



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



# Effizienzhaus – Plus

*energy*<sup>+</sup> Home, Darmstadt



	<b>»energy* Home: Effizienzhaus-Plus mit Elektromobilität, Darmstadt «</b>
Standort:	Darmstadt/Mühltal
Bauherr:	TSB Ingenieurgesellschaft mbH, Darmstadt
Ansprechpartner:	Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Architektur, Fachgebiet Tragwerksentwicklung und Bauphysik, Prof. Dr.-Ing. Karsten Ulrich Tichelmann, <a href="http://www.twe.architektur.tu-darmstadt.de">www.twe.architektur.tu-darmstadt.de</a> , <a href="mailto:info@twe.tu-darmstadt.de">info@twe.tu-darmstadt.de</a>

### Allgemeine Daten

Baujahr:	1970/2011(Sanierung)
Bruttogrundfläche:	268,5 m <sup>2</sup>
Beheizte Nettogrundfläche:	185 m <sup>2</sup>
Beheiztes Gebäudevolumen:	916 m <sup>3</sup>
Hüllflächenfaktor <i>AV</i> :	0,65 m <sup>-1</sup>
Stromüberschuss:	1.930 kWh/a*

\*dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines mittleren E-PKWs von 11350 km (17 kWh/100km)



Das energy\* Home heute

### Projektübersicht

Mit dem Reihenendhaus aus den 70er Jahren wurde die Sanierung eines Wohnhauses zu einem Effizienzhaus-Plus mit Elektromobilität realisiert. Das Projekt überzeugt durch ein innovatives Energiekonzept, eine optimierte Tageslichtversorgung und deutlich mehr Platz und Komfort im Inneren. Es ist ein Gebäude entstanden, das mehr Energie erzeugt als es verbraucht und damit noch den nötigen Energieüberschuss für ein Elektroauto bietet. Trotz höherer Investitionskosten stellt es sich günstiger als ein Passivhaus und zu vergleichbaren Kosten wie eine Sanierung nach der Energieeinsparverordnung dar. Es wurde ein Sanierungskonzept entwickelt, das auf eine Vielzahl der deutschen Bestandsimmobilien anwendbar ist und eine wirtschaftliche und zukunftsorientierte Umwandlung eines Bestandsgebäudes zu einem Effizienzhaus-Plus mit Elektromobilität ermöglicht.

**Lage**

Breitengrad:	49,81 °N
Längengrad:	8,71 °O
Höhenlage:	173 m über NN
Mittlere Jahrestemperatur:	11,35 °C
Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April):	6,4 °C
TRY - Klimazone / Referenzstation:	Klimazone TRY 12, Mannheim

**Kosten für die Realisierung**

Sanierungskosten 1760 €/m<sup>2</sup>

Mehrkosten für Effizienzhaus Plus Standard ca. 47.000 €

**Zusätzliche Informationen**

Projektpartner

- Konzeption, Entwicklung und Monitoring: Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Architektur, Fachgebiet Tragwerksentwicklung und Bauphysik, Univ. Prof. Dr.-Ing. Karsten Ulrich Tichelmann; Versuchsanstalt für Holz und Trockenbau Darmstadt, [www.vht-darmstadt.de](http://www.vht-darmstadt.de)
- Technisches Gebäudekonzept: Tichelmann und Barillas Ingenieure, TSB Ingenieurgesellschaft mbH; Versuchsanstalt für Holz und Trockenbau Darmstadt, [www.vht-darmstadt.de](http://www.vht-darmstadt.de)
- Entwurf und Planung: Tichelmann & Barillas Ingenieure, TSB Ingenieurgesellschaft mbH, [www.tsb-ing.de](http://www.tsb-ing.de); Lang+Volkwein Architekten und Ingenieure, [www.lang-volkwein.de](http://www.lang-volkwein.de)

Literatur, Quellenangaben

- [1] Tichelmann, K., Ziegler, B., Kraljic, V., „energy + home - Die erste Sanierung eines Wohnhauses zu einem Plusenergiehaus mit Elektromobilität.“ TU Darmstadt, Herausgeber der Broschüre, ISBN 978-3-9815131-0-3, Darmstadt 3/2012
- [2] Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

Abbildungsnachweis

- Fotos: diephotodesigner.de
- Planmaterial, Schnitt und Grundrisse: Tichelmann & Barillas Ingenieure, TSB Ingenieurgesellschaft mbH, [www.tsb-ing.de](http://www.tsb-ing.de)
- Grafik Haustechnik: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, [www.ibp.fraunhofer.de/wt](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt)

### Architektur

Die Ausgangsbasis für die Umwandlung des Bestandsgebäudes bildet ein innovatives Modernisierungskonzept, das höchste Raum- und Wohnqualitäten mit optimaler Energieeffizienz vereint. Die hohe entwerfliche Qualität entsteht durch die verbesserten Tageslichtverhältnisse in den Innenräumen, die zur Ost- und Westseite differenzierte Fassadenausbildung und durch die neue Flexibilität des Gebäudes.

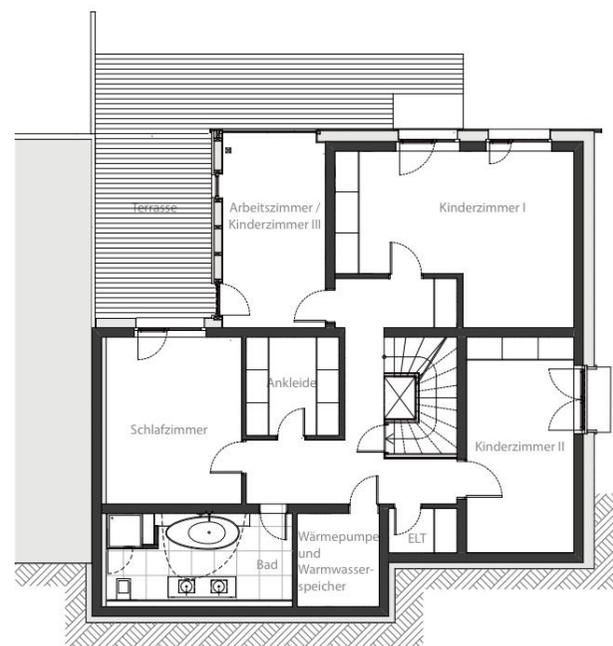
Im Äußeren wurde eine gestalterische Unterscheidung zwischen der hellen Putzfassade der Nord- und Südfassaden und den dunklen Fassadenpanelen an der Ost- und Westseite gewählt, die dem Baukörper ein klares Erscheinungsbild gibt. Die dunkle Plattenverkleidung bildet zusammen mit den gleichfarbigen Dachsteinen der Dachdeckung eine Einheit, die sich als durchgehende, optisch homogene Haut von der Westfassade über das Dach bis zur Ostfassade wickelt.

Eine besondere architektonische Herausforderung stellte die schlecht mit Tageslicht beleuchtete und enge Struktur des Bestandsgebäudes dar. Grundriss und Raumstruktur wurden den heutigen Bedürfnissen angepasst und großzügiger organisiert. Im Obergeschoss wurden Trennwände zugunsten eines zentralen Wohn- und Essbereichs entfernt und der Rückbau der Holzbalkendecke erhöhte hier die lichte Raumhöhe auf bis zu fünf Meter. Alle Räume wurden mit flächenbündigen raumhohen Türen und dunklen Massivholzdielen ausgestattet und erhielten eine Niedertemperatur-Fußbodenheizung. Im Zuge der Sanierung konnten der nicht mehr benötigte Öltank entfernt und die überdachte Terrasse geschlossen werden - dadurch vergrößerte sich die nutzbare Grundfläche des Gebäudes von 158 m<sup>2</sup> auf 185 m<sup>2</sup>, verteilt über zwei Etagen.

Großzügige Dachfenster wurden ergänzt und die bestehenden Fenster zu raumhohen Panoramafenstern erweitert. Insgesamt wurden die Fensterflächen somit auf 76 m<sup>2</sup> um ca. 75% vergrößert. Die Wohnqualität wurde in den Dimensionen der Nutzbarkeit, der Raumqualität und der individuellen Anpassungs- und Raumflexibilität verbessert.



Erdgeschoss Grundriss



Untergeschoss Grundriss



**Bauteile**

Die Gebäudehülle erhielt an der Giebelseite im Norden ein weiß verputztes Wärmedämmverbundsystem, an den beiden Traufseiten eine hinterlüftete graue Faserzementplatten-Fassade. Um den Energiebedarf auf ein Minimum zu reduzieren wurden an den Außenwänden, der Kellergrundfläche sowie dem Dach Dämmschichten mit Dicken zwischen 100 und 280 mm angebracht. Diese sind bereichsweise als Außen- und Innendämmung ausgeführt.

Der im Hang an das Erdreich angrenzende Bereich der Außenwände wurde ebenfalls außenseitig und teilweise mit Innendämmung gedämmt, um Wärmebrücken zu minimieren. In unzugänglichen Bereichen z.B. zur Nachbarbebauung hin, wurde eine Innendämmung mit Hochleistungs-dämmstoffen ausgeführt. Der durchschnittliche Transmissionswärmeverlust HT' der Gebäudehülle sank von 1,50 auf 0,29 W/(m<sup>2</sup>K) - eine Reduktion um 80%.

Zusätzlich verbessert der Einsatz der hochwertigen Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung die Qualität der Gebäudehüllfläche - hierbei wurden gemittelte U-Werte der opaken Außenbauteilen von < 0,18 W/(m<sup>2</sup>K) erzielt, bei den transparenten Bauteilen im Mittel von < 0,78 W/(m<sup>2</sup>K). Die Fensterflächen wurden verdoppelt und neue Dachfenster bringen das Zenitlicht bis in das in den Hang gebaute Untergeschoss. Im Obergeschoss wurde der mittlere Tageslichtquotient von vorher ca. 1,2 auf über 6 gesteigert.

Die mit einer Fläche von 95,6 m<sup>2</sup> ebenflächig in das Dach integriert Photovoltaik-Anlage ist die zentrale Energiequelle des Gebäudes. Der hierdurch erzielte Energieüberschuss macht das Haus selbst zur „Tankquelle“ des eigenen Elektroautos.

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

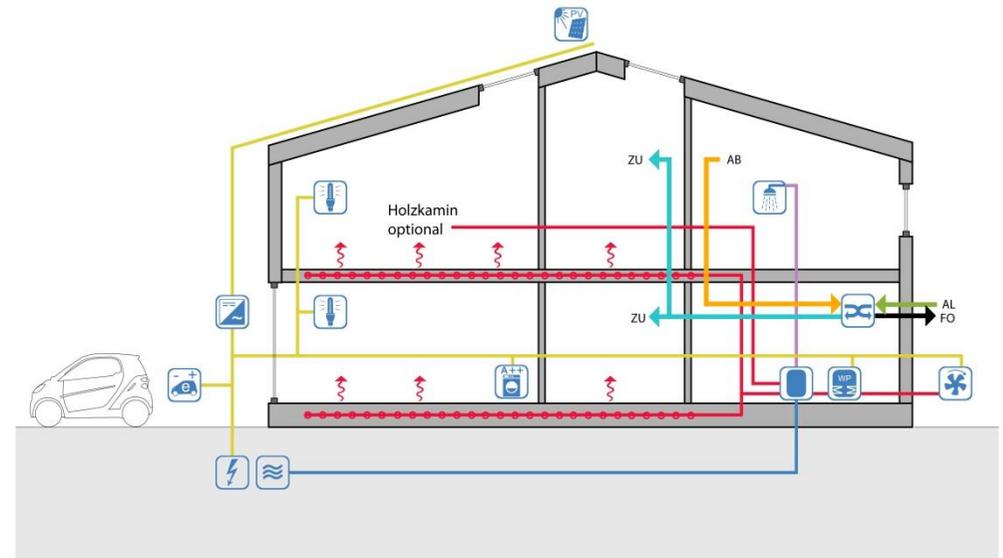
Bauteil	Aufbau / Material	Dicke [mm]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	
Außenwand Ost/West (von innen nach außen)	Gipsputz	15	0,15	
	Bimshohlblockstein	240		
	Dampfbremse PE-Folie	-		
	Mineralische Wärmedämmung WLG 032	240		
	Lattung / Hinterlüftung	-		
Außenwand Nord (von innen nach außen)	Faserzement - Fassadentafel	-	0,16	
	Gipsputz	15		
	Bimshohlblockstein	240		
	Bestandsputz	20		
Fenster	Mineralische Wärmedämmung WLG 040	240	0,78	
	Kalkzementputz	20		
Fenster	Fensterrahmenmit Dreifachverglasung (g=0,50)	-	0,78	
	Dach (von oben nach unten)	Dachstein		-
		Lattung / Konterlattung		-
		Unterspannbahn		-
		Sparren mit Aufdopplung und Dämmung WLG 035/ 032		240
		Feuchteadaptive Dampfbremse		-
		Untersparrendämmung		60
Bodenkonstruktion (von oben nach unten)	Gipskartonbekleidung	125	0,21	
	Massivholzdielen	20		
	Ausgleichschicht	-		
	Dünnschicht Estrich mit Heizschleifen	60		
	PE-Folie	-		
	Trittschalldämmung	50		
Bodenkonstruktion (von oben nach unten)	PE-Folie	-	0,21	
	Stahlbetondecke Bestand	100		

**Anlagentechnik**

Der Einbau einer mechanischen Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung vermindert die aufgrund des benötigten Mindestluftwechsels auftretenden Wärmeverluste. Die »verbrauchte« warme Luft wird abgesaugt und nach außen geführt. Dabei wird die enthaltene Wärme über einen Gegenstromwärmetauscher weitestgehend an die Frischluft übertragen, die dem Gebäude in anderen Räumen zugeführt wird.

Neben der Reduktion der Wärmeverluste ist die Verwendung von regenerativen Energien zur Deckung des Energiebedarfs ein Teil des Konzepts. Als Wärmeerzeuger wird eine Luft-Wasser-Wärmepumpe eingesetzt. Es handelt sich um eine Wärmepumpe, die der Außenluft Umweltwärme entzieht und diese an einen Kombispeicher überträgt. Die gewählte Wärmepumpe benötigt für die „Erzeugung“ von 3,5 kWh Wärme im Jahresdurchschnitt nur etwa 1 kWh Strom. Das Heizkonzept sieht eine individuelle Beheizung der einzelnen Räume mit einer Niedertemperatur-Flächenheizung im Fußboden vor. Damit wird den üblichen unterschiedlichen Behaglichkeitsanforderungen der verschiedenen Generationen angehörenden Familienmitglieder Rechnung getragen. Bei tiefen Außenlufttemperaturen sinkt die Leistung von Luftwärmepumpen ab. Daher kann es in sehr kalten Perioden vorkommen, dass die Leistung der Luftwärmepumpe für die gesamte Wärmeversorgung des Gebäudes nicht vollständig ausreicht oder ineffizient wird. Um die regenerative Wärmeversorgung auch an kalten Tagen sicherzustellen, ist die Aufstellung eines Holzkaminofens mit Warmwasserwärmetauscher im Gebäude geplant. Die Wärme des Ofens soll über einen Wärmetauscher direkt zur Warmwassererzeugung und zur Ladung des Kombispeichers genutzt werden. Der Anteil der Gesamtleistung, der für die Speisung der Fußbodenheizung und des Warmwasserspeichers genutzt werden kann, liegt bei über 70 %. Durch die thermische Verwertung des heimischen und klimaneutralen Energieträgers Holz kann die Leistung der Wärmepumpe an kalten Tagen, an denen ihre Effizienz geringer ist, deutlich reduziert werden.

Der notwendige Strom zum Betrieb der Wärmepumpe wird durch eine Photovoltaikanlage aus monokristallinen Solarzellen auf dem Dach des Gebäudes mit einer Leistung von 12,6 kWp erzeugt. Erwirtschaftete Energieüberschüsse aus der Photovoltaikanlage in der Sommerperiode werden in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Der darüber hinaus produzierte Stromüberschuss von über 1.930 kWh reicht aus, um mit einem elektrisch betriebenen PKW bei einem Verbrauch von 17 kWh / 100 km etwa 11.350 km/a zurückzulegen.



- |               |                            |                |
|---------------|----------------------------|----------------|
| Außeneinheit  | Lüftung Wärmerückgewinnung | Trinkwasser    |
| Elektroauto   | Photovoltaikanlage         | Warmwasser     |
| Elektrogeräte | Speicher                   | Wärmepumpe     |
| Leuchten      | Stromnetz                  | Wechselrichter |

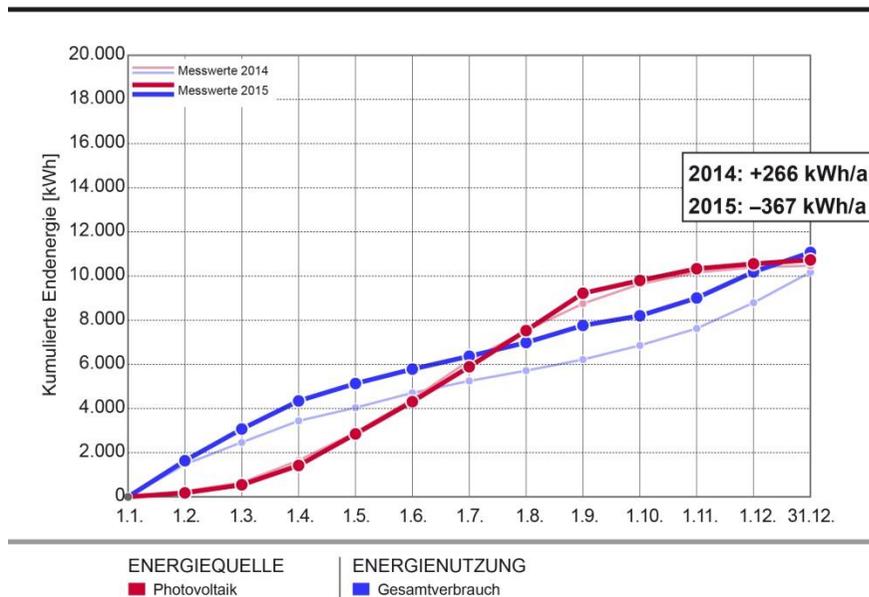
Konzeption der Haustechnik

**Energiebedarf und Deckung des Effizienzhauses Plus**

Bedarf			Deckung		
Komponente	Strombedarf		Komponente	Stromertrag [kWh/a]	
	[kWh/a]	[kWh/m²a]*		[kWh/a]	[kWh/m²a]**
E-Mobilität	1930		PV-Dach	9880	103,34
Hilfsenergie für Heizung + Warmwasser, Lüftung	707	2,41	**) bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 95,6 m²		
Elektrische Geräte Beleuchtung Warmwasser Heizung	7243	24,72			
*) bezogen auf die Gebäudenutzfläche 293 m²					
Gesamt	9880 kWh/a		Gesamt	9880 kWh/a	

**Ergebnis des 2-jährigen Monitorings**

**KUMULIERTE ENDENERGIE**



# Impressum

## Herausgeber

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

## Ansprechpartner / Projektleitung

MinRat Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hegner  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
Krausenstraße 17-18  
10117 Berlin

## Stand

Januar 2016

## Verfasser und Gestaltung

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

## Titelbild

Effizienzhaus-Plus ,Wohnhaussanierung, Darmstadt,  
(Quelle: Tichelmann & Barillas Ingenieure, TSB Ingenieurgesellschaft mbH )

# Wichtige Links für Forschung und Förderung

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

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

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

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

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

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