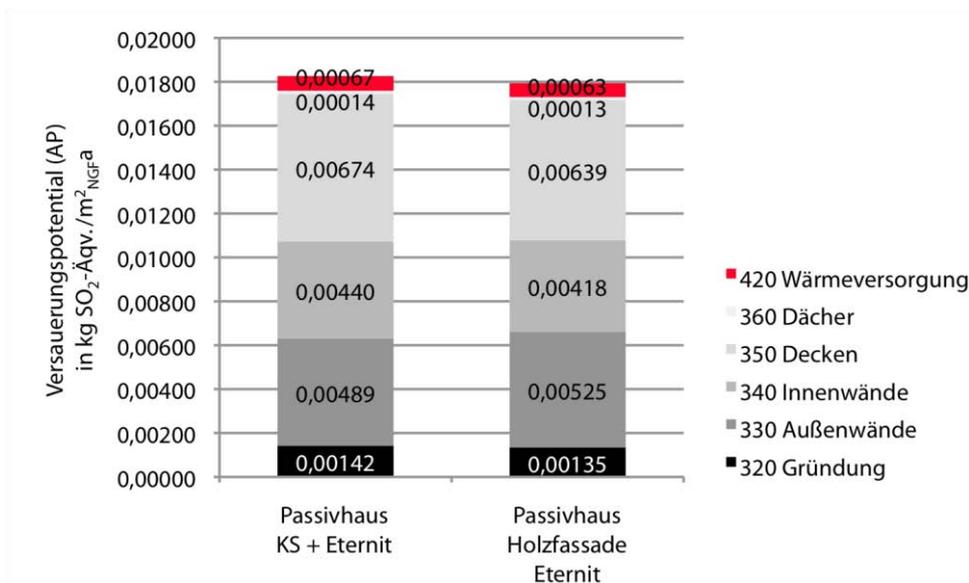


Abb. 174 Vergleich des Versauerungspotentials (AP) unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt

7.4.4. Auswertung

Der Vergleich der beiden unterschiedlichen Außenwandaufbauten im Rahmen der Gebäudeökobilanz, zeigt den geringen Einfluss der Optimierung einzelner Bauteile auf die Gesamtbilanz. Die Veränderung der Ökobilanz zwischen den beiden untersuchten Varianten liegt je nach Wirkungskategorie zwischen 0 % und maximal 5 % (lediglich in der Wirkungskategorie „Primärenergiebedarf ern.“ ist die Abweichung größer). Dabei ergibt sich ein Großteil des Unterschieds aus der veränderten Grundfläche durch den schlankeren Wandaufbau der Holzfassade und der daraus resultierenden Veränderung der Bezugsgröße (m^2).

Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass:

1. die Optimierung von Bauteilen in Richtung einer maximal nutzbaren Fläche ökologische Vorteile bringt.
2. Die Optimierung von Einzelbauteilen (zumindest Außenwänden) hat in der Ökobilanz der Gebäudekonstruktion nur eine geringe Relevanz. Ziel muss daher die Optimierung aller relevanten Bauteile im Rahmen des Planungsprozesses sein.

Für das Aktiv-Stadthaus wurde die Holzfassade mit Eternitverkleidung als Wandaufbau gewählt. Dies geschah neben den ökologischen Vorteilen, die sich in der Ökobilanz zeigen auch aus ökonomischen Gründen, da bei dieser Variante mehr nutzbare Fläche zur Verfügung steht.

7.5. Lebenszykluskostenbetrachtung (LCC)

Gebäude verursachen über ihren Lebenszyklus hinweg hohe Kosten: von der Errichtung über die Nutzung bis hin zum Rückbau. Bei der Projektentwicklung spielt oft nur die Höhe der Investitionskosten eine Rolle, während die oft weitreichenden Planungsentscheidungen auf die Nutzungskosten über den Lebenszyklus meist unberücksichtigt bleiben. Deswegen werden in den Planungen häufig Lösungen, die sich durch erhöhte Investitionskosten bei geringeren Lebenszykluskosten auszeichnen, nicht berücksichtigt. Dies spielt besonders bei zukunftsweisenden Gebäudestandards wie dem Plus-Energie-Standard eine Rolle. Ziel ist es, die Kosten über den gesamten Lebenszyklus im Bereich des Bauens und Nutzens zu minimieren.

In der folgenden Lebenszykluskostenbetrachtung sollen die Kosten des Aktiv-Stadthauses mit den Kosten eines Passivhauses und des EnEV-Referenzgebäudes näherungsweise miteinander verglichen werden. Der Betrachtungszeitraum beträgt 50 Jahre. In der Lebenszykluskostenbetrachtung werden neben den Investitionskosten auch Betriebskosten, sowie Kosten für Instandhaltung und Austauschzyklen berücksichtigt.

7.5.1. Berechnungsgrundlagen

Um im Folgenden die Lebenszyklusbetrachtung vergleichbar zu halten, werden die Referenzwerte der DGNB zugrunde gelegt. Das Ermittlungsverfahren entspricht der ISO 156886-5:2008. Darüber hinaus gibt es zusätzliche Festlegungen durch die DGNB, welche einer vereinfachten Herangehensweise der LCC dienen. Der Ermittlung der Lebenszykluskosten liegen folgende Kostengruppen zugrunde:⁵²

Ausgewählte Herstellungskosten nach DIN 276-1

- KG 300 Bauwerk – Baukonstruktionen
- KG 400 Bauwerk – Technische Anlagen

Ausgewählte Nutzungskosten nach DIN 18960

- KG 310 und 320 Ver- und Entsorgungskosten
 - KG 311 Wasser
 - KG 312 bis 316 Brennstoff, Energie
 - KG 321 Abwasser
- KG 330 Reinigung und Pflege von Gebäuden
- KG 350 Bedienung, Inspektion, Wartung
 - KG 351 Bedienung der technischen Anlagen
 - KG 352 Inspektion und Wartung der Baukonstruktion
 - KG 353 Inspektion und Wartung der Technischen Anlagen
- KG 400 Instandsetzungskosten
 - KG 410 Instandsetzung der Baukonstruktionen
 - KG 420 Instandsetzung der Technischen Anlagen

Weitere Kostengruppen wie Grundstückskosten, Planungskosten, Kapitalkosten und Kosten für Rückbau und Entsorgung werden nicht berücksichtigt.

Für die Kostenberechnung über den Lebenszyklus wird ein Diskontierungszins von 5,5 % angenommen. Die über den Betrachtungszeitraum ermittelten Kosten beziehen sich über die Diskontierung als Barwert auf das Referenzjahr des

⁵² DGNB GmbH, „Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus“, Neubau Wohngebäude Version 2012

Betrachtungszeitpunkts. Diese sogenannte Barwertmethode ermöglicht es, unterschiedliche Kostenzeitverläufe miteinander zu vergleichen.

Neben der Diskontierung werden Preissteigerungen und -senkungen über den Lebenszyklus wie in folgender Tabelle aufgeführt berücksichtigt:

LCC - Betrachtungsfaktoren	
Umfang	KG 300 + KG 400
Preisstand	Nov. 2012
Mehrwertsteuer	ohne MwSt.
Bezugsgröße	m ² BGF
Betrachtungszeitraum	50 Jahre
Standortbezug	Frankfurt
BGF in m ²	11.519,00 m ²
Diskontierungszinssatz	5,5%
Allg. Preissteigerung (z.B. Baukosten)	2,0%
Preissteigerung Energiekosten	4,0%
Preissteigerung Wasser-/Abwasserkosten	2,0%
Preissteigerung Dienstleistung Reinigung	2,0%
Speicherkostensteigerung	-1,0%
Photovoltaikkostensteigerung	-1,0%
Pauschalaufwendungen KG 300	
Inspektions- und Wartungskosten	0,1%
regelmäßige Instandsetzungskosten	0,0%
unregelmäßige Instandsetzungskosten	1,0%

Tab. 14 LCC - Berechnungsfaktoren; Quelle: DGNB, LCC-Bilanzierungstabelle, Hilfsmittel für die Abschätzung von Lebenszykluskosten, Ergänzungen: FGee, TU Darmstadt

7.5.2. Kostengrundlagen des Aktiv-Stadthauses

Betriebskosten

In den Betriebskosten werden die Kosten für Wasser sowie Abwasser (aus Schmutzwasser und Niederschlag), die Energiekosten und Reinigungskosten für Oberflächen berücksichtigt. Da sich die Betriebskosten zwischen den unterschiedlichen Gebäudestandards (Aktiv-Stadthaus, Passivhaus und EnEV-Referenzgebäude) im Wesentlichen in Ihren Energiekosten unterscheiden, wird hierauf im Folgenden näher eingegangen.

Die Energiekosten des Aktiv-Stadthauses setzen sich gem. des Eigennutzungsgrades des erzeugten Solarstroms zusammen (vgl. Abb. 175). 50 % des Energiebedarfs wird aus dem hauseigenen Solarstrom gedeckt. Der gesamte Strombedarf der Mieter wird über eine monatliche Energiepauschale beglichen. Hierfür werden 21 ct/kWh angenommen, welche als Guthaben angerechnet werden können. Für den Netzstrombezug wird für die Wärmepumpe ein heute geltender „Wärmepumpentarif“ von 15 ct/kWh und für den sonstigen Strombezug 19 ct/kWh angesetzt. Vereinfachend wird auf alle Energiekosten eine jährliche Preissteigerung von 4 % zugrunde gelegt. Die Solarstromeinspeisung, die 49 % des erzeugten Stroms betrifft, wird im Jahr der Inbetriebnahme, 2014 für 20 Jahre mit 11,4 ct/kWh (gem. EEG, Nov. 2012) vergütet. Aufgrund der großen Anlage fällt die Vergütung im Vergleich zu einer kleineren Anlage auf einem Einfamilienhaus geringer aus. Die Einspeisevergütung (11,4 ct/kWh) liegt zudem deutlich unter den Einnahmen durch

den Eigengebrauch (21 ct/kWh). Dies zeigt, dass der Eigengebrauch auch wirtschaftlich einen Vorteil darstellt. Die Elektro-Mobilität ist in den Betriebskosten nicht berücksichtigt.

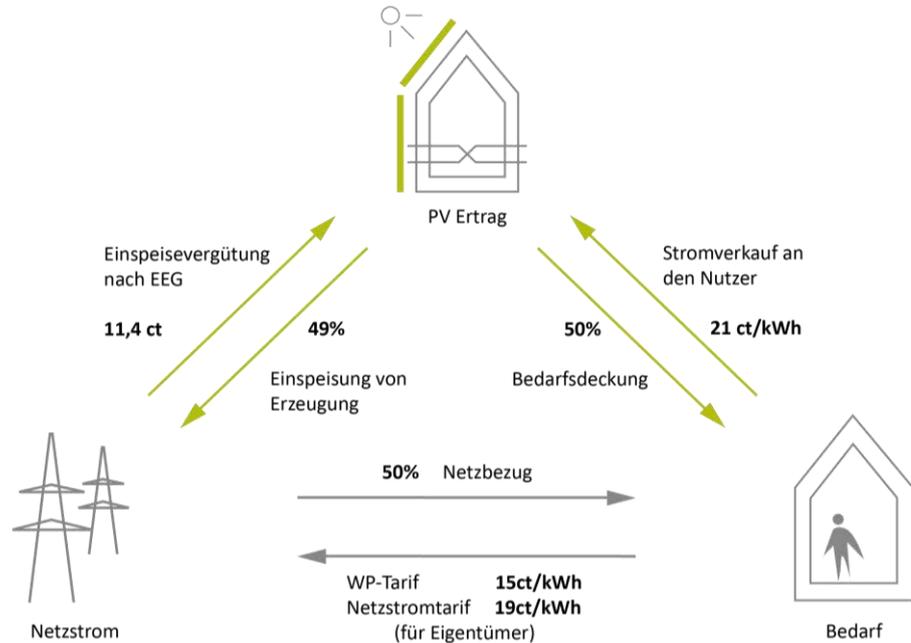


Abb. 175 Energiekosten-Flussdiagramm des Aktiv-Stadthauses; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Energiekosten - Aktiv-Stadthaus				
Energie - Endenergiebedarf Heizwärme laut EnEV (50%) (WP-Tarif)	kWh/a	17.970	0,15	€/kWh
Energie - Endenergiebedarf Warmwasserbereitung laut EnEV (50%)	kWh/a	22.790	0,19	€/kWh
Energie - Endenergiebedarf Luftförderung laut EnEV (50%)	kWh/a	14.460	0,19	€/kWh
Energie - Endenergiebedarf Beleuchtung + HH gem. Aktiv-Stadthaus (50%)	kWh/a	64.420	0,19	€/kWh
Energie - Endenergiebedarf Hilfsenergie laut EnEV (50%)	kWh/a	5.700	0,19	€/kWh
Einspeisevergütung laut EEG (EURO) (49% des erzeugten Stroms)	kWh/a	129.260	- 0,114	€/kWh
Eigennutzung PV Strom (Verkauf an den Mieter) (50% des Bedarfs)	kWh/a	125.330	- 0,21	€/kWh
Netzverkauf nach Ende der Einspeisevergütung von 20 Jahren (49%)	kWh/a	129.260	- 0,15*	€/kWh

* Annahme Börsenpreis Strom

Die Kosten sind gem. der Eigennutzung des solar erzeugten Stroms aufgeteilt: 50% Eigengebrauch (in Bezug auf den Energiebedarf), 50% Netzstrombezug (in Bezug auf den Energiebedarf), 49% Einspeisung (in Bezug auf die Erzeugung)

Herstellungskosten

Die Herstellungskosten (KG 300 und 400) wurden der Kostenberechnung des Architekturbüros (HHS Planer + Architekten) entnommen. In den Herstellungskosten sind u.a. die für das Aktiv-Stadthaus spezifischen Kosten der Abwasserwärmenutzung, der Wärmepumpe, des Speichers, der Photovoltaikanlage auf dem Dach und in der Fassade sowie die Kosten für Gebäudeautomation und Nutzerinterface enthalten.

Da für das Aktiv-Stadthaus ein Förderantrag über die Förderinitiative „Effizienzhaus-Plus“ gestellt wurde, wird diese Minderung der Herstellungskosten durch die Fördermittel in einer weiteren Variante berücksichtigt. Gefördert werden innovative und noch nicht wirtschaftlich abbildbare Technologien. Die Fördersumme beträgt 20 % der Investitionssumme dieser Technologien. Darunter fallen für das Aktiv-Stadthaus die Photovoltaik-Fassade sowie die hocheffizienten PV-Dach-Module. Um den gewünschten Effizienzhaus-Plus-Standard zu erzielen, sind auf dem Dach monokristalline Hochleistungsmodule mit dem Wirkungsgrad von 19,5 % notwendig. Diese Hochleistungsmodule sind in Ihrem Einsatz noch nicht wirtschaftlich. Jedoch

kann die Technologie gerade bei begrenzten Flächenangeboten eine Standardtechnologie von morgen darstellen. Neben der Photovoltaik werden zudem der Stromspeicher wie auch die Abwasserwärmenutzung anteilig gefördert. Werden die möglichen Förderungen in den Gesamtherstellungskosten berücksichtigt, so sinken diese um ca. 3 %.

7.5.3. Kostengrundlagen des „Passivhauses“

Für das Vergleichsgebäude im Passivhausstandard werden die Kosten des Aktiv-Stadthauses zugrunde gelegt, die um die Mehrkosten der aktiven Komponenten reduziert sind.

Betriebskosten

Im Vergleich zum Aktiv-Stadthaus werden für das „Passivhaus“ identische Energiebedarfe angenommen. Mit einem Jahresheizwärmebedarf von 18 kWh/m²a wird der Passivhausstandard gem. Zertifizierungsgrenzwert (15 kWh/m²a) nicht erreicht. Da das Gebäude jedoch im Hüllstandard Passivhauskomponenten sowie eine kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG) besitzt, wird in dem folgenden Vergleich von einem „Passivhaus“ gesprochen. Die Energiebedarfe für Strom werden zu 100 % aus dem Netz bezogen (Kostenannahme 19 ct/kWh und jährliche Preissteigerung von 4 %). Die Kosten für den Heizwärme- und Warmwasserbedarf sind mit 7 ct/kWh für einen Gasbezug berücksichtigt worden. Die Bedarfe sind im Sinne der Vergleichbarkeit auf die Energiebezugsfläche gem. DIN V 18599 bezogen.

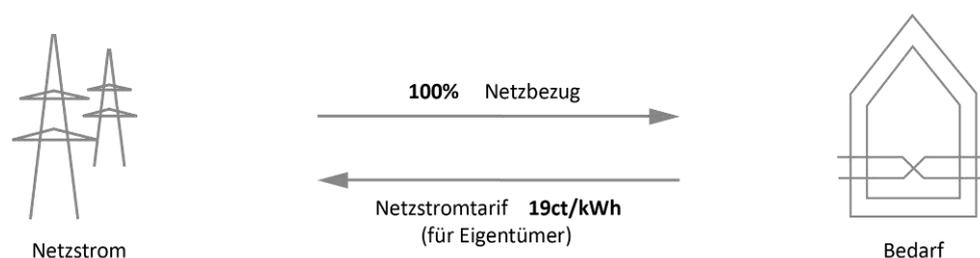


Abb. 176 Energiekosten-Flussdiagramm des „Passivhauses“ (Q_h=18 kWh/m²a); Quelle:FGee, TU Darmstadt

„Passivhaus“ (Q _h = 18 kWh/m ² a)				
Energie - Endenergiebedarf Heizwärme laut EnEV (100%)	kWh/a	136.0230	0,07	€/kWh
Energie - Endenergiebedarf Warmwasserbereitung laut EnEV (100%)	kWh/a	87.460	0,07	€/kWh
Energie - Endenergiebedarf Luftförderung laut EnEV (100%)	kWh/a	28.920	0,19	€/kWh
Energie - Endenergiebedarf Beleuchtung + HH gem. Aktiv-Stadthaus (100%)	kWh/a	128.830	0,19	€/kWh
Energie - Endenergiebedarf Hilfsenergie laut EnEV (100%)	kWh/a	11.390	0,19	€/kWh
Einspeisevergütung laut EEG (EURO)	kWh/a	-	-	€/kWh
Eigennutzung PV Strom (Verkauf an den Mieter)	kWh/a	-	-	€/kWh
Netzverkauf nach Ende der Einspeisevergütung von 20 Jahren	kWh/a	-	-	€/kWh

Herstellungskosten

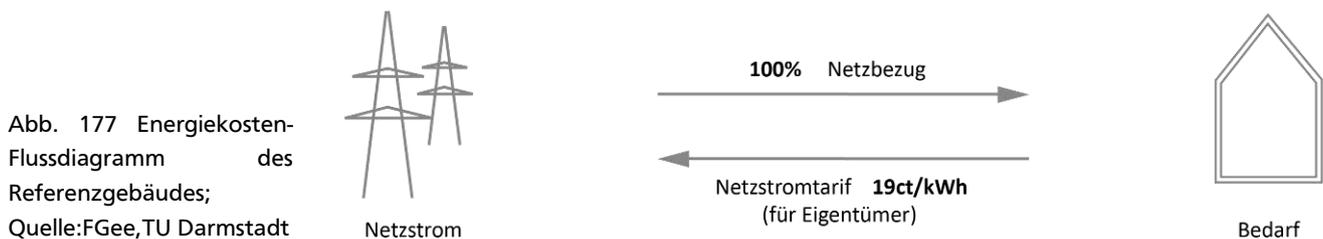
Die Herstellungskosten des „Passivhauses“ werden im Vergleich zum Aktiv-Stadthaus im Wesentlichen um die für das Aktivhaus typische Anlagentechnik reduziert. Dies betrifft den Stromspeicher, sowie die Photovoltaikanlage, das Nutzerinterface und die Gebäudeautomation. Anstelle der Photovoltaikfassade wird eine durchgehende Faserzementfassade angenommen. Für die Wärmebereitung wird anstelle der Abwasserwärmenutzung über eine Wärmepumpe ein Brennwertkessel berücksichtigt.

Dieser Brennwertkessel ist als „Notheizung“ bereits in den Kosten des Aktiv-Stadthauses enthalten. Somit entfallen bei der Wärmebereitung für diesen keine zusätzlichen Kosten auf das Passivhaus.

7.5.4. Kostengrundlagen des Referenzgebäudes

Betriebskosten

Die Energiekosten für Heizwärme, Warmwasser, Lüftung und Hilfsstrom sind auf die Bilanz des Referenzgebäudes nach DIN V 18599 (EnEV 2009) bezogen. Der Strombedarf für Beleuchtung und Haushaltsgeräte ist mit pauschalen 20 kWh/m²a gem. dem Richtwert des BMVBS (Effizienzhaus-Plus) angenommen. Der Strombedarf ist damit im Vergleich zu dem Passivhaus bzw. Aktiv-Haus geringfügig höher.



EnEV Referenzgebäude				
Energie - Endenergiebedarf Heizwärme laut EnEV (100%)	kWh/a	581.230	0,07	€/kWh
Energie - Endenergiebedarf Warmwasserbereitung laut EnEV (100%)	kWh/a	219.190	0,07	€/kWh
Energie - Endenergiebedarf Luftförderung laut EnEV (100%)	kWh/a	28.920	0,19	€/kWh
Energie - Endenergiebedarf Beleuchtung + HH gem. Aktiv-Stadthaus (100%)	kWh/a	175.280	0,19	€/kWh
Energie - Endenergiebedarf Hilfsenergie laut EnEV (100%)	kWh/a	17.970	0,19	€/kWh
Einspeisevergütung laut EEG (EURO)	kWh/a	-	-	€/kWh
Eigennutzung PV Strom (Verkauf an den Mieter)	kWh/a	-	-	€/kWh
Netzverkauf nach Ende der Einspeisevergütung von 20 Jahren	kWh/a	-	-	€/kWh

Herstellungskosten

Ausgehend von der Annahme, dass Passivhäuser 5 – 8 % im Vergleich zum regulären EnEV-Standard teurer sind, wird für das Referenzgebäude eine pauschale Annäherung an dessen Herstellungskosten angenommen. Die Herstellungskosten sind mit einer pauschalen Abminderung der Kosten im Verhältnis zum Passivhaus berücksichtigt. Durch den schlechteren Hüllstandard reduzieren sich die Kosten um 2 %. Zuzüglich entfallen die Kosten für die kontrollierte Lüftung inkl. WRG. Die Herstellungskosten sind damit im Vergleich zu dem Passivhaus um ca. 5 % geringer.

7.5.5. Gegenüberstellung der Lebenszykluskosten verschiedener Energiestandards

Prozentuale Gegenüberstellung der anteiligen Kosten über den Lebenszyklus an den Gesamtkosten

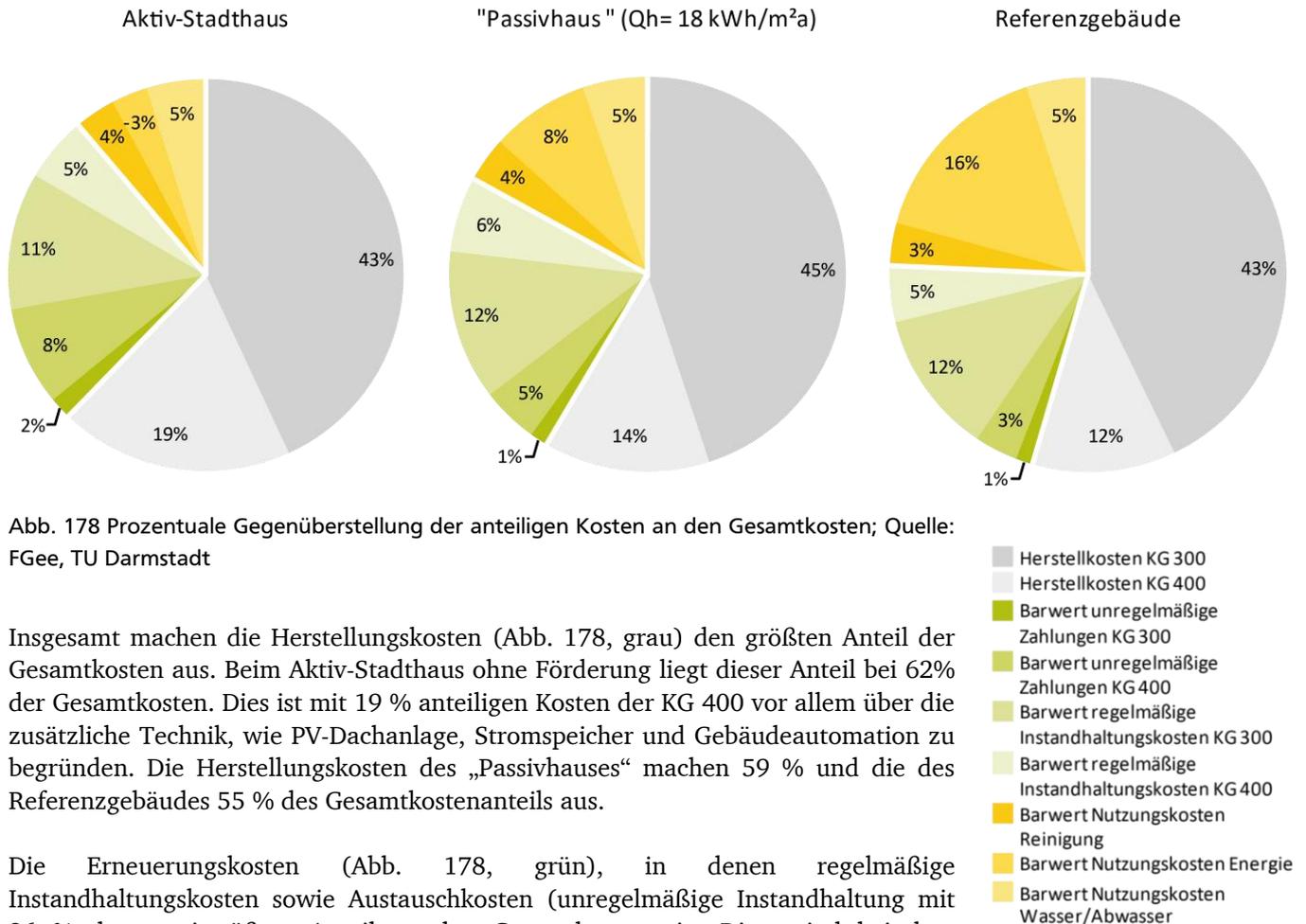


Abb. 178 Prozentuale Gegenüberstellung der anteiligen Kosten an den Gesamtkosten; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Insgesamt machen die Herstellungskosten (Abb. 178, grau) den größten Anteil der Gesamtkosten aus. Beim Aktiv-Stadthaus ohne Förderung liegt dieser Anteil bei 62% der Gesamtkosten. Dies ist mit 19 % anteiligen Kosten der KG 400 vor allem über die zusätzliche Technik, wie PV-Dachanlage, Stromspeicher und Gebäudeautomation zu begründen. Die Herstellungskosten des „Passivhauses“ machen 59 % und die des Referenzgebäudes 55 % des Gesamtkostenanteils aus.

Die Erneuerungskosten (Abb. 178, grün), in denen regelmäßige Instandhaltungskosten sowie Austauschkosten (unregelmäßige Instandhaltung mit 26 % den zweitgrößten Anteil an den Gesamtkosten ein. Diese sind bei dem Passivhaus mit 24 % und dem Referenzgebäude mit 21 % entsprechend den Herstellungskosten geringer. Die höheren Kosten beim Aktiv-Stadthaus ist vor allem mit den Austauschkosten der Technologie wie Stromspeicher und Photovoltaik nach Ablauf der Lebensdauer (Speicher = 10 und Photovoltaik = 25 Jahre) zu begründen.

Auf die Nutzungskosten (Abb. 178, gelb) entfallen bei dem Aktiv-Stadthaus effektiv 6 %. Darin enthalten sind Reinigungs- und Wasserkosten. Der Barwert der Energiekosten ist negativ. Das bedeutet der Vermieter erhält einen Gewinn. Insgesamt können für die Energiekosten 3 % am Gesamtkostenanteil gut geschrieben werden. Die Aufwendungen für Reinigung und Wasser sind bei dem „Passivhaus“ und dem Referenzgebäude gleich dem Aktiv-Stadthaus. Die Energiekosten hingegen liegen mit 8 % der Gesamtkosten bei dem „Passivhaus“ und 16 % der Gesamtkosten bei dem Referenzgebäude bei weitem höher.

7.5.6. Die Lebenszykluskosten im Vergleich

In der folgenden Grafik wird der Verlauf der Lebenszykluskosten der verschiedenen Gebäudestandards deutlich. Die Kosten sind in Prozent angegeben. Der Bezugswert mit 100 % bildet das Aktiv-Stadthaus mit Berücksichtigung einer Förderung.

Lebenszykluskostenbetrachtung (LCC)

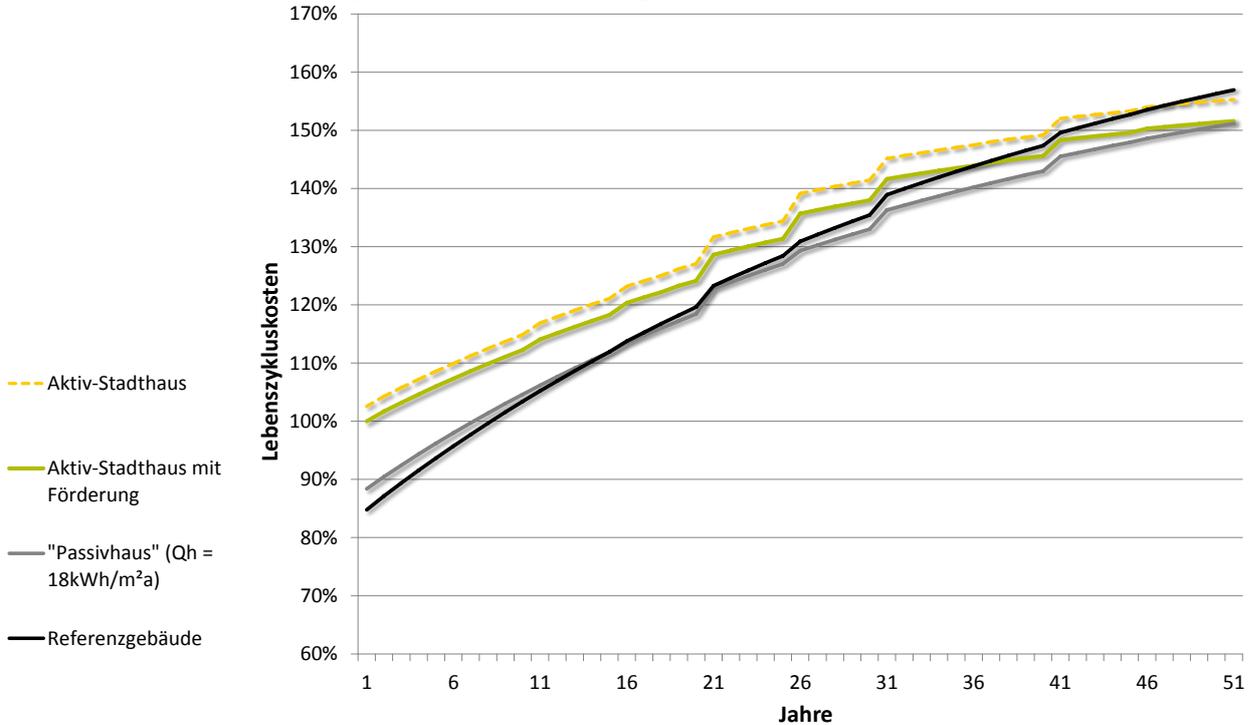


Abb. 179 LCC des Aktiv-Stadthauses ohne und mit Förderung im Vergleich zu einem „Passivhaus“ und EnEV-Referenzgebäude; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Barwert im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren

	Aktiv-Stadthaus	Aktiv-Stadthaus mit Förderung	„Passivhaus“	Referenzgebäude
Herstellkosten	103%	100%	88%	87%
Barwert Nutzungskosten	101%	100%	148%	178%
Barwert Erneuerung	106%	100%	60%	50%
Summe Nutzungskosten u. Erneuerung	101%	100%	122%	140%
Barwert Gesamt Ist-Gebäude	102%	100%	100%	105%

Tab. 15 Barwertberechnung im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Die Investitionskosten liegen bei dem Aktiv-Haus mit Förderung im Bezug zu einem Passivhaus um 12 % und im Bezug zu einem EnEV-Referenzgebäude gem. Annahme um 13 % höher.

Bei ersten Überlegungen, wie der Verlauf der Lebenszykluskosten des Aktiv-Stadthauses im Vergleich zu einem „Passivhaus“ aussehen könnte, wurde ein früher Schnittpunkt zwischen beiden Kostenverläufen erwartet. Entgegen der Erwartung fällt die Kurve des Aktiv-Stadthauses ohne Förderung trotz Kostengewinn in den Energiekosten nur langsam.

Die Gutschriften aus der Stromvergütung bzw. des regenerativen Stromverkaufs wiegen die Mehrinvestitionen gegenüber einem Passivhaus im Lebenszyklus noch nicht auf. Mit einer Förderung (Effizienzhaus-Plus) amortisieren sich die zusätzlichen Investitionen nach 50 Jahren. Die Kosten zwischen Aktiv- und Passivhaus liegen jedoch trotz des Einsatzes innovativer Technologien nahe beieinander (Abb. 179).

Daneben besitzt das Aktiv-Stadthaus einen klaren ökologischen Vorteil, der sich sehr deutlich zeigt. In Abb. 180 sind der Kostenverlauf sowie die emittierten Emissionen über den Lebenszyklus gegenübergestellt. Wohingegen die Kosten zwischen den einzelnen Gebäudestandards nahe beieinander liegen, zeigt sich eine deutliche Spreizung des Emissionsverlaufs zwischen Aktiv-Stadthaus, Passivhaus, und DGNB-Referenzgebäude.

Gegenüberstellung der Lebenszykluskosten gegenüber der CO₂-Einsparung

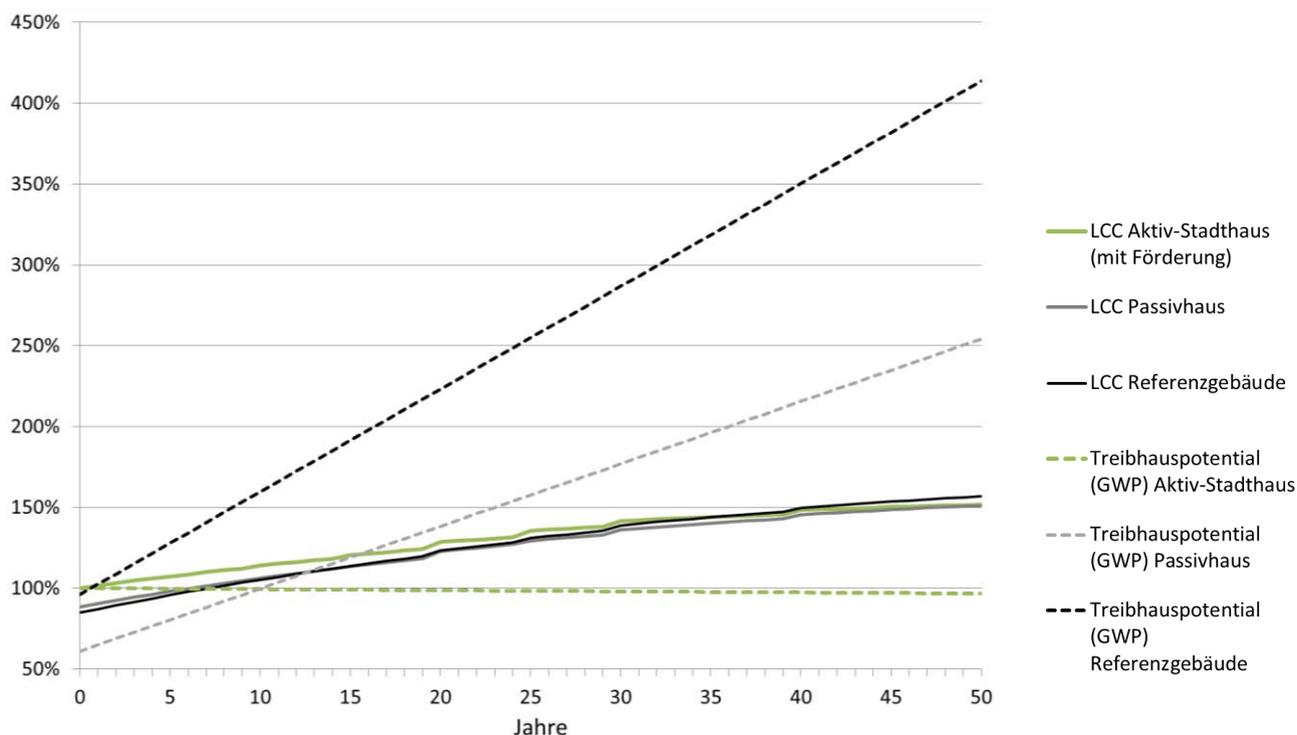


Abb. 180 Gegenüberstellung der Entwicklung der Lebenszykluskosten und CO₂-Emissionen des Aktiv-Stadthauses im Vergleich zu einem „Passivhaus“ und EnEV-Referenzgebäude; Quelle: FGee, TU Darmstadt

7.5.7. Fazit

Bezogen auf den gesamten Betrachtungszeitraum von 50 Jahren werden die höheren Anfangsinvestitionen durch die geringeren Betriebskosten wieder ausgeglichen. Die lange Amortisationszeit des Aktiv-Stadthauses gegenüber dem „Passivhaus“ erfordert daher langfristiges wirtschaftliches Denken der Investoren.

Zukünftig wird sich das wirtschaftliche Ergebnis jedoch voraussichtlich zugunsten des Aktiv-Stadthauses verbessern. Unter anderem bei den Sonderkomponenten, wie z.B. dem Stromspeicher, ist sowohl eine Kostenreduzierung als auch eine Erhöhung der Lebensdauer zu erwarten. Damit verringern sich die resultierenden Investitions-, Instandhaltungs- und Erneuerungskosten für die Plus-Energie-Variante.

Insgesamt zeigt die Grafik in Abb. 179, dass die Kosten nahe beieinander liegen. Das Plus-Energie-Gebäude besitzt jedoch den großen Vorteil einer zusätzlichen CO₂-Einsparung (vgl. Abb. 180). Im Gegensatz zu der Kostenentwicklung liegt hier die Spreizung der Emissionen viel weiter auseinander. Sollten zukünftig Besitzer und Betreiber von Gebäuden finanziell an den von ihren Gebäuden verursachten Umweltwirkungen beteiligt werden, wird dieser Aspekt deutlich an Wichtigkeit gewinnen und auch Teil der ökonomischen Betrachtung werden. Im Zuge einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbewertung sollten so immer ökonomische wie ökologische Bewertungen eine Entscheidungsgrundlage bilden.

Zudem muss berücksichtigt werden, dass es sich bei dem Aktiv-Stadthaus um ein Pilotprojekt handelt, welches einem Routineprojekt wie dem Passivhaus gegenübergestellt wird. Die Senkung der Investitionskosten durch die Förderung (Effizienzhaus-Plus) ist eine sinnvolle Strategie, um solche Pilotprojekte und damit Innovationen zu fördern.

Integrale Planung – Mehraufwendungen im Planungsprozess



8. Integrale Planung – Mehraufwendungen im Planungsprozess

Nachhaltige Gebäudekonzepte wie das eines Plus-Energie-Gebäudes und die damit verbundene technische Entwicklung in Architektur und Anlagenbau machen mehr denn je eine integrale Planung erforderlich. Integrale Planung (lt. integer: ein Ganzes bildend, vollständig) bedeutet eine ganzheitliche Betrachtung einzelner, für sich bestehender Planungsaspekte.⁵³ Der Integrale Planungsprozess bedingt dabei die zeitgleiche und fachübergreifende Planung verschiedener Disziplinen. Es wird dadurch möglich, Kenntnisse und Erfahrungen verschiedener Experten von Anfang an in dem Planungsprozess zu berücksichtigen und leistungsfähige Optimierungstechniken (Rückkopplung mit energetischen Bilanzierungen, Verschattungsstudien, thermische und tageslichttechnische Simulation, Ökobilanzierung etc.) mit einzubeziehen.

Der Plus-Energie-Konzeption liegt eine Gebäudehülle mit Passivhauskomponenten zugrunde, welche bereits etabliert und erprobt sind. Neue Herausforderungen stellen insbesondere die Einbindung der Gebäudetechnologie wie z.B. die gestalterische Integration solaraktiver Anlagen dar. Architektur und Energiekonzeption sind dabei nicht mehr losgelöst voneinander zu betrachten, sondern bedingen sich gegenseitig, bzw. stellen Anforderungen, welche auf beiden Seiten zu berücksichtigen sind.

Für die frühzeitige Erkennung von Abhängigkeiten einzelner Anforderungen und Planungsaspekte und deren Abstimmung, reicht es nicht aus, Raumklima, Energie und Masse als rein physikalische Größen zu betrachten. Sie stellen viel mehr Dimensionen dar, die im Zusammenhang mit den klassischen Mitteln der Architektur (z.B. Form, Textur, Transparenz, etc.) zu gestalten sind und bei geschickter Planung Technik ersparen können. Quantifizierbare Größen wie z.B. Energiebedarf, Temperaturniveau oder Investitionskosten können eindeutig definiert werden. Sie sind jedoch oft eng verknüpft mit qualitativen Aspekten wie etwa Gestaltung, Wohlbefinden oder Imagewert. Der integrale Planungsprozess soll sicherstellen, dass quantitative wie qualitative Aspekte, die Beiträge verschiedener Fachdisziplinen sowie die Betrachtung des Gebäudes und seiner Eigenschaften über die gesamte Lebensdauer gleichermaßen einbezogen werden.⁵⁴

Werden konventionell und integral geplante Projekte verglichen und die Zeitpunkte, an denen im Projektverlauf der höchste Informationsstand erreicht wird, herausgestellt, wird ein wesentlicher Unterschied erkennbar: Konventionell geplante Projekte erreichen ihren maximalen Informationsstand erst zwischen den Leistungsphasen 4 und 6.⁵⁵ Bei der integralen Planung hingegen steht bereits mit Leistungsphase 2 - 3 der höchste Informationsstand des Projektablaufs zur Verfügung (vgl. Abb. 182). Diese Verschiebung besitzt das Potential wichtige, die Betriebskosten beeinflussende Planungsentscheidungen frühzeitig zu treffen und Energieeinsparpotenziale aufzuzeigen.

⁵³ M. Hegger et al., Energie Atlas, Nachhaltige Architektur, Edition Detail, 1. Auflage, 2007

⁵⁴ M. Hegger et al., Energie Atlas, Nachhaltige Architektur, Edition Detail, 1. Auflage, 2007

⁵⁵ www.ifes-frechen.de, Okt. 2012

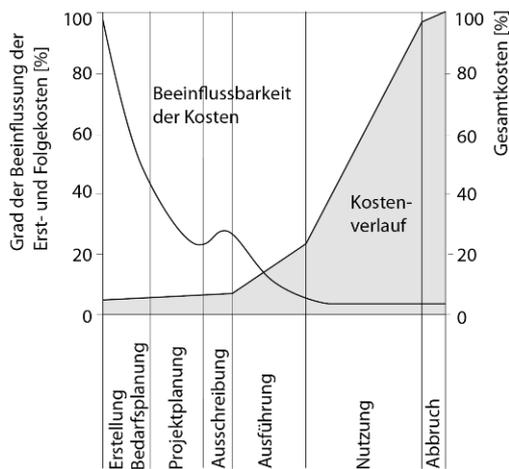


Abb. 181 Verlauf und Beeinflussbarkeit der Gesamtkosten eines Bauwerks; Quelle: M.Hegger et al., Energie Atlas, Nachhaltige Architektur, Edition Detail, 1. Auflage, 2007

8.1. Berücksichtigung der Energiekonzeption von Beginn der Planung an

Architekt und Fachplaner für Energiekonzeption und Gebäudetechnik müssen von Beginn der Planung an zusammenarbeiten. Es ist zwingend notwendig die energetische Gebäudekonzeption schon bei der Grundlagenermittlung und Entwurfsphase mit in die konzeptionellen und städtebaulichen Entscheidungen einzubeziehen. So können die Analyse der Verfügbarkeit von Energieträgern am Gebäudestandort und z.B. eine Verschattungsstudien bereits zu Beginn der Planung Aufschluss über Platz- und Flächenbedarf für nötige Technologien geben. Potentiale und Hemmnisse für Energiekonzeption und architektonischem Erscheinungsbild können analysiert und in der Planung berücksichtigt werden. Hier ist es wichtig, dass Gebäude und Energiekonzeption nicht mehr getrennt voneinander zu denken sind. Rückkopplungen und Abstimmungen sind im Bauzeitenplan zu beachten. Diese können einen zeitlichen Mehraufwand bedeuten, der häufig in der Erstellung eines Rahmenterminplans keine Berücksichtigung findet.



Zeitliche Berücksichtigung von Mehraufwendungen in der Rahmenterminplanung

Rückkopplungen und iterative Abstimmungsprozesse zwischen Architekt und Fachplaner (Energieplanung und Gebäudetechnik) sind in der Projektplanung zu berücksichtigen!

In Abb. 182 sind einzelne, die Energiekonzeption betreffende Planungsparameter und deren Einfluss auf den architektonischen Planungsprozess dargestellt. Die projektspezifischen Planungsparameter des Aktiv-Stadthaus, welche aus der Photovoltaik in der Energiekonzeption und der E-Mobilität resultieren sind gesondert betrachtet.

Im Folgenden werden die einzelnen Parameter in Bezug auf die verschiedenen Leistungsphasen nach HOAI beschrieben. Es werden Erfahrungen aus dem spezifischen Planungsprozess des Aktiv-Stadthaus erläutert und allgemeine Rückschlüsse für Planung von Plus-Energie-MFH dargestellt. Aufgrund des aktuellen Planungsstandes wird sich in der detaillierten Beschreibung zunächst auf Leistungsphasen 1 - 4 beschränkt.

Planungsparameter im Planungsprozess für ein Plus-Energie-MFH

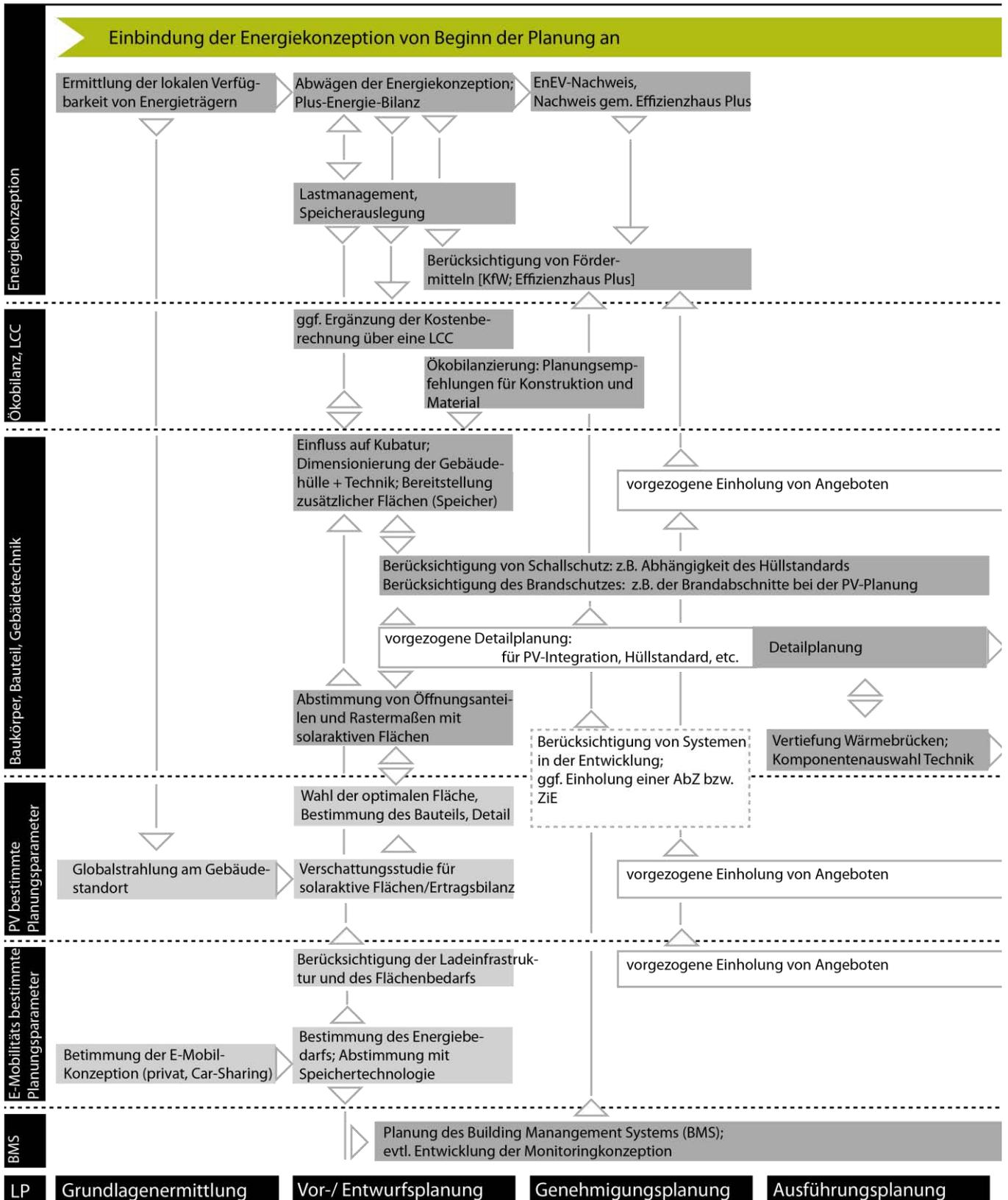


Abb. 182 Integraler Planungsprozess – Darstellung der Planungsparameter für ein Plus-Energie-MFH abgeleitet aus den Planungserfahrungen des Aktiv-Stadthauses; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Mitwirkung des Fachplaners für Gebäudetechnik und Energie bei Ausschreibung + Rückkopplung mit Architekten (Grenzwerte, Materialeigenschaften/ Ökobilanz)

Variantenberechnung für Alternativangebote (Fenster, Lüftung/WRG)

Blowerdoortest

Überwachung der Ausführung energetisch relevanter Details, Materialien, Wirkungsgrade, etc.)

ggf. Nutzungshandbuch und Nutzereinführung

Überwachung und Funktionskontrolle

ggf. Nutzungshandbuch und Nutzereinführung

Monitoring und Betriebsoptimierung und Überwachung der Funktion der Gebäudetechnik und ggf. der E-Mobilität; ggf. Analyse des Nutzerverhaltens und deren nötigen Beeinflussung ("Sozialmonitoring")

Vorbereitung der Vergabe

Mitwirken bei der Vergabe

Objektüberwachung

Dokumentation

Betrieb

8.1.1. Grundlagenermittlung

In der Grundlagenermittlung werden bereits mit der Ermittlung der lokalen Verfügbarkeit von regenerativen Energieträgern am Gebäudestandort die Grundlagen für die Energiekonzeption gelegt. So werden z.B. Informationen zur möglichen geothermischen Nutzung der Erdwärme (Bodengutachten), zur Abwasserwärmenutzung (Sind Abwasserkanäle vorhanden? Welche Abwassermenge, Fließgeschwindigkeit und Wassertemperatur liegt vor?) oder die mögliche Nutzung von Windkraft oder Solarstrahlung evaluiert (vgl. Kap.4.3). Speziell für die Nutzung solaraktiver Technologien ist die Globalstrahlung am Gebäudestandort zu ermitteln (z.B. nach DIN 4108-6 oder DWD). Das jährliche Strahlungsangebot gibt Auskunft, ob das Bauvorhaben in einer sonnenreicheren oder einer sonnenärmeren Region steht, wovon die wirtschaftliche Nutzung solaraktiver Systeme abhängig ist. Über den Ausschluss von bestimmten Energielieferanten können bereits erste Szenarien für die zu untersuchenden Energiekonzeptionen bestimmt werden. In den folgenden Leistungsphasen sind diese mit dem Gebäudeentwurf abzustimmen.

8.1.2. Vorentwurf- und Entwurfsplanung

Energiekonzeption und -bilanz

In der Vorentwurfs- und Entwurfsphase sollte die Energiekonzeption in enger Abstimmung mit dem Gebäudeentwurf entwickelt werden. Bereits für den Vorentwurf kann der Energiebedarf ermittelt werden. Rückkopplungen mit der Kubatur (A/V-Verhältnis) und der Gebäudehülle (Öffnungsanteile, Hüllstandard) sind wichtige Voraussetzungen für hohen Aufenthaltskomfort, Vermeidung von Überwärmung und minimierte Wärmebedarfe. Bei dem Aktiv-Stadthaus ist der Gesamtenergiebedarf aufgrund der großen Energiebezugsfläche im Verhältnis zur solaraktiv nutzbaren Fläche hoch. Um das Verhältnis zu optimieren, wurden Varianten der Kubaturausbildung untersucht (vgl. Kap. 4.12). Der Passivhausstandard ist für ein Plus-Energie-Gebäude in der Regel nicht zwingend erforderlich. Jedoch hat sich bei der Typologie eines MFH gezeigt, dass das Erzielen des Plus-Energie-Standards eine hohe Hüllqualität und Effizienz voraussetzt. Für erste Bilanzen können Technologievarianten (z.B. „Nur-Strom-Konzeptionen“ zu BHKW-Konzeption zu Solarthermie-PV-Konzeption) evaluiert und mit dem Bauwerk rückgekoppelt werden. Zum Beispiel:

- Ist genügend solaraktivierbare Fläche an dem Gebäude vorhanden?
- Welche Flächen kommen in Frage (Dach oder Fassade)?
- Besteht eine Flächenkonkurrenz zwischen Solarthermie und Photovoltaik?
- Können Synergien bei der geothermischen Nutzung von Gründungspfählen entstehen?

Solaraktive Anlagen

In der Regel liegen Plus-Energie-Gebäuden „Nur-Strom-Konzeptionen“, das heißt Technologiekonzeptionen mit einer Wärmepumpen- und Photovoltaikanlage zu Grunde. Insbesondere die Photovoltaik besitzt unter den solaren Technologien besondere Ertragsabhängigkeiten von z.B. Orientierung, Neigung und Verschattung. Frühe Verschattungsstudien mit der umgebenden Bebauung lassen potentielle Flächen für die wirtschaftliche Anbringung von PV definieren. Gerade im innerstädtischen Bereich ist eine Verschattungsstudie aufgrund der Nachbarbebauung eine wichtige erste Betrachtung. Rückkopplungen mit der Kubatur und Gebäudehülle lassen Ertragsoptimierungen zu. Hüllflächen wie das Dach lassen sich ggf. in der Neigung für die solaren Erträge optimieren. Abstimmungen von

transparenten und opaken Flächen sind insbesondere für die solaraktive und passive Nutzung der Fassade von großer Bedeutung.

Beim Aktiv-Stadthaus wurden verschiedene PV-Belegungen des Daches bilanziert. In mehreren Varianten wurde versucht, die Dachfläche zu maximieren, um ein optimalen Ertrag zu erhalten (vgl. Kap. 4.3.2). Aufgrund des hohen Flächenausnutzungsgrades wurde ein Pultdach für das Aktiv-Stadthaus gewählt. Die Öffnungsanteile der Süd-Ost-Fassade sowie zusammenhängende opake Flächen wurden mit der möglichen solaren Aktivierung abgestimmt. Die Fassade wurde hierfür ebenfalls in Varianten entworfen, die auch immer eine Nachführung der Bilanz nach sich zogen.

Da Kubatur und Energiebilanzen aufeinander abzustimmen sind, können die Rückkopplungen zwischen Architekten und Energieplaner einen zeitlichen Mehraufwand bedeuten. Bei dem Aktiv-Stadthaus wurden mehrere Varianten betrachtet und Optimierungsschritte aufgrund der „knappen“ Plus-Energie-Bilanz vollzogen. Wird das Plus aufgrund einer unverschatteten Lage und/oder einer geringen Anzahl von Wohneinheiten leichter erreicht, kann hier der Aufwand ggf. geringer sein.

Werden solaraktive Anlagen zur regenerativen Energiegewinnung verwendet, so sollten diese - gerade bei Neubauten - nicht aufgesetzt, sondern als Teil der Gebäudehülle verstanden werden. Als Teil der Gebäudehülle bringen die aktiven Bauteile neue Abhängigkeiten mit sich. Modul- bzw. Kollektorgrößen sind zu berücksichtigen und mit Rastermaßen an der Gebäudehülle abzustimmen. Im Planungsprozess des Aktiv-Stadthauses hat sich gezeigt, dass für eine Integration der Photovoltaikmodule in die Fassade, die der Industrie möglichen Größen, sehr früh in Erfahrung gebracht werden und auf die Fassade und deren Öffnungsmaße abgestimmt werden mussten. An dieser Stelle waren bereits vorgezogene Detailplanungen erforderlich. Es ist ratsam, von Beginn der Planung an die Modulgrößen für Rastermaße zu berücksichtigen, da nicht alle Modulgrößen individuell erhältlich bzw. auf Bauwerksmaße abgestimmt sind. Dennoch gibt es bereits eine Bandbreite von Fassadensystemen, die eine Integration der Photovoltaik über vorgehängte, hinterlüftete Fassadensysteme erlauben. Wichtig ist hier zu berücksichtigen, dass Standardmodulmaße die kostengünstigste Variante darstellt.

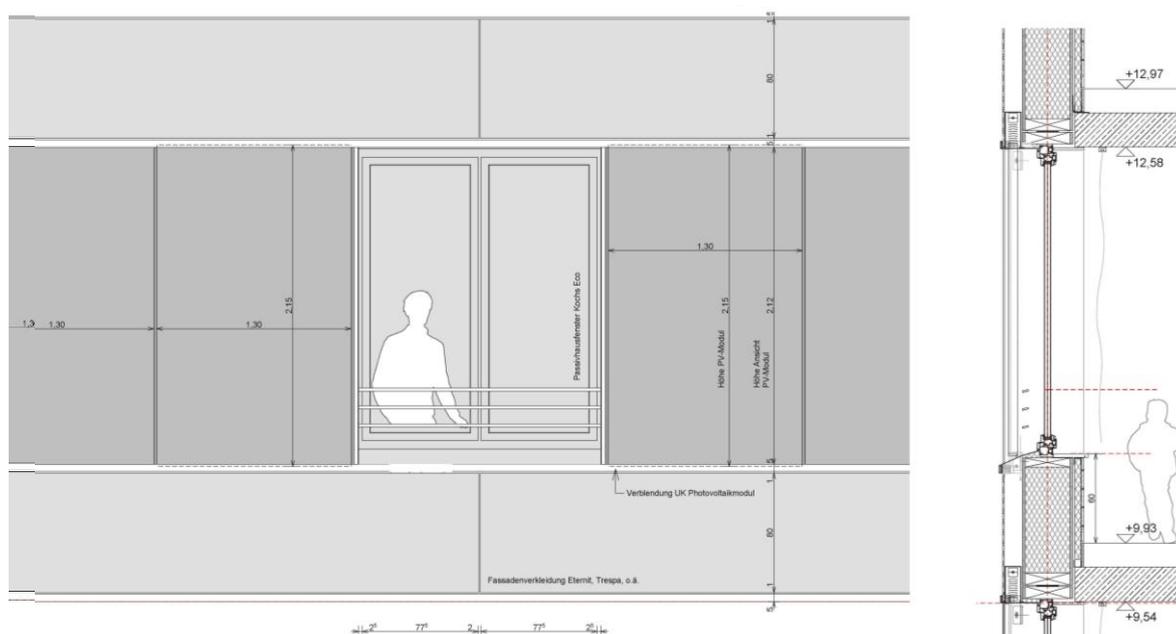


Abb. 183 Photovoltaikfassade – Ansicht und Fassadenschnitt – Die Öffnungsmaße und Modulgrößen wurden aufeinander abgestimmt; Quelle: HHS Architekten + Planer AG

Verlässt man die Standardmaße, so können die Kosten stark steigen. Die Planung des Aktiv-Stadthauses hat gezeigt, dass die Industrie hier innovative Bauteile nur sehr zögerlich zur Verfügung stellt. Zudem zeigte der Planungsprozess, dass die Teilmärkte der Photovoltaikindustrie derzeit sehr kurzatmig sind. So musste in der Planung bereits dreimal das Photovoltaiksystem für die Fassade geändert werden, da die Systeme nicht mehr auf dem Markt verfügbar waren.

Eine weitere Abhängigkeit bei der Planung von Photovoltaikanlagen ist der Brandschutz. Insbesondere im Mehrfamilienhausbau, wie dem Aktiv-Stadthaus, bei dem es sich über eine 150 m lange Zeile handelt, ist bei einer durchgehenden Aktivierung der Dachfläche auf Brandabschnitte zu achten. Die Module werden in der Regel als brennbar eingestuft. Aus diesem Grund ist ein durchgehender Abstand der Module von 1,5 m pro Brandabschnitt im Bau und in der Bilanz zu berücksichtigen. Eventuell ist eine frühzeitige Sonderberechtigung der Feuerwehr einzuholen. Das heißt, es sollten frühzeitig Informationen eingeholt werden, da durch Brandschutzaufgaben mit einer Reduzierung der solaraktiven Fläche zu rechnen ist.



Planung solaraktiver Flächen

Die Planung solaraktiver Flächen ist bereits zu Beginn der ersten Leistungsphasen an zu berücksichtigen. Sie hat Auswirkungen auf:

- Energetische Bilanz
- Gebäudekubatur
- Fensterflächenanteile (Öffnungsanteile vs. opaken Flächen)
- Rastermaße
- Ausbildung der Oberflächen/ Gestaltung
- Brandschutzanforderungen
- Konstruktion
- Detailplanung
- Baukosten

Die Planung ist mit der Energiebilanz und dem architektonischem Erscheinungsbild rückzukoppeln!

Besondere bauphysikalische Abhängigkeiten

Nicht nur der Brandschutz, auch Anforderungen an den Schallschutz (Luftschall) sind speziell bei innerstädtischen Gebäuden zu berücksichtigen. So hat sich bei der Planung des Aktiv-Stadthauses gezeigt, dass die viel befahrene Straße im Süd- Osten des Hauses erhöhte Schallschutzanforderungen an die Fassade stellt.

Aufgrund der vorgehängten, hinterlüfteten PV-Fassade und der erforderlichen Unterkonstruktion wurde anstelle eines massiven Wandaufbaus eine Holzelementfassade gewählt. Diese besitzt den Vorteil, dass die Dämmebene der hocheffizienten Fassade bereits in der Konstruktionsebene liegt und für die Unterkonstruktion der PV-Module nicht mit einem großen Abstand zwischen Modul und tragender Wand geplant werden muss. Die Schallschutzanforderungen sind bei einer Holzelementfassade schwerer zu erfüllen. In einer bauphysikalischen Berechnung wurde eine durchgehende Entkopplung der Installationsebene vom tragenden Bauteil empfohlen, um das gewünschte Schalldämmmaß zu erreichen.

Ökobilanzierung

Die Ökobilanzierung lässt nicht nur am Ende der Planung auf CO₂-Emissionen und Primärenergieaufwendung über den gesamten Lebenszyklus schließen, sondern kann bereits während der Planung die Wahl von Baustoffen unterstützen. Im Planungsprozess des Aktiv-Stadthaus wurde z.B. die Wahl der Holzelementfassade ökobilanziell begleitet. Sie wurde einer tragenden Außenfassade aus Mauerwerk und STB gegenübergestellt. Für die Fassadenbekleidung der vorgehängten, hinterlüfteten Fassade wurden eine Faserzementplatte (Fa. Eternit) einer Holzfaser-Kunststoff-Platte (Fa. Trespa) ökobilanziell gegenübergestellt.

Eine Ökobilanz unter Berücksichtigung der Betriebsphase erfolgte mit der Festlegung der Energiekonzeption in der Leistungsphase 3.

Mit zugrundeliegender Energiekonzeption und Kostenschätzung bzw. -berechnung kann zudem eine Lebenszykluskostenberechnung durchgeführt werden. Damit werden die Kosten die das Gebäude verursacht, ganzheitlich über den Lebenszyklus betrachtet und bietet dem Bauherren eine zusätzliche Planungssicherheit.

Lastmanagement

Die Planung des Lastmanagements und den damit verbundenen möglichen Einsatz von thermischen und elektrischen Speichern ist für die Erhöhung des Eigennutzungsgrades von solar erzeugtem Strom erforderlich. Mit höherem Eigennutzungsgrad kann zu Spitzenlastzeiten das öffentliche Netz entlastet werden.

Die Ermittlung des resultierenden Eigennutzungsgrades ist für den Effizienzhaus-Plus-Nachweis gefordert (siehe auch Abschnitt „Berücksichtigung von möglichen Förderungen“). Zudem ist die Stromspeicherauslegung bereits in der Kostenschätzung, spätestens aber in der Kostenberechnung zu berücksichtigen. Ein erhöhter Eigennutzungsgrad besitzt einen positiven Einfluss auf die Lebenszykluskosten (siehe Kap. 7.5) und ist in einem späteren Abrechnungsmodell für die Energiekosten der Mieter von Relevanz (siehe Kap. 4.10).

Der Flächenbedarf für Pufferspeicher und elektrischem Stromspeicher ist im Raumkonzept zu berücksichtigen. Daher sollte die wirtschaftliche Auslegung der Speichertechnologien bereits früh erfolgen. Da die Kosten derzeit für elektrische Speicher noch hoch sind, eine Preissenkung jedoch ggf. zu erwarten ist, sollte zumindest eine Nachrüstbarkeit bzw. Erweiterbarkeit berücksichtigt werden.

Building Management System (BMS)

Ein BMS für Plus-Energie-Mehrfamilienhäuser ist derzeit auf dem Markt noch nicht erhältlich. Für das Aktiv-Stadthaus wird das BMS daher in einem Projektteam aus Fachingenieuren (Gebäudetechnologie, Prognose & Prozesssteuerung, Systemintegrator) und Firmen zunächst spezifisch für das Pilotprojekt entwickelt. Das System soll jedoch übertragbar und auf weitere Projekte anwendbar sein.

Das BMS ist nicht zwingend in der Entwurfsphase zu definieren. Bei Kenntnis des Systems und der Zuständigkeiten kann das BMS ggf. auch in einer späteren Leistungsphasen (z.B. LP 5) geplant und darauf ausgeschrieben werden. Die Abhängigkeiten im Gebäudekonzept sind jedoch frühzeitig zu erkennen um spätere Schnittstellen zu berücksichtigen. Im Aktiv-Stadthaus ist z.B. ein Nutzerinterface sowie das Management des E-Mobil-Car-Sharings geplant, welches im BMS integriert werden soll.

Mobilität

Ist im Gebäudeverbund, wie beim Aktiv-Stadthaus, die Nutzung von E-Mobilen vorgesehen, so kann bereits in der Grundlagenermittlung über eine mögliche Konzeption der Einbindung (z.B. Car-Sharing oder private Nutzung) der Mobilität in das Gebäudekonzept entschieden werden. Die Analyse des Umfeldes und des gewünschten Nutzerklientels lässt bereits zu Beginn eine sinnvolle PKW-Anzahl abschätzen.

Im Aktiv-Stadthaus fiel die Entscheidung aufgrund der innerstädtischen Lage und möglichen Kurzstreckenfahrten im Raum des Rhein-Main-Gebiets auf eine Car-Sharing-Konzeption. Um eine Mobilitätsgarantie zu gewährleisten, wurde zu Beginn der Planung zunächst von acht Fahrzeugen ausgegangen, welche in der Energiebilanz berücksichtigt wurden.

In der Vorentwurfs- und Entwurfsplanung wurden für die E-Mobilität Stellflächen und Flächen für die Ladeinfrastruktur berücksichtigt. Mit der besonderen Situation der Unterbringung der E-Mobilität im Sockelgeschoss des Bauwerks, welches zur Außendarstellung und der guten Zugänglichkeit für eine erweiterte Quartiersnutzung dient, wurden gesonderte Genehmigungen zum Überfahren des Bürgersteiges erforderlich.

Berücksichtigung von möglichen Förderungen

Die Technologien für ein Plus-Energie-Gebäude sind bereits heute überwiegend auf dem Markt verfügbar. Das Entwicklungspotenzial liegt jedoch noch in der erhöhten Wirtschaftlichkeit durch sinkende Komponentenpreise. Hier ist es wichtig, dass es derzeit noch Förderungen gibt, die helfen, die Produkte in Zukunft auf dem Markt wirtschaftlich und konkurrenzfähig zu gestalten. Bei dem Effizienzhaus-Plus-Standard können aufgrund des Einsatzes von z.T. noch nicht wirtschaftlich abbildbaren Technologien staatliche Förderungen in Anspruch genommen werden. Das Programm Effizienzhaus-Plus des BMVBS fördert prototypische Technologien (z.B. Fassaden-PV, Speichertechnologien) und ein abschließendes Monitoring in der Betriebsphase. Dem Bauherren wird über die Förderung eine Entlastung bei dem Bau zukunftsweisender und der Forschung dienlicher Gebäudestandards gegeben.

Für das Aktiv-Stadthaus wurde solch ein Förderantrag gestellt, der bereits in der Entwurfsphase die Beschreibung der Monitoringkonzeption sowie einen Effizienzhaus-Plus-Nachweis (nach DIN 18599) erforderlich machte. Zudem bedingte der Antrag eine vorgezogene Einholung von Angeboten. Damit ließ sich jedoch bereits sehr früh in der Planungsphase kostenintensive Positionen erkennen und Alternativen wählen, wie z.B. bei der Photovoltaikfassade geschehen.

8.1.3. Genehmigungsplanung

Für den Bauantrag kann für den erforderlichen EnEV-Nachweis die sowieso erfolgte Berechnung gem. DIN 18599 (Anforderung nach Effizienzhaus-Plus) herangezogen werden und bedingt keinen Mehraufwand. Mehraufwendungen können hingegen die Umgehung lokaler Auflagen bedeuten, falls z.B. ein Fernwärmeanschlusszwang oder Auflagen zur Einhaltung des Passivhaus-Standards vorliegen. Bei der Planung des Aktiv-Stadthauses lag dies jedoch nicht vor. Abstimmungen zum vorbeugenden Brandschutz, aufgrund der großen PV-Fläche auf dem Dach (Überschreitung der Brandabschnittslänge gem. HBO < 40 m, fehlende Brandschutzklassifizierung der Dachmodule), haben hingegen einen schnellen Fortgang der Planung verzögert. Für die Abwasserwärmenutzung ist ebenfalls ein ausführlicher Dialog mit dem für die Stadtentwässerung zuständigen kommunalen Eigenbetrieb notwendig. Nach der Eignungsprüfung des Kanals ist das Nutzungskonzept der Stadtentwässerung

Frankfurt vorgestellt worden. Im Anschluss fanden zur Bestimmung der Abwassermenge und -temperatur Messungen statt und die Statik des Kanals wurde geprüft. Liegt der Stadtentwässerung die Detailplanung zur Prüfung vor, ist danach eine Nutzungsvereinbarung durch den Eigenbetrieb zu erstellen. Nach Freigabe des Abwasserwärmekonzepts regelt ein Nutzungsvertrag die vereinbarten Pflichten und Rechte beider Seiten. Dieser Prozess erfordert eine intensive Abstimmung zwischen den Planern und der zuständigen Behörde.



FAZIT



9. Fazit

Wie weit die Möglichkeiten heute bereits entwickelt sind, ein Aktivhaus auch unter erschwerten Bedingungen zu schaffen, das heißt in einem engen urbanen Kontext, auf beengtem Grundstück und mit acht Geschossen, zeigt beispielhaft die Studie für das Wohnhaus in der Frankfurter Innenstadt. Das Aktiv-Stadthaus beweist, dass ein Plus-Energie-Standard für innerstädtische Mehrfamilienhäuser (MFH) möglich ist.

Die Energiekonzeption

Mit einer Kombination aus Photovoltaik und Wärmepumpe besitzt das Aktiv-Stadthaus eine sogenannte „Nur-Strom“-Konzeption. Als Wärmequelle ist eine Abwasserwärmenutzung über die Wärmepumpe für die Wärmebereitung vorgesehen. Alternative Energiekonzepte (Solarthermie, BHKW, Fernwärme) haben gezeigt, dass die Zielsetzung Primärenergiebedarf ≤ 0 bei allen Alternativen eingehalten, jedoch ein Endenergiebedarf ≤ 0 nicht erzielt werden kann. Wärmepumpen-PV-Konzeptionen stellen sich somit als notwendig für das Erreichen des Effizienzhaus-Plus-Standards dar.

Die Plus-Energie-Bilanz

Selbst unter den erschwerten Bedingungen des Grundstücks (Verschattung und geringe Gebäudetiefe) kann mehr Energie in der Netto-Jahresbilanz erzeugt werden als verbraucht wird. Der Nachweis wurde gemäß den Maßgaben des Effizienzhaus-Plus-Standards des BMVBS nach DIN 18599 geführt und mit parallel geführten Bilanzierungen des Passivhausprojektierungspakets (PHPP) verglichen.

In Bezug auf die Bilanz konnten die Verfasser folgende Hinweise ableiten:

Der Passivhausstandard ist für das Erlangen des Plus-Energie-Standards nicht zwingend. Die hohe Energiebezugsfläche im Verhältnis zur solar aktivierbaren Gebäudehülle macht jedoch bei dem Aktiv-Stadthaus eine weit mögliche Reduktion des Energiebedarfs erforderlich. Für dessen Reduktion ist vor allem der Haushaltsstrombedarf eine entscheidende Größe. Der Einsatz von effizienten Haushaltsgeräten (A⁺⁺⁺) wie Kühlschrank, Herd, Backofen, Waschmaschine und Trockner besitzt hier einen wichtigen Einfluss. Die Gewährleistung des Einsatzes effizienter Technologien stellt in einem MFH eine Herausforderung dar. Im Aktiv-Stadthaus sollen daher die Geräte von dem Vermieter bereitgestellt werden.

Bei der Verwendung von hocheffizienten Geräten ist es bilanziell von Vorteil, den Haushaltsstrombedarf nicht über die vom BMVBS vorgegebene Pauschale von 20 kWh/m²a anzunehmen, sondern diese gemäß tatsächlichem Energiebedarf der Haushaltsgeräte (A⁺⁺⁺) und der Leuchtmittel (LED) in einem detaillierten Nachweis zu berücksichtigen. Dies könnte als alternative Bilanzmethode in die Bilanz-Richtlinie des Effizienzhaus-Plus aufgenommen werden.

In der Bilanz hat sich weiterhin gezeigt, dass der geforderte Bezug auf die DIN V 18599 mit der Randbedingung eines mittleren deutschen Klimas (Würzburg) die Bilanz des Stromertrages über abweichende Globalstrahlungswerte stark verfälschen kann. So sollte anstelle eines einheitlichen, jedoch theoretischen Standorts der reale Standort mit seinen Potenzialen für eine aktive und passive Nutzung der Sonneneinstrahlung Grundlage der Bilanzierung sein. Das bilanziell erzielte Plus des Aktiv-Stadthauses beträgt gemäß den Maßgaben des Effizienzhaus-Plus nach BMVBS 11 %. Für den realen Standort Frankfurt ist ein Plus von 5 % (exklusive E-Mobilität) ermittelt worden.

Die Gebäudegeometrie: Ein Machbarkeitskriterium des Plus-Energie-Standards

Allgemein gilt, dass die Kubatur und Geschossigkeit bei Mehrfamilienhäusern eine wesentliche Rolle spielen, um ein Plus zu erzielen. Im Vergleich zu einem Einfamilienhaus besitzt ein Mehrfamilienhaus im Verhältnis zur solar aktivierbaren Hüllfläche (Ertrag) eine größere Energiebezugsfläche (Bedarf). Bei dem Aktiv-Stadthaus ist die Energiebezugsfläche zur aktivierbaren Hüllfläche im Vergleich zu einem Einfamilienhaus im Dach ca. 2,5-fach höher. Die Untersuchung unterschiedlicher Mehrfamilienhaustypologien hat gezeigt, dass die Grenze der Machbarkeit vor allem von der Geschossigkeit abhängig ist. Mehrfamilienhäuser üblicher Gebäudehöhe unterhalb der Hochhausgrenze (bis zu sechs Geschosse) eignen sich gut für das Erreichen eines Plus-Energie-Standards. Eine geringere Geschosszahl begünstigt das Verhältnis, solange die Dachfläche solaraktiv genutzt werden kann. Mit der Konzeption des Aktiv-Stadthauses sind Geschossigkeiten von fünf bis sechs Geschossen gut realisierbar. Mit sieben oder acht Geschossen verschiebt sich das Verhältnis der Energiebezugsfläche zur solaraktiv nutzbaren Fläche zu Ungunsten des Plus-Energie-Standards. Das Erzielen des Standards wird erschwert.

Über die Reduktion des Energiebedarfs sowie die Erhöhung des Energieertrags über leistungsstarke Solartechnik kann begrenzt Einfluss genommen werden. Für den Heizwärmebedarf ist der Passivhausstandard nicht zwingend notwendig. Dennoch wurde bei dem Aktiv-Stadthaus versucht, den Energiebedarf so weit wie möglich zu reduzieren und den solaraktiven Stromertrag zu maximieren. Das Dach ist mit einer größtmöglichen Flächenausnutzung als Pultdach konzipiert und mit Hochleistungsmodulen mit einem Modulwirkungsgrad von 19,5 % belegt. Das Projektteam geht davon aus, dass dies zukünftig eine Standardtechnologie darstellt. Im innerstädtischen Bereich liegt der Fokus der solaraktiv nutzbaren Flächen auf der Dachfläche. Wichtig ist jedoch auch die solaraktive Nutzung der Fassade. In der Fassade sind die Erträge geringer, jedoch wird das nutzbare Flächenpotential erhöht. Das abschließend bilanziell erzielte Plus des aktiv-Stadthauses resultiert aus der zusätzlichen Nutzung der SSO-Fassade über 6 Geschosse. Hier sind Dünnschichtmodule mit einem Wirkungsgrad von 8,5 % vorgesehen.

Allgemein ist ein Plus-Energie-Standard in Bezug auf die Gebäudegeometrie und Nutzung zu prüfen. Die Untersuchung der Abhängigkeit von der Nutzung wurde bei dem Aktiv-Stadthaus auf die Wohnnutzung beschränkt.

Eigengebrauch – Lastmanagement und Speicherkonzeption

Die erfolgreiche Integration erneuerbarer Energien in das Stromnetz stellt zusätzliche Anforderungen an Plus-Energie-Gebäude. Mit dem Ziel, die Stromnetze zu entlasten und die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen, soll der Eigennutzungsgrad des solar erzeugten Stroms maximiert werden.

Der Eigennutzungsgrad des solar erzeugten Stroms soll über einen Stromspeicher erhöht werden, der unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit einen ca. 50-prozentigen Eigennutzungsgrad ermöglicht. Eine weitere Erhöhung des Eigennutzungsgrads wird durch die Einbindung der Wärmepumpe in das Lastmanagement erreicht. Das Lastverschiebepotenzial von Haushaltsgeräten ist beschränkt und aus heutiger Sicht wirtschaftlich nicht vertretbar. Fünf exemplarische Wohneinheiten werden dennoch zu Forschungszwecken mit ansteuerbaren Haushaltsgeräten ausgestattet. Im Rahmen des Gebäudemonitorings sollen alle Verbrauchseinheiten erfasst und ausgewertet werden.

Der PV-Eigennutzungsgrad stellt jedoch nur ein Qualitätskriterium eines Plus-Energie-Gebäudes dar. Die Reaktion auf Erzeugungsleistung und Leistungsbedarf im Netz, besonders für den Ausgleich auf lokaler und regionaler Ebene, bilden ein weiteres Potenzial. Integriert in ein übergeordnetes Energiemanagementsystem können viele dezentrale Stromspeicher sowohl Erzeugungsspitzen aufnehmen als auch zusätzlich Strom in das öffentliche Netz einspeisen. So können Stromspeicher der Plus-Energie-Gebäude einen Pool bilden und sich am Regelenenergiemarkt durch flexible Lasten zu beteiligen. Aufgrund der hohen und nur zum Teil ausgenutzten Speicherkapazität des Stromspeichers des Aktiv-Stadthauses in den Wintermonaten wird für diesen eine Nutzung als Pufferspeicher für das reguläre Stromnetz zur Netzunterstützung angedacht. Eine solche Einbindung wird im Nachgang zu diesem Forschungsbericht weiter verfolgt.

Ein Building-Management-System (BMS), das die Anforderungen für ein MFH im Plus-Energie-Standard erfüllt und u.a. die Lastverschiebungen steuert, ist momentan auf dem Markt nicht verfügbar. Es wird daher im laufenden Planungsprozess nach diesem Abschlussbericht weiter an der Entwicklung eines geeigneten BMS gearbeitet.

Stromvermarktung

Bei einem Plus-Energie-Mehrfamilienhaus wird der Eigentümer bzw. Vermieter gleichzeitig zum Stromanbieter. Für die Umsetzung des Energiekonzepts bedarf es daher eines neuartigen Abrechnungsmodells im Mietwohnungsbau, damit der Strom den Bewohnern verkauft werden kann. Dabei muss die freie Wahl des Stromanbieters gewährleistet bleiben. Rechtliche Vorgaben und Abrechnungsmodalitäten für Mieter stehen somit einem Eigenverbrauchskonzept der gebäudeintern erzeugten regenerativen Energie zunächst entgegen. Beim Aktiv-Stadthaus garantiert eine monatliche Energiepauschale für Strom und Wärme dem Anlagenbetreiber einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage und den Nutzern eine erneuerbare und preisstabile Energieversorgung.

Energiemanagement für den Nutzer

Das Nutzerverhalten stellt einen wesentlichen Faktor für den Energieverbrauch dar. Bei den verschiedenen Nutzern eines Mehrfamilienhauses kann nicht davon ausgegangen werden, dass jeder Bewohner von sich aus eine hohe Motivation zum Energieeinsparen mitbringt. Daneben ist auch der Energieverbrauch regenerativ erzeugten Stroms zu Spitzenzeiten der Erzeugung von Interesse. Die Mieter des Aktiv-Stadthauses sollen daher über ein Nutzerinterface zum Energiesparen bzw. Eigengebrauch des regenerativen Stroms angeregt werden. Dieses soll den Energieverbrauch, die regenerative Energieerzeugung und die Energiebilanz über Tablet-PCs in den Wohneinheiten sichtbar machen. Ein Warmmietenkonzept nach einem Guthaben-System soll zusätzlich einen verstärkten Anreiz zur Energieeinsparung generieren. Jede Wohnung soll für die Energiedienstleistungen Budgets erhalten, die mit der Miet- bzw. Nebenkostenzahlung abgegolten sind. Darüber hinaus gehende Verbräuche sind mit Marktpreisen zu begleichen. Das Interface soll das Bewusstsein beeinflussen, jedoch keinen Zwang zur Nutzung erzeugen. Vielmehr bildet es eine Schnittstelle zwischen Mensch und Technik, fördert den spielerischen Umgang mit Gebäude und Energie und sorgt für eine Identifikation des Nutzers mit seinem Gebäude.

Ein Nutzerinterface mit Integration eines Guthaben-Konzeptes ist auf dem Markt derzeit noch nicht verfügbar. Die notwendigen Inhalte für das Interface wurden daher im Rahmen des Forschungsprojektes skizzenhaft entwickelt.

Elektromobilität im Hausverbund

Die Verknüpfung von Mobilität und Gebäude stellt eine weitere Besonderheit des Aktiv-Stadthauses dar. Eine Car-Sharing-Flotte von bis zu acht e-Mobilen und fünf e-Bikes, die den Hausbewohnern und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden, sorgt für die Einsparung von Parkraum in der Stadt, die Mehrfachnutzung der Autos sowie für eine regenerativ betriebene Mobilität und der damit verbundenen Umweltentlastung. Für die Ladeinfrastruktur sind sowohl konduktive Ladesäulen wie auch Flächen für induktive Ladung vorgesehen. Die konduktive Ladung stellt derzeit noch die wirtschaftlichste und marktgängige Lösung dar. Induktive Lademöglichkeiten werden zur Nachrüstung im Aktiv-Stadthaus vorgesehen. Sie können in Zukunft den Ladekomfort noch erhöhen. Allgemein sollte auf eine hohe Flexibilität geachtet werden, um auch zukünftig auf sich verändernde Techniken im Bereich der Elektromobilität, insbesondere der Lademöglichkeiten, reagieren zu können. Versorgt werden die E-Mobile - wenn möglich - über den solar erzeugten Strom. Da die PKWs in der Regel am Tage genutzt werden, soll der Strom über den Stromspeicher in der Nacht zur Verfügung gestellt werden. Der Speicher wurde entsprechend um die Kapazität für acht Mobile größer dimensioniert, vorrangig wird jedoch das Gebäude mit regenerativem Strom versorgt.

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse für die Car-Sharing-Nutzung zeigt, dass sich die Einbindung der E-Mobilität vor allem als wirtschaftlich darstellen würde, wenn eine pauschale Abgabe der Mieter berücksichtigt werden könnte. Im Gegenzug könnte jeder Mieter die E-Mobilität im Hausverbund über ein ihm zustehendes km-Kontingent frei nutzen. Das Thema der Mobilitätsgarantie stellt hier jedoch eine besondere Herausforderung dar. Durch eine attraktive Preisgestaltung kann der Bewohner ggf. dafür sensibilisiert werden, dass er die integrierte Elektromobilität als vollwertige Alternative zum Privat-PKW akzeptiert und nach einigen Jahren auf diesen komplett verzichten möchte. Das Vermarktungsmodell und die Anzahl der E-Mobile ist betreiberabhängig und wird mit dem zukünftigen Betreiber der Flotte zu bestimmen sein. Ein Startscenario für das Aktiv-Stadthaus kann zunächst aus einer kleineren Flotte von z.B. drei Wagen bestehen. Um eine Mobilitätsgarantie zu Beginn des Flottenbetriebes zu gewährleisten, könnte die Flotte zunächst um benzinbetriebene bzw. Hybrid-Fahrzeuge ergänzt werden.

Lebenszyklusbetrachtung

Aufgrund der reduzierten Betriebsenergieverbräuche gewinnen im Bauen Energieaufwendungen in der Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung von Baumaterialien und des Gebäudes an Gewicht. Vor allem beim Plus-Energie-Standard gilt es, diesen Bereich detailliert zu untersuchen und zu optimieren, damit die Netto-Plus-Energie-Bilanz nicht durch im Betrieb unsichtbare Energieaufwendungen im Ganzen relativiert bzw. energetisch „teuer“ erkaufte wird.

Aus einer ökobilanziellen Betrachtung geht hervor, dass das Aktiv-Stadthaus hinsichtlich der Emissionen aus der Gebäudekonstruktion, selbst mit dem erheblichen Beitrag der Photovoltaikanlage, beim Durchschnitt von Wohngebäuden in Deutschland liegt. Die Verteilung auf die Bauteile ergibt sich aus den statischen Erfordernissen und der besonderen Geometrie des Gebäudes. Eine weitergehende Reduzierung wäre nur mit vollkommen anderen Konstruktionsweisen und dementsprechend geringer Grundstücksnutzung möglich.

Durch das Plus im Gebäudebetrieb hat das Gebäude ein leicht negatives Treibhauspotential im Betrieb. Im Gegensatz zu konventionellen Gebäuden steigen also die Emissionen im Gebäudebetrieb nicht mehr weiter an. Verglichen mit einem Passivhaus kompensiert das Aktiv-Stadthaus die Mehremissionen aus der Gebäudekonstruktion (insbesondere der Photovoltaik) in ca. 10 Jahren. Verglichen mit einem durchschnittlichen Gebäude (DGNB Referenzgebäude) kompensiert das

Aktiv-Stadthaus die Mehremissionen aus der Gebäudekonstruktion bereits in einem Jahr. Dies zeigt einmal mehr das ökologische Potential von Aktivhäusern.

Aus einer Lebenszykluskostenbetrachtung über 50 Jahre geht hervor, dass die Investitionskosten des Pilotprojektes Aktiv-Stadthaus im Vergleich zu einem „Passivhaus“ ($Q_h = 18 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) um ca. 12 % höher liegen. Eine Amortisation in Bezug auf das „Passivhaus“ ist erst nach 50 Jahren gegeben. Dies ist vor allem mit den hohen Investitionen und Austauschzyklen für die Photovoltaik und den Speicher zu begründen. Zukünftig ist jedoch voraussichtlich bei den Sonderkomponenten, wie z.B. dem Stromspeicher, sowohl eine Kostenreduzierung als auch eine Erhöhung der Lebensdauer zu erwarten. Damit verringern sich die resultierenden Investitions-, Instandhaltungs- und Erneuerungskosten für die Plus-Energie-Variante. Insgesamt liegen die Kosten von Plus-Energie-Mehrfamilienhaus und „Passivhaus“ nahe beieinander. Zusätzlich besitzt das Plus-Energie-Gebäude den großen Vorteil einer zusätzlichen CO_2 -Einsparung. Im Gegensatz zu der Kostenentwicklung liegt im Vergleich mit der Ökobilanz die Spreizung der Emissionen viel weiter auseinander. Sollten zukünftig Besitzer und Betreiber von Gebäuden finanziell an den von ihren Gebäuden verursachten Umweltwirkungen beteiligt werden, wird dieser Aspekt deutlich an Wichtigkeit gewinnen und auch Teil der ökonomischen Betrachtung werden. Im Zuge einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbewertung sollten so immer ökonomische wie ökologische Bewertungen eine Entscheidungsgrundlage bilden.

Integrale Planung

Eine Plus-Energie-Konzeption für ein Mehrfamilienhaus ist in enger Zusammenarbeit mit allen Beteiligten, d.h. den Architekten, den Ingenieuren und dem Immobilienbetreiber zu entwickeln. Die Entwicklung der Gebäude- und Energiekonzeption greifen von Beginn der Planung an eng ineinander. Dadurch entsteht im Vergleich zu einem gewöhnlichen Planungsablauf ein planerischer und koordinativer Mehraufwand. So waren häufige Rückkopplungsprozesse mit Forschung und TGA-Planung im Entwurfsprozess der Architekten erforderlich. Von besonderer Bedeutung sind die die Gebäudehülle betreffenden Maßnahmen für die passive und aktive Nutzung solarer Gewinne. Bei der Nutzung von Photovoltaik ist die Berücksichtigung von gestalterischen Gesichtspunkten in der Fassade von höchstem Interesse. Es zeigte sich jedoch, dass die Industrie innovative Bauteile nur sehr zögerlich zur Verfügung stellt (fassadenintegrierbare Photovoltaik, Passivhaus-Schallschutzfenster). Zudem erweisen sich die Teilmärkte der Photovoltaikindustrie derzeit als sehr kurzatmig. In der Planung musste bereits mehrfach das Photovoltaiksystem für die Fassade geändert werden, da die Systeme nicht mehr auf dem Markt verfügbar waren. Die Berücksichtigung von z.B. Rastermaßen der Photovoltaikmodule hat dabei eine direkte Abhängigkeit für den Planungsprozess.

Zum Schluss

Mit dem Aktiv-Stadthaus kann gezeigt werden, dass der Plus-Energie-Standard mit heutigen Technologien im Bau von Mehrfamilienhäusern in einem urbanen Kontext bereits möglich ist. Der Standard birgt bei Mehrfamilienhäusern z.T. noch große Herausforderungen für die Umsetzung. Die Ergebnisse für das Gebäude, die Umwelt und die Profession lohnen jedoch nachhaltig.

Mit dem Blick auf die politischen Ziele der EU bis 2020 sind Bauherren gut beraten, schon heute den Plus-Energie-Standard zu verfolgen. Die lange Lebensdauer der Gebäude könnte ansonsten dazu führen, dass ihre Investitionen in weniger als zehn Jahren bereits veraltet sein werden.

10. Ausblick

Ein innerstädtisches Mehrfamilienhaus steht meist in einem urbanen Umfeld, zumeist jedoch in einem Verbund mehrerer Gebäude. Hier liegt es nahe, die Betrachtungsebene für das Plus-Energie-Mehrfamilienhaus weiter zu spannen. Auf Quartiersebene kann es seine Fähigkeiten voll ausspielen. Indem die Bilanzgrenze des Hauses übersprungen wird, ergeben sich neue Möglichkeiten. Die Energieerzeugungs-, Speicher- und Vernetzungspotentiale erweitern sich beträchtlich, wenn man neben Neubauten auch benachbarte Bestandsgebäude und andere Nutzungen mit jeweils auch anderen Lastprofilen in Betracht zieht.

Die Überlagerung verschiedener Lastprofile mit unterschiedlichen Nutzungsspitzen (wie von Wohnen, Büros, Schulen, Einkaufszentren) kann zu Lastverschiebungen beitragen. Über Tag wenig genutzte Wohnhäuser geben schon heute solar erzeugte elektrische Energie über das Netz an Büros, Schulen und andere Verbraucher mit zu diesen Zeiten bestehenden Energiebedarfsprofilen weiter.

Ein Schwerpunkt zukünftiger Überlagerungen sollte dementsprechend darin liegen, Eigenverbrauch über die Systemgrenze des Gebäudes hinaus in Richtung komplex organisierter Quartiere und energetischer Nahverbände zu denken. Zusätzlich müsste der Plus-Energie-Standard auch in Bezug auf andere Nutzungsarten einer näheren Untersuchung unterzogen werden.



11. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Luftbild des Gebäudestandortes in der Speicherstraße in Frankfurt am Main; Quelle: Microsoft; Gebäudeskizze: STZ.....	16
Abb. 2 Lageplan; Quelle: HHS Planer + Architekten AG.....	16
Abb. 3 Schnitt quer zur Speicherstraße; Darstellung der Geschossigkeit der Umgebenden Bebauung und des Aktiv-Stadthauses; Quelle: HHS Planer + Architekten AG	17
Abb. 4 Grundrissübersicht – Regelgeschoss; Quelle: HHS Planer + Architekten AG.....	17
Abb. 5 Grundrissausschnitt – Regelgeschoss; Quelle: HHS Planer + Architekten AG	18
Abb. 6 EG – E-Mobil-Car-Sharing und Ladenzone; Quelle: HHS Planer + Architekten AG	18
Abb. 7 Grundrissausschnitt – EG - E-Mobil-Car-Sharing und Ladenzone; Quelle: HHS Planer + Architekten AG..	18
Abb. 8 Straßenperspektive des Aktiv-Stadthauses; Quelle: HHS Planer + Architekten AG.....	19
Abb. 9 Luftperspektive mit Darstellung des Gebäudeentwurfs, Stand Okt. 2012; Quelle: HHS Planer + Architekten AG	19
Abb. 10 Vergleich der Bilanzräume von EnEV-, Passivhaus- und Effizienzhaus-Plus-Standard, Quelle: FGee, TU Darmstadt	23
Abb. 11 Vergleich der Bilanzgrößen bei unterschiedlichen Bilanzierungsmethoden, Quelle: STZ	24
Abb.12 Vergleich der Energiebilanzen nach unterschiedlichen Bilanzmethoden (PHPP und DIN V 18599). Für die Vergleichbarkeit wird der spezifische Endenergiebedarf auf die gleiche Energiebezugsfläche von 9.502 m ² bezogen; Bedarfsgrößen gem. Planungsstand 29.02.2012, Quelle: STZ; FGee	24
Abb. 13 Globalstrahlung, links: Standardklima, rechts: Standort Frankfurt.....	26
Abb. 14 Monatliche Globalstrahlung, Standardklima, Quelle: PHPP, überarbeitet durch FGee, TU Darmstadt	26
Abb. 15 Monatliche Globalstrahlung Frankfurt (Standort Aktiv-Stadthaus), Quelle: PHPP, überarbeitet durch FGee, TU Darmstadt	27
Abb. 16 Monatliche Globalstrahlung Frankfurt (Standort Aktiv-Stadthaus), Quelle: STZ, Stand 16.04.2012.....	27
Abb. 17 (links) Gebäudeentwurf Stand: 10.01.12, Quelle: HHS Planer + Architekten AG; (rechts) Netto-Minus-Energie-Bilanz, Stand 10.01.2012, Quelle: STZ	29
Abb. 18 Planungsstand 29.02.12, Randbedingungen des Heizwärmebedarfs, Ausbildung der Gebäudehülle; Quelle: STZ.....	29
Abb. 19 Untersuchte Wandaufbauten des Aktiv-Stadthauses Rückschluss, Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	31
Abb. 20 Oberflächenmaximierung durch 17 weitere Loggien, Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	32
Abb. 21 Detailvorschlag für den Balkonanschluss des Staffelgeschosses, Quelle: FGee, TU Darmstadt	33
Abb. 22 Optimierung Fensterflächenanteile, Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	34
Abb. 23 Optimierung des Fensterbauteils, 1) Verglasung, 2) Rahmen 3) Einbauwärmebrücke, Quelle: FGee, TU Darmstadt	35
Abb. 24 Einbausituationen Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	35
Abb. 25 Durchgehende luftdicht Gebäudehülle, Untersuchung unterschiedlicher Luftdichtheitswerte, Quelle: FGee, TU Darmstadt	36
Abb. 26 Untersuchung unterschiedlich optimierter Detailplanungen bzgl. Wärmebrückenfreiheit, Quelle: FGee, TU Darmstadt	37
Abb. 27 Einfluss optimiertes Lüftungsgerät mit besserem Wärmerückgewinnungsgrad, Quelle: FGee, TU Darmstadt	38
Abb. 28 Optimierung des Heizwärmebedarfs – Gesamtpotential; Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	38
Abb. 29 Optimierung des Heizwärmebedarfs: Prozentuale Anteile der einzelnen Maßnahmen unter Zuweisung der Maßnahmen mit finanziellem Mehraufwand (grau) und durch die Planung beeinflussbare Reduktionsmöglichkeiten (grün); Quelle: FGee, TU Darmstadt	39
Abb. 30 Optimierungspotential des Strombedarfs über die Haushaltsgeräte; Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	41
Abb. 31 Durchschnittlicher Strombedarf pro Jahr - Haushaltsgeräte; Quelle: Datengrundlage: dena, überarbeitet durch: FGee, TU Darmstadt	42
Abb. 32 wirtschaftliche Betrachtung von A+++, A++ und A-Haushaltsgeräten im Vergleich; Quelle: Datengrundlage: dena, Berechnung: FGee, TU Darmstadt	42
Abb. 33 Optimierungspotential des Strombedarf – Beleuchtung; Quelle: FGee, TU Darmstadt	43
Abb. 34 Analyse der Verfügbarkeit von Energiequellen am Gebäudestandort; Quelle: STZ.....	44

Abb. 35 3D-Modell der Umgebungsbebauung des Bauvorhabens „Aktiv-Stadthaus“ mit Darstellung der Verschattung am 22.Dez. (Winterfall); Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	46
Abb. 36 Strahlungsminderung durch Herausdrehung des Grundrisses aus der Südachse; Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	46
Abb. 37 Bild links: gegeneinander aufgestellte Module als PV-Aufdachanlage; Quelle: www.zaugg-rohrbach.ch	47
Abb. 38 Zeichnung rechts: Schnitt mit Darstellung der angedachten PV-Aufdachanlage „fliegendes Dach“ des Aktiv-Stadthauses (Planungsstand: Feb. 2012); Quelle: HHS Planer + Architekten AG.....	47
Abb. 39 Variantenvergleich Stromertrag von PV-Dachanlagen, Stand: April 2012, Quelle: STZ.....	48
Abb. 40 PV-Dachanlage, Planungsstand 12.08.2012, Quelle: HHS Planer + Architekten AG.....	48
Abb. 41 Schnitt durch die PV-Dachanlage auf dem Pultdach des Aktiv-Stadthauses. (Planungsstand 30.11.12); Quelle: HHS Planer + Architekten AG.....	49
Abb. 42 Evaluierung der solaren Aktivierung von Fassadenflächen des Aktiv-Stadthauses; Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	49
Abb. 43 Ertragsstudie der PV-Aufdachanlage inkl. Fassadenintegration des Aktiv-Stadthauses, Stand: 29.02.12; Quelle: STZ.....	50
Abb.44 Solar aktivierbare Fassadenflächen, Planungsstand 23.05.2012, Quelle: HHS Planer + Architekten AG.	50
Abb. 45 Ertrags- und Kostenvergleich von amorphen Silizium-Modulen zu monokristallinen Modulen für die Installation in der Fassade; Quelle: STZ.....	51
Abb. 46 Bild links: PV-Fassadenintegration in ein Wohn- und Bürogebäude; Quelle: B. Weller, Photovoltaik, Edition Detail; Bild mitte: PV-Fassadenintegration, Fa. KACO Firmengebäude; Quelle: www.würthsolar.de; Detail rechts: Fassadendetail in Holzbauweise mit einer vorgehängten, hinterlüfteten PV-Fassade Quelle: www.würthsolar.de; bearbeitet durch FGee.....	51
Abb. 47 Bsp. für einen Abwasserwärme-tauschereinbau; Quelle: STZ.....	52
Abb. 48 Konzeption der Abwasserwärmenutzung für das Aktiv-Stadthaus; Quelle: STZ, FGee.....	52
Abb. 49 Energieschemen Konzeptvarianten A und B, Quelle: STZ, überarbeitet FGee.....	53
Abb. 50 Energieschemen Konzeptvarianten C und D, Quelle: STZ, überarbeitet FGee.....	54
Abb. 51 Variantenvergleich – Endenergie (PHPP), Planungsstand: 31.03.2012; Quelle: STZ.....	55
Abb. 52 Variantenvergleich – Primärenergie (PHPP) , Planungsstand: 31.03.2012; Quelle: STZ.....	55
Abb.53 Primärenergiefaktoren nach DIN V 18599 (2011), Quelle: BMVBS: “Wege zum Effizienzhaus-Plus“, 2011.....	56
Abb. 54 Gegenüberstellung der Investitionskosten der Anlagenkonzeptionen WP + PV; WP + Solarthermie + PV sowie WP + BHKW + PV unterschieden nach Erdsonden(ES)- und Abwassernutzung(AW); Quelle: STZ... 58	58
Abb. 55 Gegenüberstellung der Jahresgesamtkosten der Anlagenkonzeptionen WP + PV; WP + Solarthermie + PV sowie WP + BHKW + PV unterschieden nach Erdsonden(ES)- und Abwassernutzung(AW); Quelle: STZ.....	58
Abb. 56 Energieflussschema des Aktiv-Stadthauses; Quelle: STZ.....	59
Abb.57 Konzeption der Wärmeverteilung mit zwei Versorgungsleitungen; Quelle: STZ.....	60
Abb. 58 Monovalente Wärmeerzeugung; Quelle: STZ.....	60
Abb. 59 dezentrales Lüftungsgerät; Quelle: www.paul-lueftung.net, 03.01.2011.....	61
Abb. 60 Endenregiebilanz, Standort Würzburg, Stand 22.10.12; Quelle:STZ.....	62
Abb. 61 Primärenergiebilanz, Standort Würzburg, Stand 22.10.12; Quelle:STZ.....	63
Abb. 62 Endenregiebilanz, Standort Frankfurt, Stand 22.10.12; Quelle:STZ.....	63
Abb. 63 Untersuchung des Eigennutzungsgrades, monatlicher Strombedarf und – erzeugung, Standort Wüzburg, Stand 22.10.12; Quelle: STZ.....	64
Abb. 64 Darstellung der Abhängigkeiten von Netz, Energiebedarf und Energieertrag – Monatsbilanz ohne Stromspeicher am Standort Frankfurt, Quelle: FGee und INA GmbH.....	65
Abb. 65 Darstellung der Abhängigkeiten von Netz, Energiebedarf und Energieertrag – Stundenbilanz ohne Stromspeicher am Standort Frankfurt, Quelle: FGee und INA GmbH.....	65
Abb. 66 Darstellung der Abhängigkeiten von Netz, Energiebedarf und Energieertrag – Stundenbilanz mit Stromspeicher am Standort Frankfurt, Quelle: FGee und INA GmbH.....	66
Abb. 67 Vollkostenberechnung für das Energieversorgungskonzept des Aktiv-Stadthauses; Quelle: STZ.....	67
Abb. 68 Gegenüberstellung der Speicherkapazität, des Ladewirkungsgrades sowie der spezifischen Kosten verschiedener Stromspeicher; Quelle: STZ.....	68
Abb. 69 Gegenüberstellung des Strombedarfs verschiedener Haushaltsgeräte; Quelle: STZ.....	69

Abb. 70 Untersuchung der Lastverschiebepotentiale durch ansteuerbare Haushaltsgeräte und resultierende Steigerung des PV-Eigennutzungsgrades; Quelle: STZ	69
Abb. 71 Kostenvergleich der Lastverschiebung über ansteuerbare Haushaltsgeräte im Vergleich zu einem Stromspeicher gleichen Verschleißpotentials; Quelle: STZ	70
Abb. 72 Lastverschiebepotentiale inkl. Zentraler Verbraucher (WP) und resultierende Steigerung des PV-Eigennutzungsgrades; Quelle: STZ.....	71
Abb.73 Basisszenario: Gebäudeebene; Quelle: STZ.....	72
Abb. 74 Szenario 2: Quartiersebene, hoher Strombedarf im öffentlichen Netz; Quelle: STZ.....	73
Abb.75 Szenario 3: Quartiersebene, geringer Strombedarf im öffentlichen Netz;Quelle: STZ.....	73
Abb. 76 BMS-Konzeption für das Aktiv-Stadthaus; Quelle: STZ.....	75
Abb.77 Summenzählermodell für das Aktiv-Stadthaus; Quelle: STZ.....	77
Abb. 78 Berechnung der Strompauschale; Quelle: STZ.....	80
Abb.79 Berechnung der Strompauschale ohne Berücksichtigung der Kapitalkosten für die Wärmebereitstellung; Quelle: STZ.....	81
Abb. 80 Monitoring Standardvarianten für 64 WE; Quelle: STZ.....	82
Abb. 81 Weitergehende Erfassung des Nutzerverhaltens für je 5 Mieteinheiten	83
Abb.82 Weitergehende Erfassung des Nutzerverhaltens für je 5 Mieteinheiten	84
Abb. 83 Kompaktheit verschiedener Wohnungsbautypologien; Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	85
Abb. 84 relative jährliche Einstrahlung [%] auf unterschiedliche Orientierungen und Neigungen; Quelle: FGee, TU Darmstadt	86
Abb. 85 Das Verhältnis solaraktiv nutzbarer Dach- zu Fassadenfläche (Südfassade) verschiedener Wohnungsbautypologien im Vergleich; Quelle: FGee, TU Darmstadt	86
Abb. 86 Das Verhältnis solaraktiv nutzbarer Hüllfläche zur Energiebezugsfläche verschiedener Wohnungsbautypologien im Vergleich; Quelle: FGee, TU Darmstadt	87
Abb. 87 Kubaturveränderung eines Punkthauses; Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	89
Abb.88 Verhältnis der Plus-Energie-Bilanzen bei unterschiedlichen Grundflächen und Gebäudehöhen von Punkthäusern unter Annahme des Standorts Frankfurt am Main; Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	89
Abb. 89 Kubaturveränderung einer Zeile in Länge und Höhe; Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	90
Abb.90 Verhältnis der Plus-Energie-Bilanzen bei unterschiedlichen Gebäudebreiten von Zeilenbebauungen bei unterschiedlichen Modulwirkungsgraden und Verbesserung des Endenergiebedarfs unter Annahme des Standorts Frankfurt am Main; Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	90
Abb. 91 Kubaturveränderung einer Zeile in Tiefe und Höhe; Quelle: FGee, TU Darmstadt	91
Abb.92 Verhältnis der Plus-Energie-Bilanzen bei unterschiedlichen Gebäudetiefen von Zeilenbebauungen bei unterschiedlichen Modulwirkungsgraden und Verbesserung des Endenergiebedarfs unter Annahme des Standorts Frankfurt am Main; Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	91
Abb. 93 Abhängigkeit der Plus-Energie-Bilanz von Geschossigkeit (Hüllfläche) und Grundfläche (Energiebezugsfläche) eines Punkthauses (links), einer Zeile mit einer Längenvariation (Mitte), einer Zeile mit einer Tiefenvariation (rechts) im Vergleich, unter Annahme des Standorts Frankfurt am Main; Quelle: FGee, TU Darmstadt	92
Abb. 94 Vergleich der Endenergiebilanz sowie detaillierter Energieerträge und -bedarfe in Abhängigkeit der Wohndichte, Planungsstand: Juni 2012, Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	94
Abb. 95 Vergleich der Endenergiebilanz sowie detaillierter Energieerträge und -bedarfe in Abhängigkeit der Verschattung und der Belegung der Fassade mit PV, Planungsstand: Juni 2012, Quelle: FGee, TU Darmstadt	96
Abb. 96 Vergleich der Endenergiebilanz sowie detaillierter Energieerträge und -bedarfe in Abhängigkeit der Kubatur, Planungsstand: Juni 2012, Quelle: FGee, TU Darmstadt	98
Abb. 97 Vergleich der Endenergiebilanz sowie detaillierter Energieerträge und -bedarfe in Abhängigkeit der Ausrichtung, Planungsstand: Juni 2012, Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	100
Abb. 98 CO ₂ -Ausstoß verschiedener Sektoren; Quelle: www.statistik-nord.de, Juni 2012; Diagramm: FGee.....	104
Abb. 99 Effizienzhaus-Plus in Berlin. Neben einer Induktionsladeplatte vor dem Gebäude (mitte) können die Wagen auch induktiv (links) geladen werden; Quelle: BMVBS	105
Abb. 100 Auflistung verschiedener auf dem Markt verfügbarer Elektrofahrzeuge Quelle: Marktübersicht des ADAC , Mai 2011	106
Abb. 101 Renault Twizy. Quelle: Renault.....	107

Abb. 102 „Tankvorgang“ beim Mitsubishi iMiev. Quelle: Hager Vertriebs-gesellschaft	108
Abb. 103 Ladebox „Witty“ der Fa. Hager; Quelle: Hager Vertriebsgesellschaft	108
Abb. 104 Funktionsschmea der beiden Spulen, zwischen denen sich ein Magnetfeld aufbaut; Quelle: SEW eurodrive	109
Abb. 105 Induktionsplatte der Fa. SEW Eurodrive; Quelle: SEW eurodrive	109
Abb. 106 Linienbusse in Turin, die induktiv mit Strom versorgt werden. Die mittlere Abbildung zeigt das Schema der Induktion, bestehend aus zwei Spulen. Quelle: Conduktix-Wampfler.....	109
Abb. 107 Schnitt durch das Erdgeschoss des Aktiv-Stadthauses mit E-Mobil-Ladestationen; Quelle: HHS Planer + Architekten AG	111
Abb. 108 Grundriss des Aktiv-Stadthauses; Die Ladesäulen befinden sich jeweils zwischen zwei Parkplätzen; Quelle: HHS Planer + Architekten AG	111
Abb. 109 Audi A1 etron(li); Quelle: Audi AG; Citroen C-zero (mi); Quelle: Citroen; smart ed (re); Quelle: Daimler	113
Abb. 110 (links) Pedelecs der ABGnova im Sophienhof Frankfurt; Quelle: ABGnova; (rechts) Der kleine Bruder des smart ed: das smart Pedelec; Quelle: Daimler AG.....	114
Abb. 111 Schnittstellengrafik zum Nutzerinterface; Je nach Betreiber wird die Elektromobilität aktiv in das Nutzermanagement eingebunden;.....	116
Abb. 112 Entfernungen großer Städte im Rhein-Main-Gebiet unter Angabe der vorhandenen Ladesäulen der Mainova (rot); Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	116
Abb. 113 Die derzeitig vorhandenen Ladesäulen der Mainova im Rhein-Main-Gebiet; Quelle: FGee, TU Darmstadt	117
Abb. 114 Angebot für das Aktiv-Stadthaus über den Smart ED; Quelle: eco:factory, 30.07.2012.....	119
Abb.115 Vergleich der Realkilometerkosten eines Smarts ed mit einem Smart 0,8 cdi; Quelle: FGee, TU Darmstadt	119
Abb. 116 Kosten pro km bei verschiedenen Energieerzeugung- und Speicher-konzeptionen und einem durchschnittlichen Energie-verbrauch von 0,24 kWh/km entsprechend den Annahmen des BMVBS.	120
Abb. 117 Kosten pro km bei verschiedenen Energie-erzeugungs- und Speicher-konzeptionen, und einem durchschnittlichen Energie-verbrauch von 0,156kWh/km entsprechend den Fahrleist-ungsergebnissen des ADAC. Angabe als Umlage auf 74 Wohneinheiten, die Wohn-fläche des Aktiv-Stadthauses und Gesamtkosten. Bei der Betrachtung sind Werkstatt-kosten und Wertverlust der voran gegangenen Berechnung nicht enthalten.; Quelle: STZ.....	121
Abb. 118 Pedelecs im Sophienhof; Quelle: ABG Nova	128
Abb. 119 Priorisierung der solaren Energieverteilung im Aktiv-Stadthaus; Quelle: FGee, TU Darmstadt	129
Abb. 120 Monatlicher theoretischer Strombedarf in Abhängigkeit der Flottengröße, als Grundlage einer Speicherdimensionierung; Quelle: FGee, TU Darmstadt	129
Abb.121 Bezug Nutzerinterface zu Monitoringkonzeption; Quelle: FGee, TU Darmstadt	136
Abb. 122 Beispielfhafte Darstel-lung der Anzeige-möglichkeit des Energie-kontingents für Strom und Wärme; links: positives Guthaben; rechts: Unterschreitung des Guthabens, Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	137
Abb. 123 Beispielhafte Ermittlung des Energiekontingents für Wärme; Quelle: FGee, TU Darmstadt	138
Abb. 124 Beispielhafte Ermittlung des Energiekontingents für Strom; Quelle: FGee, TU Darmstadt	138
Abb. 125 Wohnungstypen des Aktiv-Stadthauses; Quelle: HHS Planer + Architekten AG.....	139
Abb. 126 Startseite Nutzerinterface; Quelle der Grafik: TU Darmstadt, FGee; Rahmen:	144
Abb.127 Interfaceanzeige: Prognose/ Empfehlung; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt;.....	146
Abb. 128 Interfaceanzeige: Bilanz-Prognose der nächsten 24 h; Quelle: FGee, TU Darmstadt	148
Abb. 129 Interfaceanzeige: Energiebezug, aktuell; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.....	150
Abb. 130 Interfaceanzeige: Energiebezug, Wochenanzeige Strom; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	150
Abb. 131 Interfaceanzeige: Energiebezug, Wochenanzeige Wärme ; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	151
Abb. 132 Interfaceanzeige: Energiebezug, Expertenmodus ; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.....	151
Abb. 133 Interfaceanzeige: Raumtemperatur ; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	153

Abb. 134 Interfaceanzeige: Raumtemperatur, erweiterte Anzeige ; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	153
Abb. 135 Interfaceanzeige: Verbrauch, aktuell, Strom für 10 WE ; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	156
Abb. 136 Interfaceanzeige: WW-Verbrauch d. letzten 7 Tage; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	156
Abb. 137 Interfaceanzeige: Stromverbrauch d. letzten 12 Monate; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	157
Abb. 138 Interfaceanzeige: anteiliger Stromverbrauch einzelner Geräte; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	157
Abb. 139 Interfaceanzeige: Energiebilanz, aktuell; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	158
Abb. 140 Interfaceanzeige: Energiebilanz, derletzten 7 Tage; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	159
Abb. 141 Interfaceanzeige: Energiebilanz, der letzten 12 Monate inkl. Jahresdurchschnitt; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	159
Abb. 142 Interfaceanzeige: E-Car-Sharing; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	160
Abb. 143 Interfaceanzeige: Profile, Wahlanzeige; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	161
Abb. 144 Interfaceanzeige: Profile, Manuelle Einstellungen; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	162
Abb. 145 Interfaceanzeige: Profile, Bsp. Lüftungsregelung; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	162
Abb. 146 Interfaceanzeige: Energiespartipps; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	164
Abb. 147 Interfaceanzeige: Wetter; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	166
Abb.148 Interfaceanzeige: Kalender; Quelle der Grafik: FGee, TU Darmstadt; Rahmen: iPad, Apple Inc.	166
Abb.149 Primärenergiebedarf von Wohngebäuden unterschiedlicher energetischer Standards (Betrachtungszeitraum 50 Jahre). Die Reduzierung des Wärmebedarf könnte bis 2020 mit dem "Nahezu Nullenergiehaus" der EU ihren Abschluss finden. Diese Gebäude werden ihren Energiebedarf für Heizung und Warmwasser sowie Hilfs- und Nutzerstrom im Jahresmittel selbst decken. Gebäude werden dann nahezu nur noch Primärenergiebedarf für die Konstruktion verbrauchen. Perspektivisch müssen demnach die Abschnitte des Lebenszyklus vor und nach der Nutzungsphase Einzug in die Bewertung von Gebäuden halten, soll der Ressourcenbedarf ganzheitlich erfasst und gemindert werden. Quelle: ina GmbH und FGee, TU Darmstadt	170
Abb.150 Schema Eutrophierungspotential (EP), Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	176
Abb.151 Schema Ozonabbau (ODP), Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	177
Abb.152 Schema bodennahe Ozonbildung (POCP), Quelle: FGee, TU Darmstadt	177
Abb.153 Schema Primärenergieinhalt nicht erneuerbar (PEI), Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	178
Abb.154 Schema Primärenergieinhalt erneuerbar, Quelle: FGee, TU Darmstadt	178
Abb.155 Schema Treibhauseffekt (GWP), Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	179
Abb.156 Schema Versauerung (AP), Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	180
Abb.157 Vergleichende Ökobilanz zwischen dem Aktiv-Stadthaus und einem gleichgroßen Passivhaus sowie dem DGNB Referenzgebäude; Quelle: FGee, TU Darmstadt.....	181
Abb.158 Vergleich des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs (PEI n.-ern.) der Gebäudekonstruktion für die Ausführung des Aktiv-Stadthaus als Passiv- (links) und als Aktivhaus (rechts), Quelle: FGee, TU Darmstadt	184
Abb.159 Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) der Gebäudekonstruktion für die Ausführung des Aktiv-Stadthaus als Passiv- (links) und als Aktivhaus (rechts), Quelle: FGee, TU Darmstadt	185
Abb.160 Vergleich des Versauerungspotentials (AP) der Gebäudekonstruktion für die Ausführung des Aktiv-Stadthaus als Passiv- (links) und als Aktivhaus (rechts), Quelle: FGee, TU Darmstadt	185
Abb.161 Vergleich des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs (PEI n.-ern.) des Aktiv-Stadthauses (links) mit der Ausführung als Passivhaus ohne energiegewinnende Systeme und dem DGNB Referenzgebäude, Quelle: FGee, TU Darmstadt	186

Abb.162 Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) des Aktiv-Stadthauses (links) mit der Ausführung als Passivhaus ohne energiegewinnende Systeme und dem DGNB Referenzgebäude, Quelle: FGee, TU Darmstadt	187
Abb.163 Vergleich des Versauerungspotentials (AP) des Aktiv-Stadthauses (links) mit der Ausführung als Passivhaus ohne energiegewinnende Systeme und dem DGNB Referenzgebäude, Quelle: FGee, TU Darmstadt	187
Abb.164 Entwicklung des Treibhauspotentials (GWP) aus Gebäudekonstruktion und -betrieb über 50 Jahre., Quelle: FGee, TU Darmstadt	188
Abb.165 Aufbau Außenwand Variante "Passivhaus KS + Eternit", Quelle: FGee, TU Darmstadt	190
Abb.166 Aufbau Außenwand Variante "Passivhaus Holzfassade Eternit", Quelle: FGee, TU Darmstadt	190
Abb.167 Vergleich des Eutrophierungspotentials unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt	191
Abb.168 Vergleich des Ozonabbaupotentials unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt	192
Abb.169 Vergleich des Photochemischen Oxidantienbildungspotentials unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt	192
Abb.170 Vergleich des Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEI n.-ern.) unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt	193
Abb.171 Vergleich des Primärenergiebedarf erneuerbar (PEI ern.) unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt	193
Abb.172 Vergleich des Primärenergiebedarf gesamt (PEI ges.) unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt	194
Abb. 173 Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt	194
Abb. 174 Vergleich des Versauerungspotentials (AP) unterschiedlicher Außenwandaufbauten bei ansonsten gleicher Bauweise, Quelle: FGee, TU Darmstadt	195
Abb. 175 Energiekosten-Flussdiagramm des Aktiv-Stadthauses; Quelle: FGee, TU Darmstadt	198
Abb. 176 Energiekosten-Flussdiagramm des „Passivhauses“ (Qh=18 kWh/m²a); Quelle:FGee, TU Darmstadt	199
Abb. 177 Energiekosten-Flussdiagramm des Referenzgebäudes; Quelle:FGee,TU Darmstadt	200
Abb. 178 Prozentuale Gegenüberstellung der anteiligen Kosten an den Gesamtkosten; Quelle: FGee, TU Darmstadt	201
Abb. 179 LCC des Aktiv-Stadthauses ohne und mit Förderung im Vergleich zu einem „Passivhaus“ und EnEV-Referenzgebäude; Quelle: FGee, TU Darmstadt	202
Abb. 180 Gegenüberstellung der Entwicklung der Lebenszykluskosten und CO ₂ -Emissionen des Aktiv-Stadthauses im Vergleich zu einem „Passivhaus“ und EnEV-Referenzgebäude; Quelle: FGee, TU Darmstadt	203
Abb. 181 Verlauf und Beeinfluss-barkeit der Gesamtkosten eines Bauwerks; Quelle: M.Hegger et al., Energie Atlas, Nachhaltige Architektur, Edition Detail, 1. Auflage, 2007	207
Abb. 182 Integraler Planungsprozess – Darstellung der Planungsparameter für ein Plus-Energie-MFH abgeleitet aus den Planungserfahrungen des Aktiv-Stadthauses; Quelle: FGee, TU Darmstadt	208
Abb. 183 Photovoltaikfassade – Ansicht und Fassadenschnitt – Die Öffnungsmaße und Modulgrößen wurden aufeinander abgestimmt; Quelle: HHS Architekten + Planer AG	211
Abb. 184 Optimierungspotential des Strombedarf - Haushaltsgeräte; Quelle: FGee, TU Darmstadt	237
Abb. 185 Durchschnittlicher Strombedarf pro Jahr - Haushaltsgeräte; Quelle: FGee	238
Abb. 186 Investitions- und Betriebskosten nach Lebensdauer, statische Berechnung für Kühl-/Gefrierkombinationen; Quelle: FGee, TU Darmstadt	238
Abb. 187 Investitions- und Betriebskosten nach Lebensdauer, statische Berechnung für Geschirrspüler; Quelle: FGee, TU Darmstadt	239
Abb. 188 Investitions- und Betriebskosten nach Lebensdauer, statische Berechnung für E-Herd/Backofen; Quelle: FGee, TU Darmstadt	239
Abb. 189 Investitions- und Betriebskosten nach Lebensdauer, statische Berechnung für Waschmaschinen; Quelle: FGee, TU Darmstadt	240
Abb. 190 Investitions- und Betriebskosten nach Lebensdauer, statische Berechnung für Kondentrockner; Quelle: FGee, TU Darmstadt	240

Abb. 191 Wirtschaftliche Gesamtbetrachtung (statisch) von A+++, A++ und A-Haushaltsgeräten im Vergleich;
Quelle: Datengrundlage: dena, Berechnung: FGee, TU Darmstadt..... 241

12. Quellenverzeichnis

AP A | Gebäudeenergiekonzeption

Literatur:

- (1) BMVBS, Wege zum Effizienzhaus-Plus, Berlin, August 2011
- (2) DIN V 18599 - „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“
- (3) DIN 4108-2 – „Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“
- (4) DIN 4108-6 - „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs“
- (5) DIN 4701-10 - „Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung – Teil 10“
- (6) DIN 277 - „Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau“

Internet:

- (1) <http://www.nachhaltigesbauen.de/oekobaudat/index.php> (02.2012)
Ökobau.dat – Nutzung – Fahrstuhl geringe Auslastung (100.000 Fahrten pro Jahr)
- (2) <http://www.stromeffizienz.de> (03.2012)

AP B | Elektro-Mobilität

Literatur:

- (1) Shell, Mobilitätsstudie: Shell PKW Szenarien bis 2030, 2010
- (2) Société Nouvelle d’Affinage des Métaux (SNAM): “A new Life for lithium ion batteries”, 2005
- (3) Defner et al., Future Fleet: Elektrofahrzeuge in betrieblichen Fahrzeugflotten; gefördert durch: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Fördernummer: 03KP604, 2011
- (4) Bundesverbandes WindEnergie e.V. Zeitschrift: „Neue Energie“: volle Ladung aber wie!, S.72ff., Januar 2011
- (5) Hochschule für angewandte Wissenschaften; Prof. Dr.-Ing. Robin Vanhaelst, Fakultät für Fahrzeugtechnik; Redox-Flow Batterien für Elektroautos, Vortrag 5. Greifswalder Forum „Umwelt und Verkehr“, 2009
- (6) Notter et. al., Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental of electric vehicle Technology and Society Laboratory, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Empa)
- (7) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, „Effizienzhaus-Plus mit Elektromobilität“, S.20

-
- (8) RWE, Präsentation: „Elektromobilität aus Sicht der Energieversorgungsunternehmen“, Dr. Ingo Diefenbach, 7.CIGRE/CIRED-Informationsveranstaltung, 04.Nov. 2009, S. 6

Internet:

- (1) <http://www.heise.de/autos/artikel/Induktive-Ladekonzepte-von-Conductix-Wampfler-1612803.html?artikelseite=3> (Stand 05.11.2012)
- (2) <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Lithiumionen-Akku-LiIon-lithium-ion.html> (Stand 7.11.2012)
- (3) <http://www.ruf-automobile.de/de/de-aktuelles-eruf.php> (Stand 10.10.2012)
- (4) <http://www.smart.de/produkte-smart-fortwo-electric-drive/> (Stand 06.08.2012)
- (5) <http://www.golem.de/news/elektromobilitaet-tesla-plant-ladestationen-und-neue-modelle-1209-94576.html> (Stand 10.10.2012)
- (6) <http://www.renault.de/renault-modellpalette/ze-elektrofahrzeuge/twizy/twizy/in-wenigen-worten/> (Stand 10.10.2012)
- (7) <http://www.carsharing-vergleich.de/carsharing-zukunft/> (Stand 11.08.2012)
- (8) <http://www.gdv.de/2012/08/was-sie-ueber-den-versicherungsschutz-von-pedelecs-wissen-sollten/>, (Stand 22.10.2012)
- (9) http://www.eon.de/de/eonde/pk/produkteUndPreise/E.ON_eMobil/Elektroauto_von_Sixt/index.htm

AP C | Energiemanagement für den Nutzer

Literatur:

- (1) K. Voss et al., Nullenergiehäuser, Dokumentation Plus-Energie-Haus Kraftwerk B, 2011

AP D | Lebenszyklusbetrachtung

Literatur:

- (1) Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen: Nutzungsprofil Neubau Wohngebäude 2012 (NWO12), Kriterium ENV1.1 ‚Ökobilanz – Emissionsbedingte Umweltwirkungen‘, S.2ff. Stuttgart, 2012
- (2) DGNB GmbH, „Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus“, Neubau Wohngebäude, Version 2012
- (3) Eyerer (1996), S. 221f.

Internet:

- (1) http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/70294/publicationFile/55553/anlage-1-definition_und_berechnungsgrundlage.pdf. (Stand 30.5.2012)

-
- (2) http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/BNB_Steckbriefe_Buero_Neubau/aktuell/BNB_BN_111.pdf (Stand 5.4.2012)
 - (3) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Ökobau.dat. April 2010. Abrufbar im internet. URL: <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html>. (Stand 18.10.2010)
 - (4) BBSR: Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). 3.1.2011. URL: http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebaeuedaten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen__2011-11-03.pdf. (Stand 5.4.2012)
 - (5) <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html>. (Stand 15.06.2012)
 - (6) Institut für Bauen und Umwelt (IBU), URL: <http://bau-umwelt.de>

Integrale Planung – Mehraufwendung im Planungsprozess

Literatur:

- (1) M. Hegger et al., Energie Atlas, Nachhaltige Architektur, Edition Detail, 1. Auflage, 2007

Internet:

- (2) <http://www.ifes-frechen.de> (Okt. 2012)

ANLAGEN



13. ANLAGEN

1. ANLAGE - Wirtschaftlichkeit von A⁺⁺⁺- Haushaltsgeräten

Optimierung des Haushaltsstroms – Eine Frage der Bilanz

Durch den Einsatz von A⁺⁺⁺-Geräten im Vergleich zu konventionellen A-Geräten (bzw. B-Geräten bei Wäschetrocknern) können in der PHPP-Bilanz bereits 5 kWh/m²a eingespart werden. Die ABG stellt in Aussicht für die Bewohner Einbauküchen mit A⁺⁺⁺-Geräten bereitzustellen, um so die Effizienz auch gewährleisten zu können. Der Bedarf in der unten dargestellten Grafik enthält nicht nur den Strombedarf für Haushaltsgeräte⁵⁶, sondern auch für Beleuchtung und sonstigen Strom (Unterhaltungsmedien), nicht aber den Strombedarf für Hilfsstrom. Somit ist er mit der Pauschale des BMVBS vergleichbar. Der erreichbare Strombedarf von 16 kWh/m²a (ohne Optimierung der Leuchtmittel) zeigt, dass eine detaillierte Bilanz für den Plus-Energie-Standard empfohlen werden kann.

Der Einsatz von A⁺⁺⁺-Geräten besitzt einen hohen Einfluss auf die Strombilanz. Im Mietwohnungsbau kann dies z.B. durch die Bereitstellung der Geräte durch den Vermieter sichergestellt werden.

Die wirtschaftliche Überprüfung von A⁺⁺⁺-Geräten wurde auf Grundlage einer Studie der dena⁵⁷ zu energieeffizienten Geräten durchgeführt. Dieser Studie wurden die durchschnittliche Lebensdauer der Geräte und typische Strombedarfe zu den jeweiligen Effizienzlabels entnommen.

Optimierung Haushaltsstrombedarf

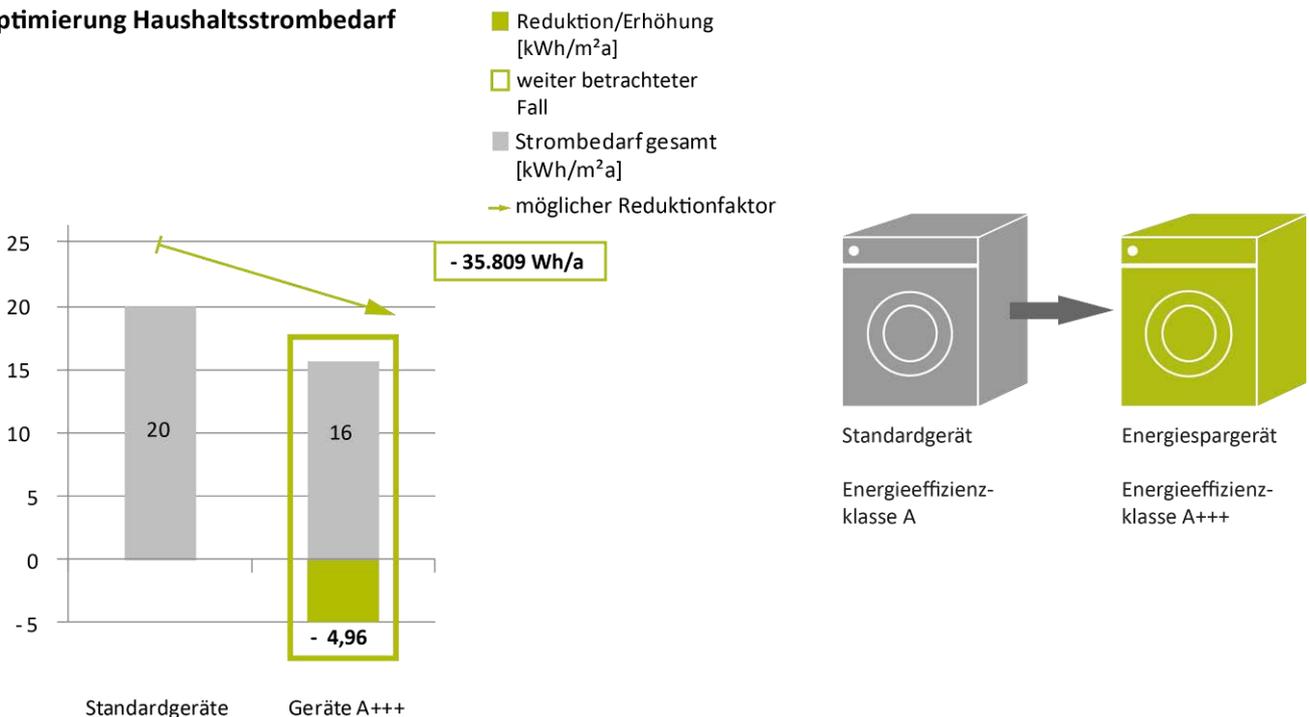


Abb. 184 Optimierungspotential des Strombedarf - Haushaltsgeräte; Quelle: FGee, TU Darmstadt

Bei der Gesamtbetrachtung der Wirtschaftlichkeit aller Geräte (Waschmaschine, Wäschetrockner, Kühl-Gefrierkombination, Herd|Backofen und Spülmaschine) bei einer durchschnittlichen Lebensdauer der Geräte von

⁵⁶ Kühlschrank, Spülmaschine, Herd, Backofen, Waschmaschine, Trockner

⁵⁷ www.stroeffizienz.de (3/2012)

13,5 Jahren stellt sich eine wirtschaftliche Anschaffung von A⁺⁺⁺-Geräten vor allem gegenüber den vom Verbrauch ebenfalls noch zu empfehlenden A⁺⁺-Geräten heraus.

Durchschnittlicher Bedarf [kWh/ a]	A+++	A++	A (B Trockner)
Kühl-/Gefrierkombination	150	230	345
Geschirrspüler (bei 3 Anw./Woche)	195	262	327
Herd (bei 1 Anw./Tag)	150	150	150
Waschmaschine (bei 3 Anw./Woche)	159	210	238
Wäschetrockner (bei 3 Anw./Woche)	147	234	538

Abb. 185 Durchschnittlicher Strombedarf pro Jahr - Haushaltsgeräte; Quelle: FGee

1.1. Kühl-/Gefrierkombination

Einer der Hauptstromverbraucher im Haushalt sind die Kühl-/Gefrierkombinationsgeräte. Durch den 24h-Betrieb sind sie ausschlaggebend beim Stromverbrauch. A⁺⁺⁺-Geräte haben hier gegenüber A⁺⁺-Geräten keine Mehrinvestition zu verzeichnen. Schlechtere Effizienz-Labels als A-Geräte sind hier nicht mehr auf dem Markt verfügbar. Bei einer durchschnittliche Lebensdauer von 14 Jahren amortisieren sich A⁺⁺⁺-Geräte sofort nach dem Kauf.

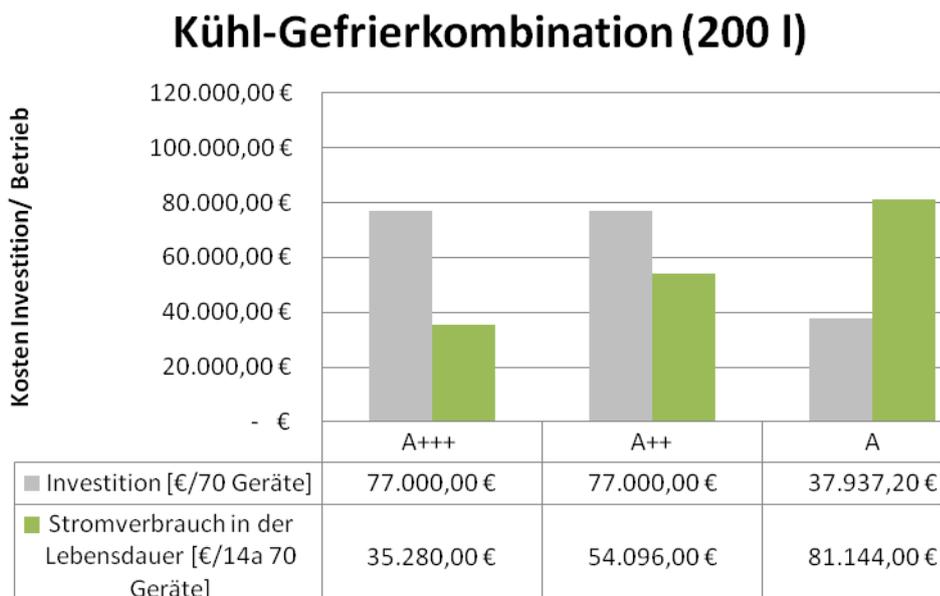


Abb. 186 Investitions- und Betriebskosten nach Lebensdauer, statische Berechnung für Kühl-/Gefrierkombinationen; Quelle: FGee, TU Darmstadt

1.2. Geschirrspüler

A⁺⁺⁺-Geschirrspüler amortisieren sich gegenüber A-Geräten bereits nach knapp 7 Jahren. Schlechtere Geräte als solche mit dem A-Energieeffizienzlabel sind nicht mehr neu auf dem Markt verfügbar. A⁺⁺⁺-Geräte verursachen ggü. A⁺⁺-Geräten kaum Mehrinvestitionen. Je nach Energiekonzept kann es sinnvoll sein die Geräte an den Warmwasseranschluss anzuschließen (z.B. bei Wahl einer Wärme-Strom-Konzeption). Im Fall des Aktiv-Stadthauses ist dies jedoch nicht der Fall.

Geschirrspüler (13 Maßgedecke)

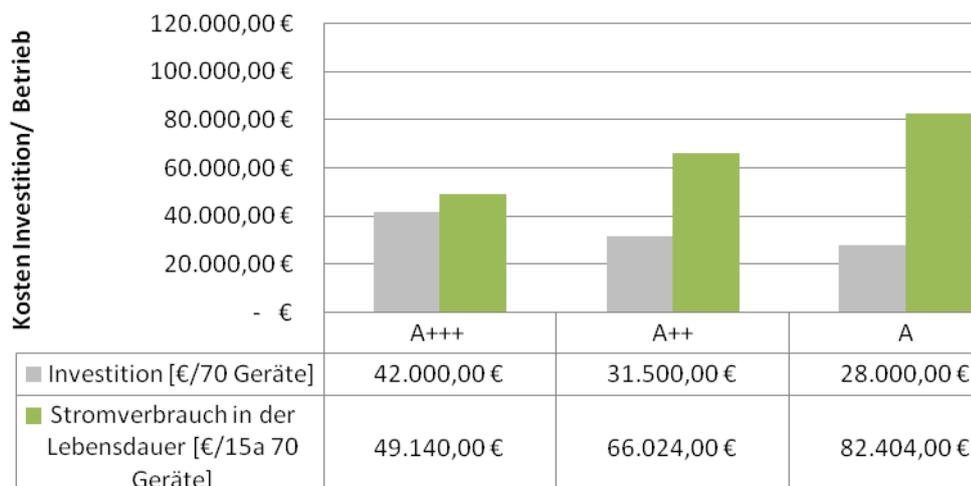


Abb. 187 Investitions- und Betriebskosten nach Lebensdauer, statische Berechnung für Geschirrspüler; Quelle: FGee, TU Darmstadt

1.3. Elektroherd/Backofen

Bei Elektroherden sind derzeit kaum Unterschiede in der Energieeffizienz bei den auf dem Markt verfügbaren Geräten zu bemerken. Daher wurden diese nur für die Gesamtbetrachtung mit einberechnet. Angemerkt sei, dass Gas-Herde wesentlich energiesparender im Verbrauch sind. Da hier aber ein fossiler Brennstoff in Einsatz kommen würde, ist der Einsatz nicht zu empfehlen.

E-Herd/Backofen

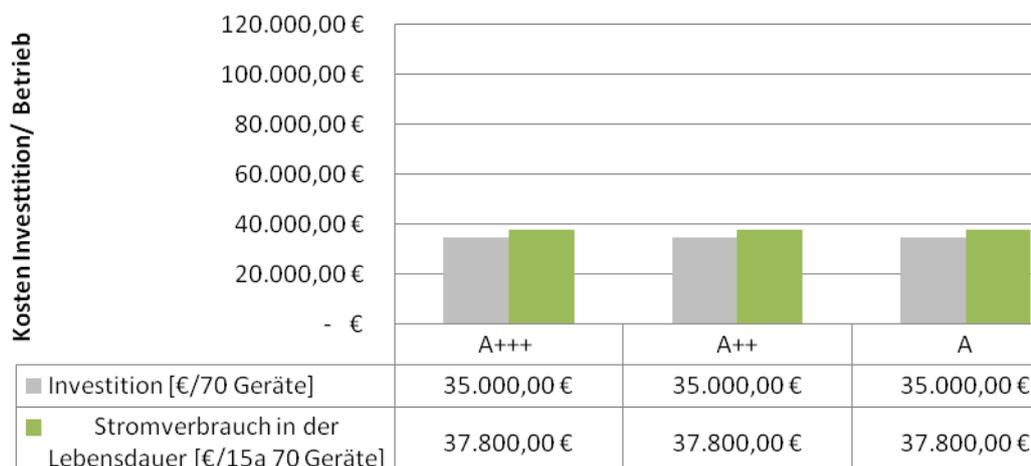


Abb. 188 Investitions- und Betriebskosten nach Lebensdauer, statische Berechnung für E-Herd/Backofen; Quelle: FGee, TU Darmstadt

1.4. Waschmaschine

Bei A⁺⁺⁺-Waschmaschinen gibt es keine Mehrinvestition gegenüber A⁺⁺-Geräten zu verzeichnen. Daher amortisieren sich diese direkt nach dem Kauf. Genauso wie bei der Geschirrspülern ist hier ebenfalls ein Anschluss an das Warmwasser-System möglich, jedoch beim Aktiv-Stadthaus durch das Nur-Strom-Konzept nicht zu empfehlen. Schlechtere Geräte als solche mit dem A-Energieeffizienzlabel sind nicht mehr neu auf dem Markt verfügbar.

Waschmaschine (6-7 kg)

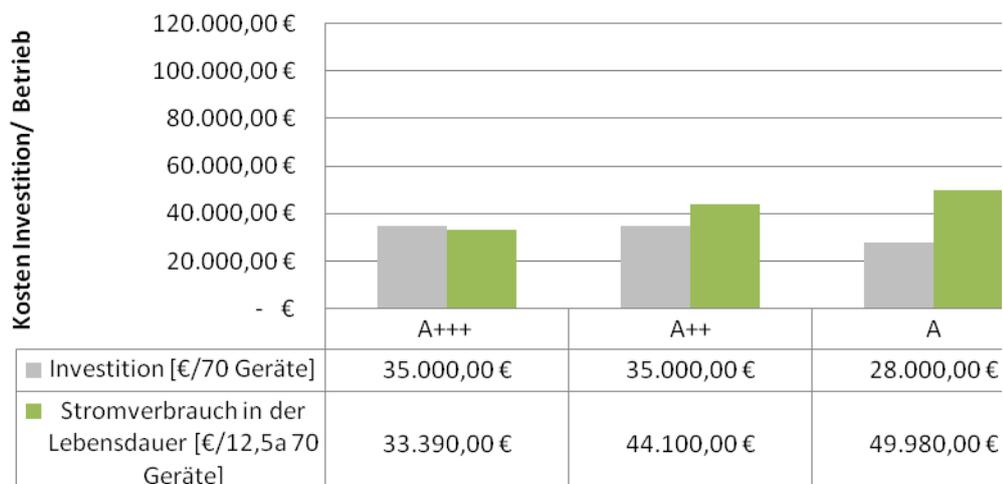


Abb. 189 Investitions- und Betriebskosten nach Lebensdauer, statische Berechnung für Waschmaschinen; Quelle: FGee, TU Darmstadt

1.5. Kondenstrockner

Gerade bei Kondenstrocknern sind in der Neuanschaffung die Unterschiede im Energieverbrauch frappierend. Durch die Weiterentwicklung unter der Verwendung der Wärmepumpentechnologie konnten die Geräte wesentlich effizienter werden. Da diese mit A ausgezeichneten Geräte noch relativ teuer sind, sind hier auch noch Geräte mit dem EU-Label B in unterschiedlichen Effizeinzklassen (hier als gut/schlecht aufgeführt) auf dem Markt erhältlich. Am Energisparendsten wäre der Einsatz eines sogenannten „Trockenschrank“ der direkt an die kontrollierte Zu-/Abluftanlage angeschlossen wird. Hier wurde davon ausgegangen, dass konventionelle Geräte zum Einsatz kommen werden. Daher wurde der Trockenschrank nicht in die Betrachtung mit einbezogen. A-Geräte amortisieren sich gegenüber guten B-Geräten sofort und sind hier deshalb absolut empfehlenswert.

Kondenstrockner (8kg)

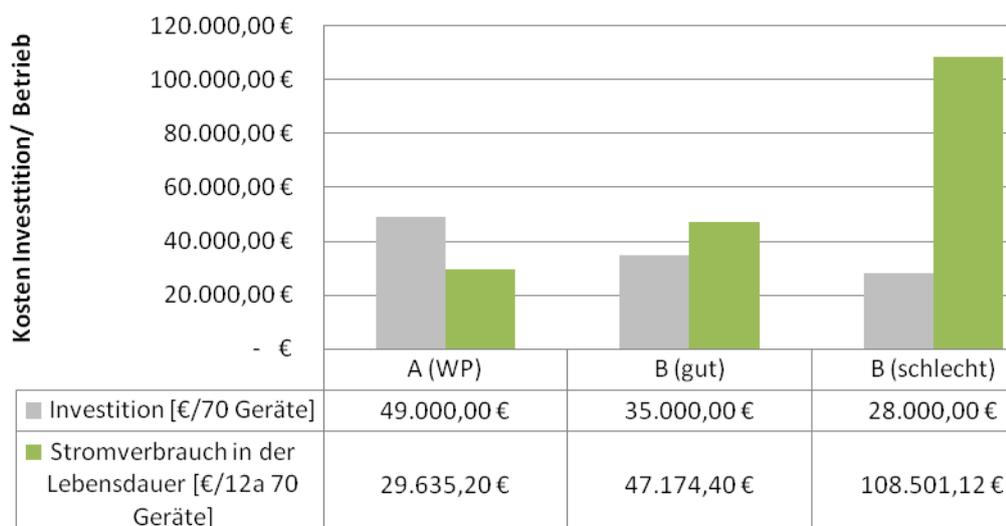


Abb. 190 Investitions- und Betriebskosten nach Lebensdauer, statische Berechnung für Kondenstrockner; Quelle: FGee, TU Darmstadt

1.6. Wirtschaftlichkeit Haushaltsgeräte

Bei der Gesamtbetrachtung der Wirtschaftlichkeit aller vorher genannten Geräte bei einer durchschnittlichen Lebensdauer der Geräte von 13,5 Jahren stellt sich eine wirtschaftliche Anschaffung von A⁺⁺⁺-Geräten vor allem gegenüber den vom Verbrauch ebenfalls noch zu empfehlenden A⁺⁺-Geräten heraus. Sie amortisieren sich im direkten Vergleich schon nach 5 Jahren (ggü. A-Geräten, bzw. B-Geräten bei Kondenstrocknern, nach 9 Jahren). In der Gesamtkostenbetrachtung stellen sich die A⁺⁺⁺-Geräte gegenüber dem Zeitraum der Lebensdauer am besten dar.

Gesamtbetrachtung Haushaltsgeräte

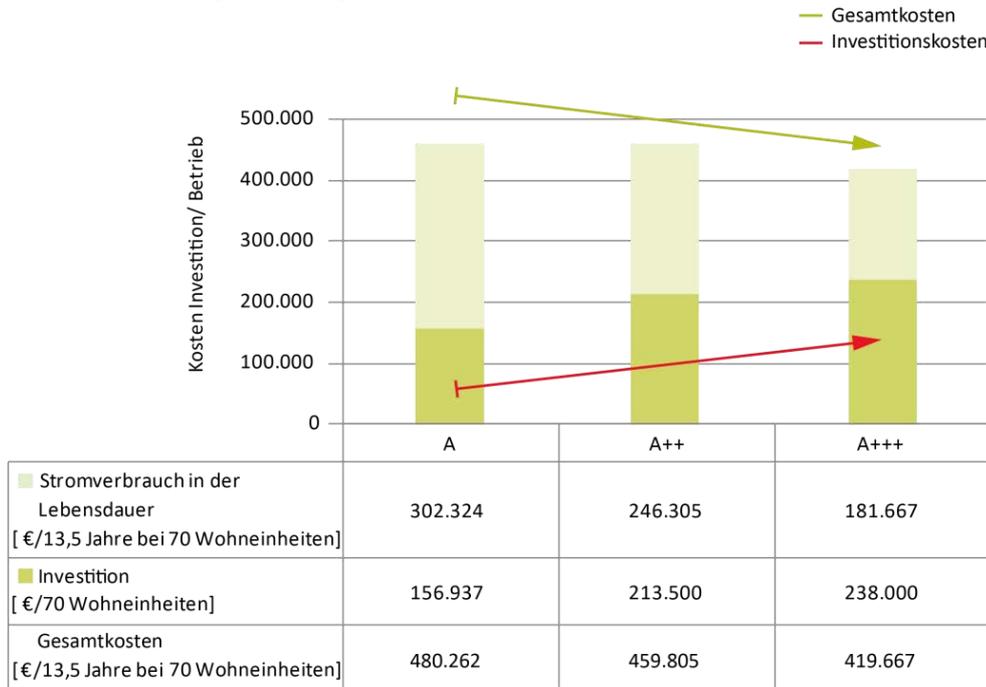
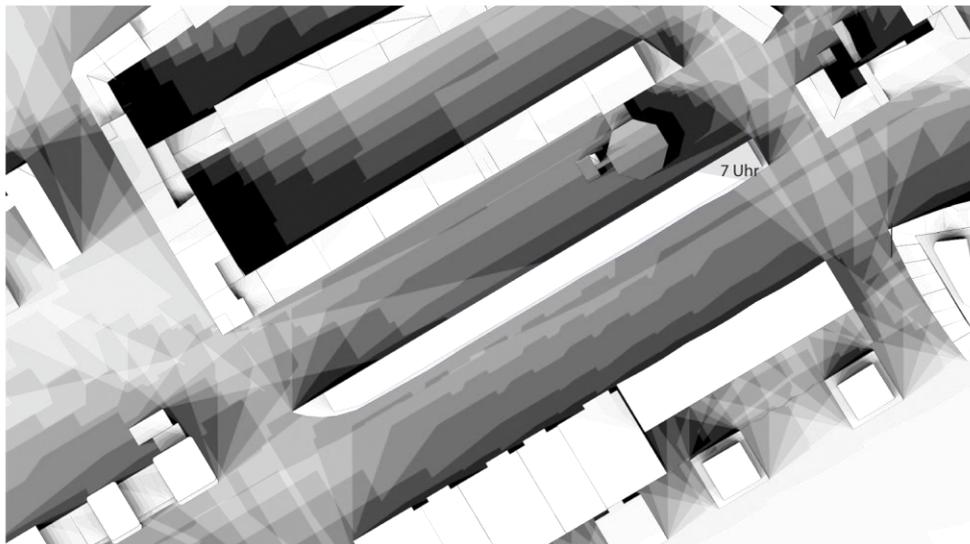


Abb. 191 Wirtschaftliche Gesamtbetrachtung (statisch) von A⁺⁺⁺, A⁺⁺ und A-Haushaltsgeräten im Vergleich; Quelle: Datengrundlage: dena, Berechnung: FGee, TU Darmstadt

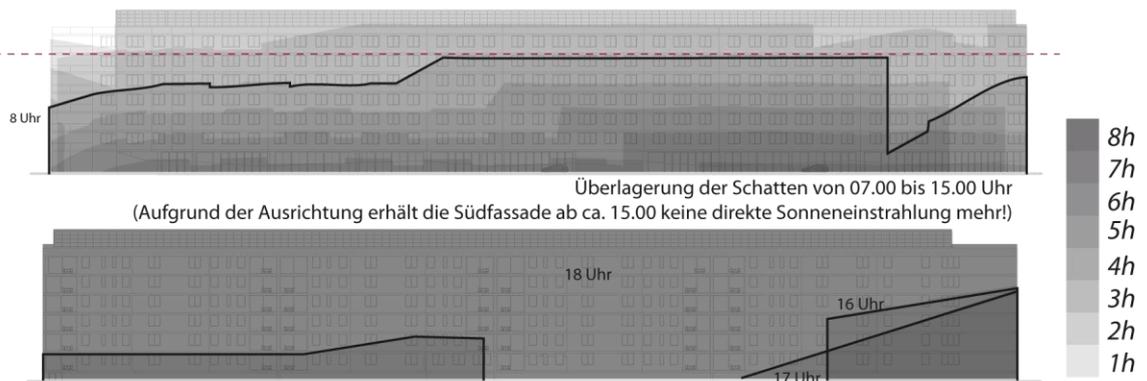
2. ANLAGE - Verschattungsstudie

Schattenstudie 21. März / 21. September
(Tag- und Nachtgleiche)
Besonnungszeitraum: 7 Uhr - 18 Uhr
Betrachtungszeitraum: 8 Uhr - 17 Uhr



Die kurze Verschattung auf der Nordostseite um 7 Uhr kann vernachlässigt werden. Belegung möglich auf ca. 140m x 8m = 1120 qm

7. OG: 446 m²
6. OG: 300 m²



Ab 15.00 Uhr bekommt die Nordwestfassade auch direkte Sonneneinstrahlung

Fassade Süd Süd-Ost

Fassade Ost

Fassade Nord Nord-West

7h



8h



9h



10h



11h



12h



13h



14h



15h



16h



17h



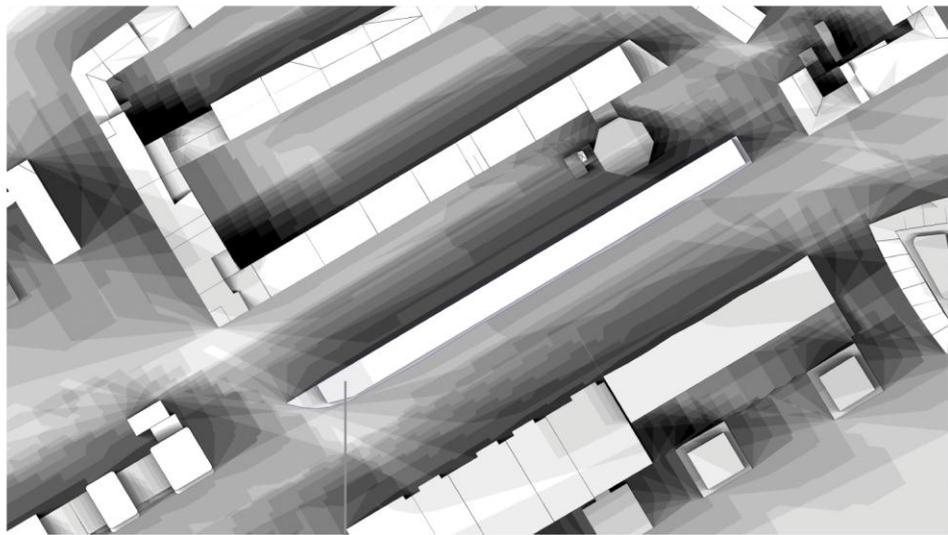
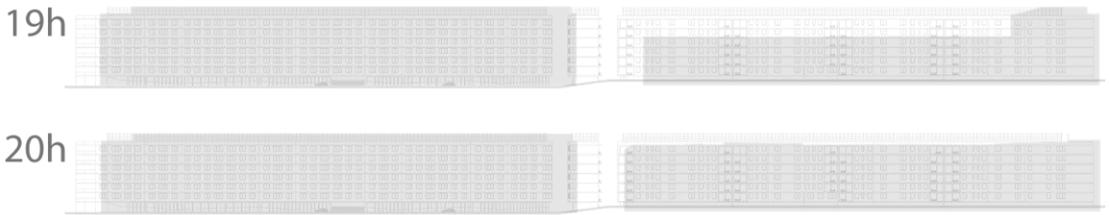
18h



Betrachtungszeitraum S SO

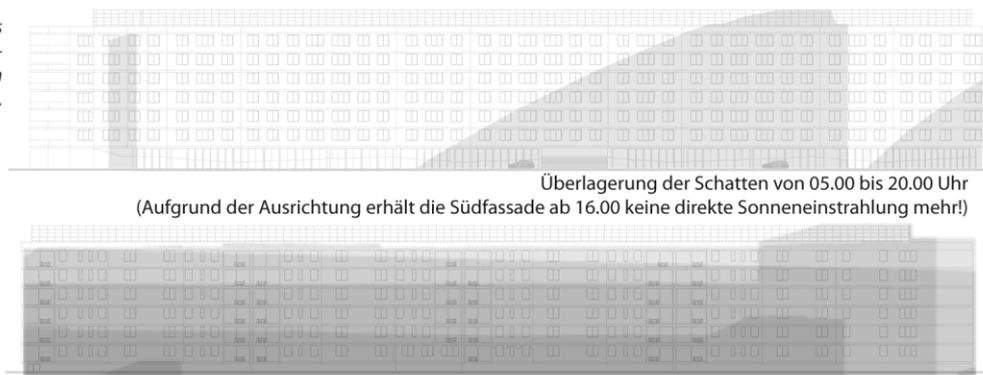
Betrachtungszeitraum N NW

Schattenstudie 21. Juni
Betrachtungszeitraum: 5 Uhr - 20 Uhr



1 h Schatten um 20 Uhr

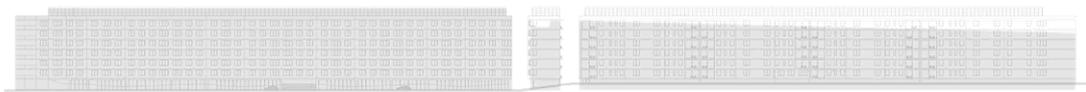
Lediglich der Turm und das Eckhaus werfen in den Morgenstunden einen Schatten auf die Fassade.



Überlagerung der Schatten von 05.00 bis 20.00 Uhr
(Aufgrund der Ausrichtung erhält die Südfassade ab 16.00 keine direkte Sonneneinstrahlung mehr!)

ab ca. 15 Uhr bekommt die Nordwestfassade direkte Sonneneinstrahlung

5h



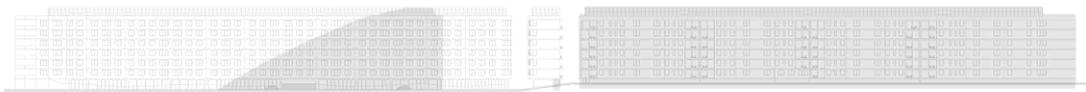
6h



7h



8h



9h



10h



11h



12h



13h



14h



15h



16h



17h

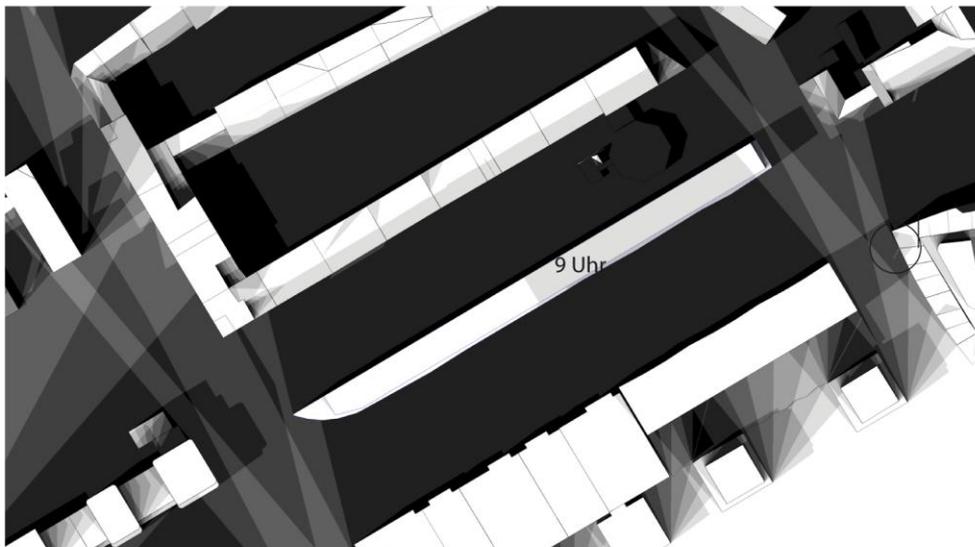


18h



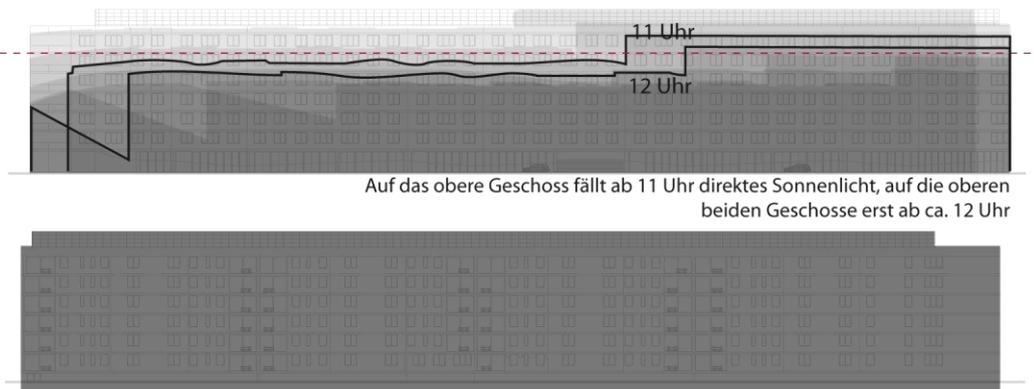
Schattenstudie 21. Dezember

Besonnungs- und Betrachtungszeitraum: 9 Uhr - 15 Uhr



Bis 9 Uhr ist das Dach leicht verschattet, der Turmschatten erreicht das Gebäude im Winter jedoch nicht

7. OG: 446 m²
6. OG: 300m²



Auf das obere Geschoss fällt ab 11 Uhr direktes Sonnenlicht, auf die oberen beiden Geschosse erst ab ca. 12 Uhr

Auf die Nordfassade fällt im Winter kein nennenswertes direktes Sonnenlicht

Fassade Süd Süd-Ost

Fassade Ost

Fassade Nord Nord-West

9h



10h



11h



12h



13h



14h



15h



Energiesparen – Handlungsempfehlungen

!!!Wenn im Aktiv-Stadthaus eine **positive Energiebilanz** besteht, kann der Stromverbrauch durch die Bewohner erhöht werden. Wenn aber eine **negative Energiebilanz** besteht, sind alle Bewohner gefragt dabei zu helfen, dass Energie eingespart wird!!!

- **Positive Energiebilanz „grün“** = Die am Gebäude selbst erzeugte Energie übersteigt die für den Bewohner-Verbrauch notwendige Energie
- **Neutrale Energiebilanz „gelb“** = Die am Gebäude selbst erzeugte Energie reicht gerade aus, um den Verbrauch der Bewohner zu decken. (Strombezug aus Batterie oder günstigem Netzstrom.)
- **Negative Energiebilanz „rot“** = Die am Gebäude selbst erzeugte Energie ist zu gering, um den Verbrauch der Bewohner zu decken. (Strombezug aus dem Netz mit ungünstigem Netzstrom.)



Haushaltsstrom allgemein:

- Alle Geräte ausstellen, wenn sie nicht benötigt werden. Standby-Verluste können jährlich über 100 € an Energiekosten verursachen! Generell gilt, alles was blinkt oder leuchtet, verbraucht weiterhin Strom
- Tipp: Steckerleisten mit zentralem an-/Aus-Schalter einbauen



Beleuchtung:

- Der konsequente Einsatz von Energiesparlampen kann die Energiekosten für Beleuchtung um bis zu 80 % senken. Der Einsatz von LED- oder OLED-Leuchtmitteln verbrauchen sogar nur 1/5 des Stroms von herkömmlichen Glühlampen.



Lüftung:

- Fensterlüftung: regelmäßiges, kurzes Stoßlüften (Querlüften) und nicht auf „Kipp“
- Nachtlüftung als Vorkühlung des Raums oder Gebäudes
- Zu-/Abluftauslass nicht verschließen oder zustellen
- Regelmäßiges Austauschen der Filter
- Grundlüftung bei Abwesenheit oder Urlaub
- Maximallüftung nur kurzzeitig bei Kochen, etc.
- Im Sommerfall Fensterlüftung meist ausreichend Gerät ausschalten, sonst SommerBypass (keine Wärmerückgewinnung) aktivieren



Kühl- und Gefrierschrank/fach:

!!!Da der Kühlschrank durchgehend angeschaltet ist, gehört er zu den größten Stromverbrauchern!!!

- Temperatur:
 - Idealtemperatur im Kühlschrank +7°C
 - Idealtemperatur im Gefrierfach -18°C
- Lebensmittel:
 - Nur abgekühlte Lebensmittel in den Kühlschrank oder das Gefrierfach stellen
 - Gefrorenes gegebenenfalls im Kühlschrank auftauen
 - Türdichtungen regelmäßig überprüfen
- Reif und Eis:
 - Ein dünner Reif (Eisschicht) ist im Gefrierfach normal, dickere Eisschichten Entfernen



Wäschetrockner:

!!!Der Wäschetrockner verbraucht im Vergleich pro Anwendung am meisten Energie zu den größten Stromverbrauchern!!!

- Scheint die Sonne – Wäsche trocknen an der frischen Luft spart viel Energie!
- Zeitminderung durch gut geschleuderte Wäsche
- Volle Beladung = Volle Effizienz
- Übertrocknen schadet den Textilien und verbraucht überschüssig Energie
- Bügelwäsche → „bügeltrocken“ der Maschine entnehmen
- Wäsche weitmöglich in Waschmaschine vortrocknen → Drehzahl auf 1.400 Umdrehungen/Minute



Waschmaschine:

- Volle Beladung = Volle Effizienz
- Sparprogramme senken den Verbrauch, durch niedrigere Temperatur und längere Einweichzeiten
- Waschen ohne Vorwäsche spart Energie und Wasser
- Eine Zeiteinstellung am Gerät verursacht längere Stand-By Zeiten und verbraucht ungewollt Energie



Geschirrspülmaschine:

- Energiesparprogramme / Eco-Programme spülen meist bei 50°C und sparen dadurch
- Maschine nur vollbeladen laufen lassen
- Vorspülen des Geschirrs ist bei neuen Maschinen nicht notwendig



Herd/Backofen:

- Herd:
 - Bei längeren Garzeiten Schnellkochtopf oder Druckkochtopf nutzen
 - Kartoffeln und Gemüse dämpfen anstatt kochen
 - Wasserkocher erhitzen schneller und effizienter als die Herdplatte
- Backofen:
 - Umluft anstatt Ober- und Unterhitze
 - Auf Vorheizen kann verzichtet werden
 - Backofen 15min. vor Beendigung ausschalten und Nachwärme nutzen
 - Selbstreinigungsfunktion erst bei sehr starker Verschmutzung nutzen
 - Ofentür nicht ständig öffnen, sonst Wärmeverlust

Raumlufttemperatur – Handlungsempfehlungen

> 26 ° C

- Fenster sowie Sonnenschutz schließen
- Nachtluft als Vorkühlung des Raums oder Gebäudes
- regelmäßiges, kurzes Stoßlüften (Querlüften) und nicht auf „Kipp“
- SommerBypass (keine Wärmerückgewinnung) aktivieren
- Heizung aus?

< 19 ° C

- Fenster geschlossen?
- regelmäßiges, kurzes Stoßlüften (Querlüften) und nicht auf „Kipp“
- bei Zugscheinungen -> Lüftung herunterregulieren
- Heizung an?

Die Energiespartipps wurden durch das FGee, TU Darmstadt auf Grundlage von dena, Initiative Energieeffizienz „Energiespartipps für Haushaltsgeräte“, zusammengestellt; Quelle:
http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Stromnutzung/Dokumente/BR_WeisseWare.pdf
(Stand 09/2012)