

Passivhaus-Objektdokumentation



MüPEG (Münnerstädter Plusenergiegebäude) Wohngebäude mit Büroeinheit



Verantwortlicher Planer: Andreas Miller , Architekt
Ingenieurbüro Miller, Münnerstadt

www.miller-ib.de

Dieses Zweifamilienwohnhaus wurde als Wohngebäude für die Familie des Planers mit Büroeinheit als Lückenbebauung im Baugebiet „Zent“ der Stadt Münnerstadt errichtet. Es handelt sich um ein dreigeschossiges Gebäude in einer Nordhangbebauung. Der nach Süden ausgerichtete zweigeschossige Holzbau orientiert sich zur Gartenseite. Der nordorientierte Erschließungsbereich mit freiliegendem Untergeschoß wurde in Massivbauweise errichtet. In dem Gebäude wird seit 2012 in der Büroeinheit im UG gearbeitet und vom Planer mit Familie im EG + OG bewohnt.

Siehe auch www.passivhausprojekte.de, Projekt-ID: 2407

Besonderheiten: Plusenergiegebäude mit südorientierten Photovoltaiksegel zur Hauptenergiedeckung für Heizung, Brauchwasser, Büro- und Haushaltstrom mit Elektromobilität, Strom- und thermischer Speicher, Regenwassernutzung.
Forschungsprogramm: Effizienzhaus-Plus der Bundesregierung
Monitoring: HS Augsburg Begleitforschung: Fraunhofer IBP

U-Wert Außenwand	0,107 W/(m²K)	PHPP Jahres-Heizwärmebedarf	11 kWh/(m²a)
U-Wert Bodenplatte	0,125 W/(m²K)		
U-Wert Dach	0,103 W/(m²K)	PHPP Primärenergie	79 kWh/(m²a)
U-Wert Fenster	0,74 W/(m²K)		
Wärmerückgewinnung	93 %	Drucktest n ₅₀	0,3 h ⁻¹

1 Kurzbeschreibung der Bauaufgabe MüPEG

Die Bauherren sind seit mehreren Jahren als engagierte Energieberater und Passivhausplaner freiberuflich tätig. Für das eigene Wohngebäude der Familie mit Büroeinheit des Ingenieurbüros Miller wurde ein passivhaustaugliches Grundstück mit Blickbeziehung in die Mittelgebirgslandschaft der bayrischen Rhön am aktuellen Bauort als Baulücke vorgefunden. Zielsetzung war ein Gebäude für das tägliche Arbeiten und Wohnen zu planen um eine größtmögliche Selbstversorgung (Autarkie) für Raumwärme mit Warmwasser als auch Haushaltstrom und Mobilität für ein energiereduziertes Leben auf dem Land zu ermöglichen. Das Gebäude sollte zudem mit nachhaltigen und ökologischen Baustoffen in einer einfachen und kosteneffizienten Bauweise erstellt werden.

Das Bauprojekt wurde im Rahmen der Forschungsprogrammes Effizienzhaus-Plus der Bundesregierung von 2012-2014 durch ein Monitoring der Hochschule Augsburg mit dem Fraunhofer Institut begleitet. Es wurden über 38 Messpunkte im gesamten Gebäude kontinuierlich aufgezeichnet und bewertet. Der energetische Autarkiegrad des Gebäudes einschließlich Elektromobilität beläuft sich nach diesen Auswertungen der Forschungseinrichtungen auf ca. 65%. Optimierungen der Energieströme und des Energiemanagements als auch der Effizienzsteigerungen in der Anlagentechnik sind hierzu bereits noch seitens der Bauherren geplant.

Die Zielsetzung des Forschungsprojektes war es vor allem zu überprüfen, wie weit und mit welchen Maßnahmen ein Gebäude mehr Energieüberschuss (ohne Mobilität) erzielen kann als es bilanziell über das Jahr hinweg benötigt. Der Energieüberschuss in diesem Projekt beläuft sich bilanziell auf ca. 12.000 KWh/p.a. Somit könnte noch ein zweites Gebäude dieser Größe vollständig mit Energie versorgt werden.

Die Erkenntnisse aus diesem Gebäude im Vergleich zu anderen Gebäuden (ohne Passivhausstandard) haben den Beteiligten zumindest gezeigt, dass mit geringen Mehrinvestitionen in die Passivhaus-Gebäudehülle im Gegensatz zu größeren Investitionen in die Anlagentechnik ein hoher Energieüberschuss erzielt und eine Unabhängigkeit von externer Energie im Jahresverlauf schneller erfolgen kann.

2 Ansichtsfotos Passivhaus MüPEG

Die **Nordseite** ist auf dem Deckblatt abgebildet.



Passivhaus MüPEG von Süden: mit großen Fensterflächen und Verschattungseinrichtungen. Orientierung der Südseite zur privaten Gartenseite mit Atriumausführung durch Nebengebäude.



Passivhaus MüPEG von Südwest: das Pultdach als PV-Segel ist erkennbar.



Passivhaus MüPEG von Nordost: In der straßenseitigen Wandfront gibt es mehrere kleinere Fensteröffnungen sowie ein großes Panoramafenster als Weitblickbeziehung in das Mittelgebirge. Der nördliche Zugang erfolgt durch separate Hauseingangstüren zu Büro und Wohnen über einen gemeinsamen Vorbau.



Die **Innenaufnahme** zeigt die Blickbeziehung vom offenen Essbereich am Panoramafenster in den abendlichen Sonnenuntergang des Mittelgebirges der Rhön.

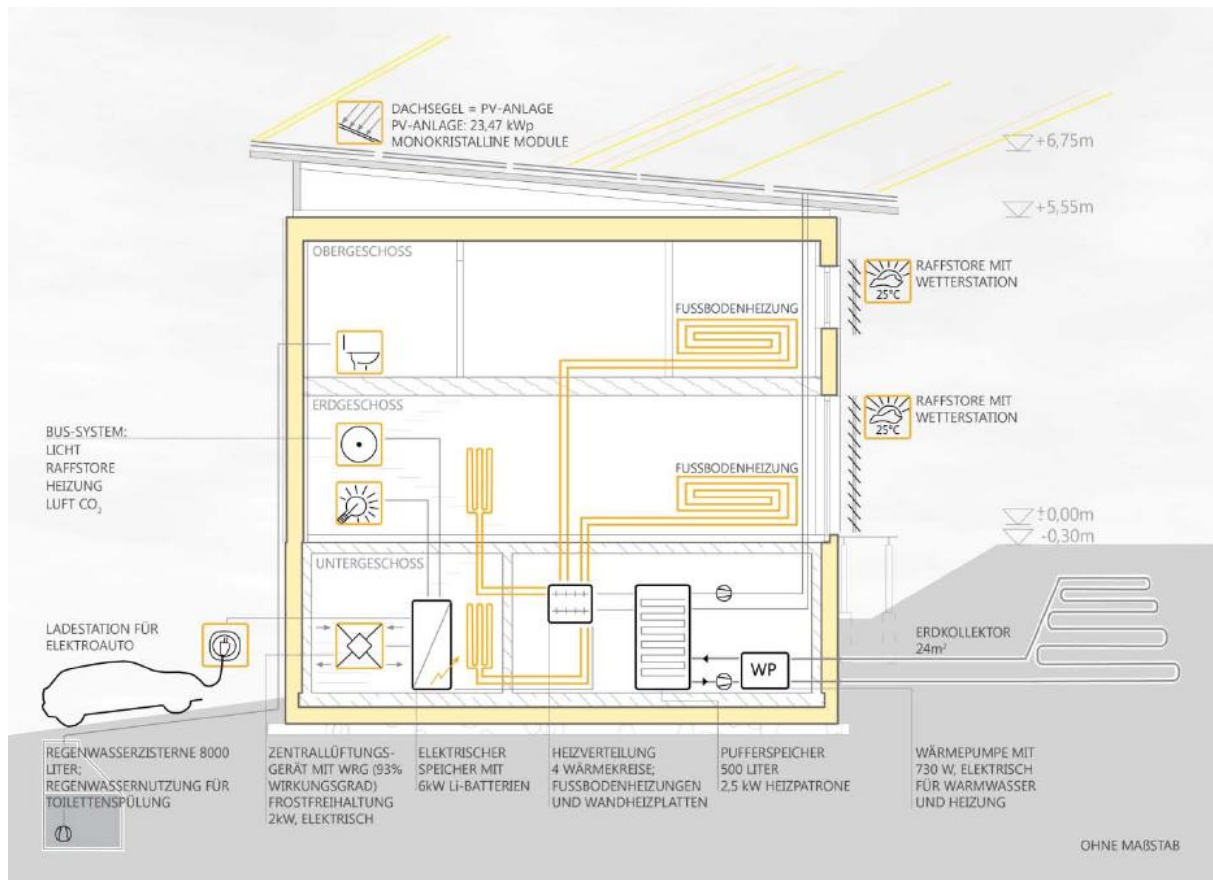


Die **Innenaufnahme** zeigt die zentrale Kochinsel im offenen Grundriss mit vertikal durchgehender Erschließung ohne Trennung von Untergeschoss bis Obergeschoss.



Solartankstelle in der Garage zeigt die Beladung des Elektroautos mit PV-Strom.

3 Schnittzeichnung Passivhaus MüPEG



Querschnitt durch das Passivhaus MüPEG in Münnerstadt.

Gut erkennbar ist die rundum geschlossene thermische und luftdichte Gebäudehülle mit jeweils optimaler 30-40 cm starker Wärmedämmung ohne nennenswerte Wärmebrücken.

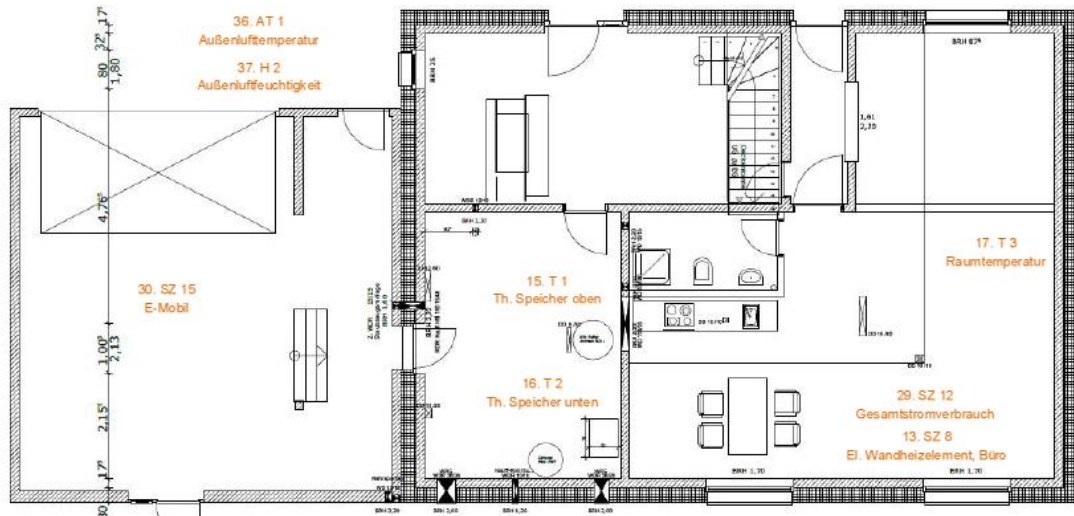
Der technische Schemaschnitt zeigt auch die im Gebäude vorhandene technische Ausstattung mit hocheffizienter Lüftungsanlage, einen 500 Liter thermischen Pufferspeicher sowie die Sole-Wasser-Wärmepumpe mit 24m² Erdkollektor zur Wärmeherzeugung für Brauchwasserbereitung als auch Heizung.

Das Wohngebäude wird nur im EG + OG mit jeweils einer Heizfläche als Fußbodenheizung für den Wohnbereich im Erdgeschoss sowie dem Badbereich im Obergeschoss beheizt. Im Untergeschoss hat das Gebäude keine aktive Heizfläche und wird nur mit Abwärme der Büronutzung erwärmt.

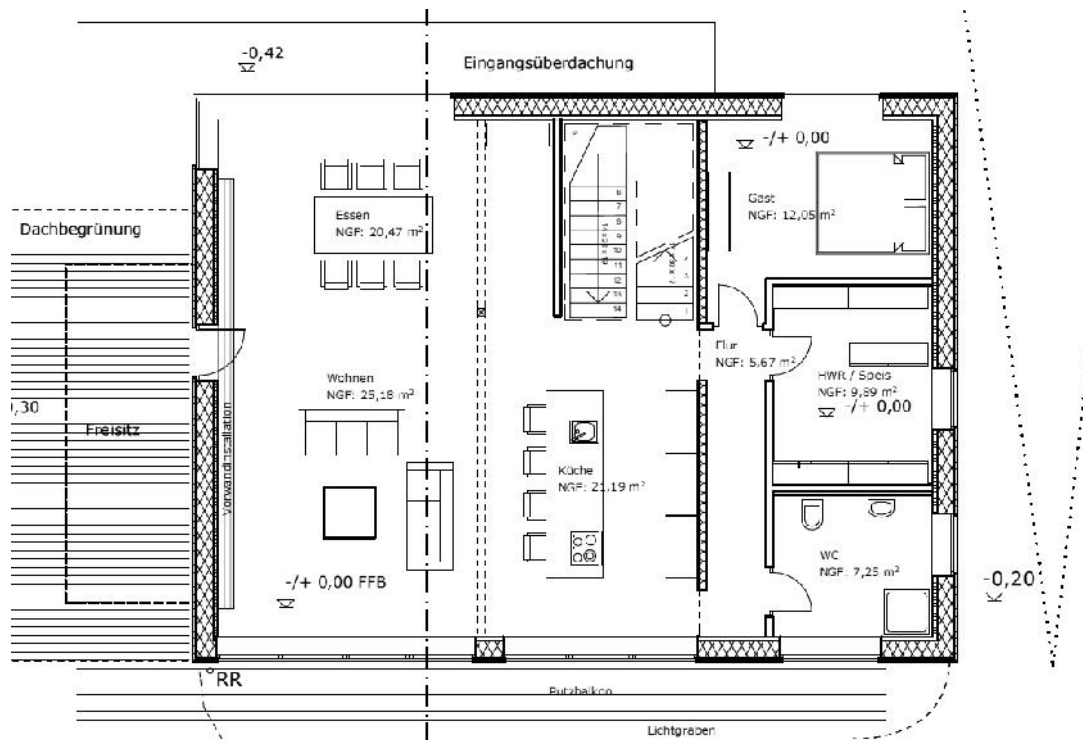
Die thermische Hüllfläche verläuft entlang der obersten Geschossdecke im OG. Das Pultdach als Kaltdach ist für die PV-Anlage als aufgeständertes südorientiertes Sonnensegel ausgeführt.

Eine vollflächig verlegte Photovoltaikanlage mit 23,74 KWp auf dem Pultdach dient zur Versorgung des tagsüber anfallenden Haushalts- und Bürostroms als auch der Beladung des Elektroautos und der Strombatterie zur nächtlichen Energieversorgung. Ein Bus-System steuert und regelt die Verschattung als auch Strombelastung der einzelnen Verbraucher und des elektrischen Speichers.

4 Grundrisse Passivhaus MüPEG

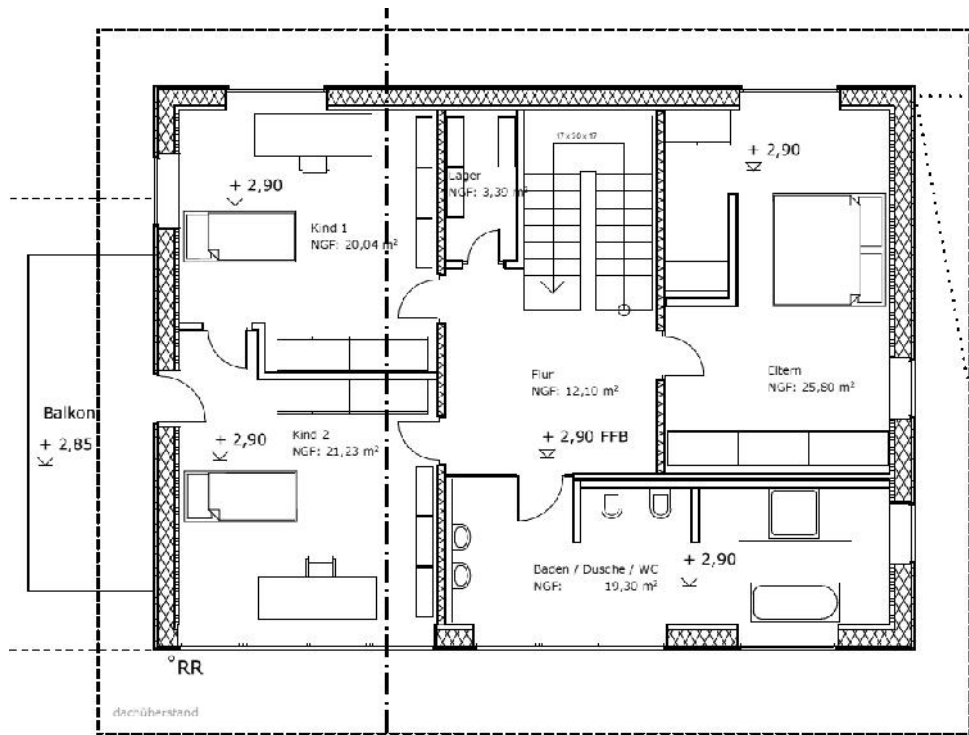


UG-Grundriss des Passivhauses MüPEG in Münnerstadt. Eingangsbereich mit Erschließungsachse sowie Technikraum für das Hauptwohngebäude. Eigener Zugang zum Bürobereich im Untergeschoss.



EG-Grundriss des Passivhauses MüPEG in Münnerstadt.

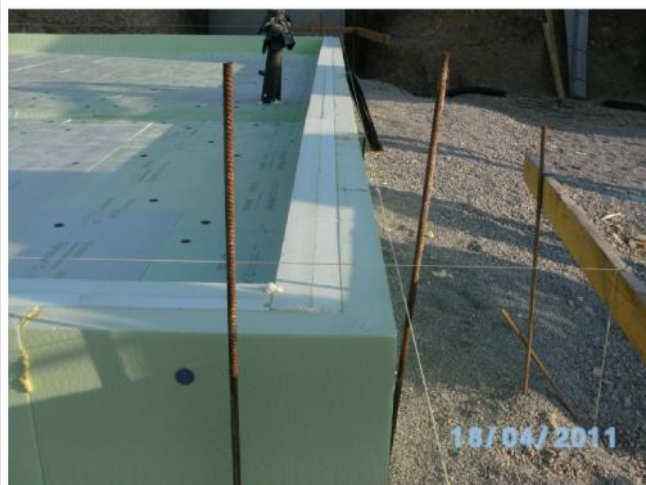
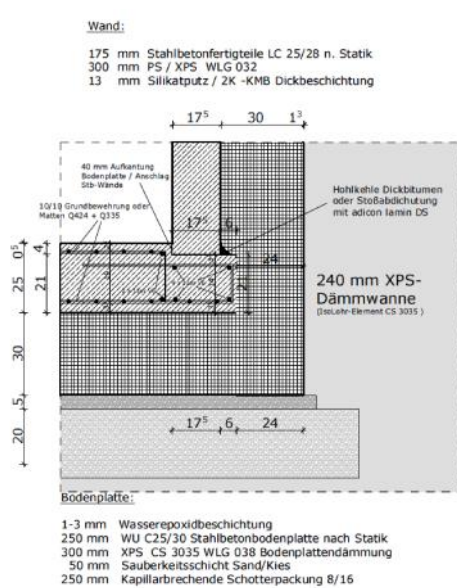
Offener Grundriss mit großen „Kollektoren“ (Fensterflächen) zur Südseite. Wohnbereiche werden somit lichtdurchflutet und bieten einen Blick in die Landschaft und in den Gartenbereich.



ED-Grundriss des Passivhauses MüPEG in Münnerstadt.

Schlafbereiche mit großzügigem und sonnigem hellem Bad mit großen Fensterflächen zur Südseite. Eine thermische Bodenheizfläche im Bad mit 500 W sowie optionaler elektrischer Wandheizung im Kinderzimmer.

4.1 Konstruktion inkl. Dämmung der Bodenplatte mit Anschlusspunkten zu Außen- und Innenwänden



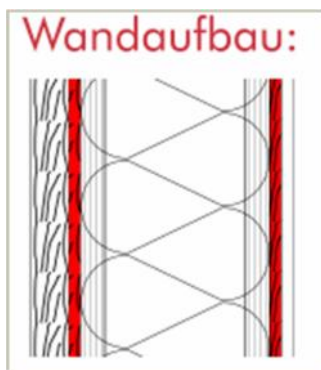
Vermeidung von Wärmebrücken am Fußpunkt des aufsteigenden Mauerwerks.

Um die konstruktiv bedingte Wärmebrücke gering zu halten, wird das Kellerwand-Mauerwerk aus Stahlbeton als auch die Bodenplatte umlaufend mit mind. 24-30 cm rundum gedämmt. Das Foto zeigt die Bodenplattendämmung vor Montage der Bodenplatte mit Bewehrung.

Aufbau der Bodenplatte:

Bodenplatte	Epoxidharzbeschichtung; 250 mm Bodenplatte aus Stahlbeton, 300 mm WLK 038 XPS-Hartschaumplatten	U-Wert 0,125 W/(m²K)
--------------------	---	----------------------------

4.2 Konstruktion inkl. Dämmung der Außenwände EG+OG



25 mm GKB
85 mm Massivholztafeln
300 mm Zellulose mit FJI-Träger
60 mm Holzweichfaserplatten
10 mm Außenputz

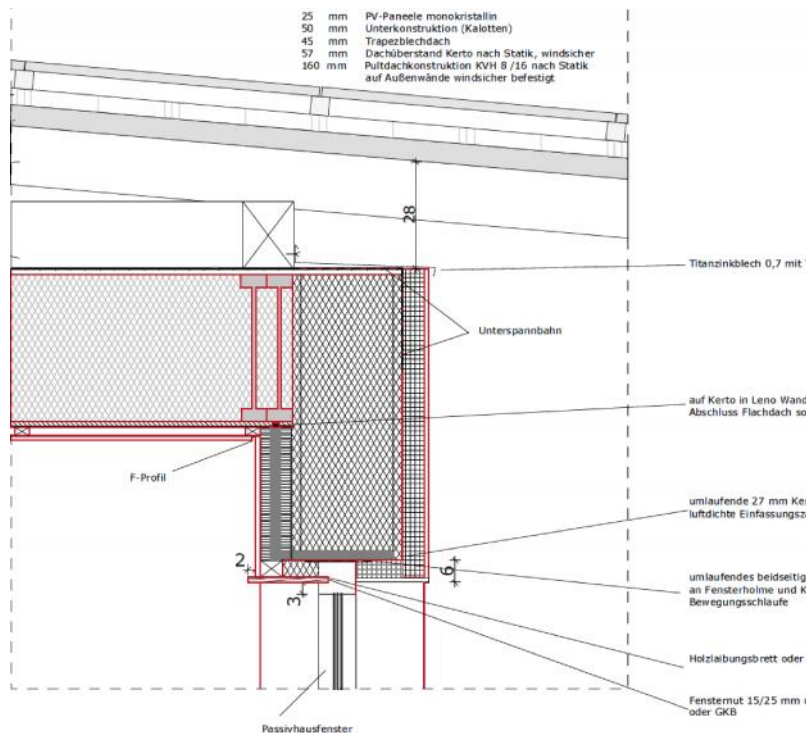


Der Aufbau der Außenwand.

Der Holzbau im EG + OG mit 85 mm Kerto in Leno-Wand steht als statisches und luftdichtes Element auf dem Stahlbetonbau im Untergeschoss. Die FJI-Träger mit 300 mm wurden mit Zellulose nach Beplankung der 60 mm Holzweichfaserplatten ausgeblasen. Die Holzweichfaserplatten erhielten einen Leichtputz als kosteneffizienten Fassadenabschluss. Die Betonwände im Untergeschoss wurden mit 300 mm EPS-Platten vollflächig verklebt und verputzt.

Außenwand	Mineralischer Außenputz; 60 mm HWL-Platten, 300 mm FJI-Träger mit Zellulose; 85 mm Kerto in Leno-Wände; 2x 12,5 mm Gipskartonplatten.	U-Wert 0,107 W/(m²K)
------------------	---	----------------------------

4.3 Konstruktion inkl. Dämmung des Daches

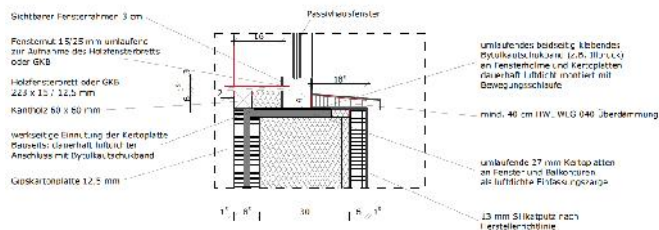
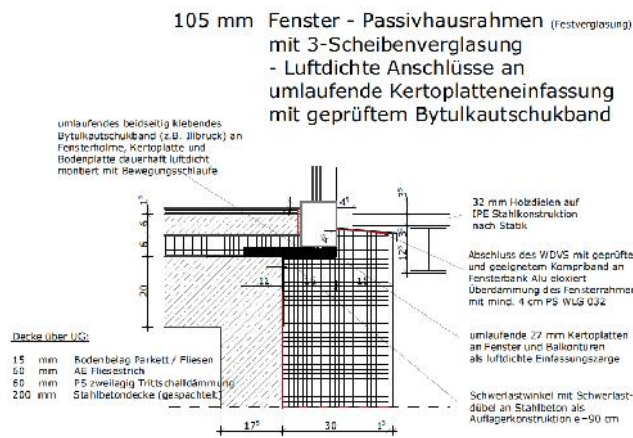


Der Dachaufbau im Passivhaus MüPEG in Münnerstadt.

Die thermische Hülle schließt in diesem Gebäude als oberste Geschossdecke unter dem aufgesetzten Pultdach ab und besteht aus 400 mm FJI-Trägern mit Zellulose sowie einer unterseitigen Beplankung aus OSB-Platten und oberseitiger Beplankung mit Rauspundbrettern sowie einer Unterspännbahn. Das Pultdach ist somit als reiner Wetterschutz vor der thermischen Hülle als Kaltdach ausgebildet.

Dach	12,5 mm Gipskartonplatten mit 15 mm OSB-Platten bei 400 mm FJI-Trägern mit Ausblasdämmung in Zellulose WLG 040. Den oberen Abschluss bildet eine 22 mm Holzschalung mit einer winddichten Unterspännbahn.	0,103 W/(m²K)
-------------	---	------------------

4.4 Fensterschnitte inkl. Einbauzeichnung



Die verwendeten Fensterbauteile der Firma Bug Aluvogt design Uw 08 wurden mit passivhauszertifizierten Fensterkanteln aus Holz-Aluprofilen mit PUR-Dämmebenen bei einem Uf-Wert von 0,7-0,8 W/m²K ausgeführt. Die Süd- Ost- und Westfenster wurden mit einer 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in 0,6 W/m²K und zur Nordseite mit 0,5 W/m²K bestückt. Alle Tür- und Fensterbauteile wurden wärmebrückenreduziert im Untergeschoss als auch in den Obergeschossen des Holzbaus in die Dämmlagen luftdicht montiert und mit 6 cm Wärmedämmung überdämmt.

Daten zum Fenster

Fenster	Dreifach-Wärmeschutzglas mit Argonfüllung. Alu-Holzfensterrahmen mit Rahmen-dämmung aus Polyurethanaufsatzschalen (CO ₂ -geschäumt, FCKW-frei).	0,68-0,78 W/(m ² K)
	g-Wert (Gesamtenergiedurchlassgrad) nach DIN EN 410	50 %

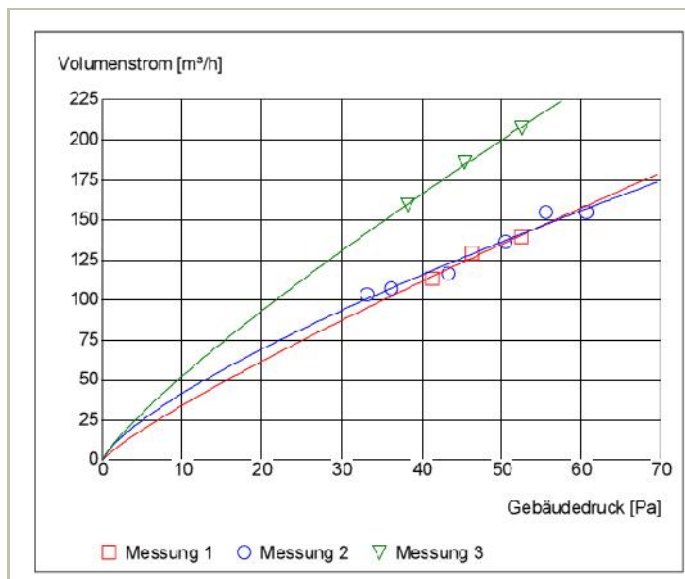
5 Beschreibung der luftdichten Hülle; Dokumentation des Drucktestergebnisses

Für das Passivhaus wurde in der frühen Planungsphase eine sehr dichte Gebäudehülle anvisiert. Hiermit konnte im ersten baubegleitenden Luftdichtigkeitstest ein Wert von $0,2 \text{ h}^{-1}$ bei 50 Pa-Drucktestluftwechsel erreicht werden.

Alle Anschlüsse und Durchdringungen der Gebäudehülle wurden penibel geplant. In den Fertigteilwänden kamen deshalb zusätzliche Butylbänder an den Stößen zum Einsatz. Die Fenster als auch Türbauteile wurden mit durchgehenden Kompribändern als auch ergänzenden Butylverklebungen versehen. Ergänzend wurden die Durchdringungen für die Wärmepumpe als auch für die Elektroinstallationen für die Außeninstallationen mit Quetschdichtungen reversibel geplant und luftdicht verschlossen.

Die luftdichte Hülle wurde im Dachbereich durch die OSB-Platten (Stoßverklebung) als auch durch die innere Kertolage der Holzmassivwände im Holzbau erreicht. Die luftdichte Ebene im Massivbau des UG stellen die Stahlbetonwände als auch die Bodenplatte dar. Alle Stöße wurden im Holzbau durchgehend verklebt oder mit Butylbändern abgedichtet. Die Betonwände wurden vollflächig verspachtelt und mit Butylbändern montiert.

Drucktestmessergebnisse vom 07.10.2011 :



Messung 1 = Unterdruck = $0,2 \text{ l/h}$

Messung 2 = Überdruck = $0,2 \text{ l/h}$



Für das Passivhaus wurde in der abschließenden Messung am 03.10.2015 nach ca. drei Jahren in der Bewohnung ein Wert von $0,29 \text{ h}^{-1}$ bei 50 Pa-Drucktestluftwechsel und damit weiterhin ein Passivhausniveau in der Gebäudedichtigkeit erreicht.

3.5 Gesamtergebnis

Als Mittelwert der Über- sowie Unterdruckmessungen ergeben sich folgende Werte als Gesamtergebnis für das untersuchte Gebäude:

Volumenstrom:	229 m^3/h	$\pm 14 \%$
Luftwechselzahl n_{50} :	0,29 $1/\text{h}$	$\pm 14 \%$
Grundflächenwert w_{50} :	0,71 $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$	$\pm 14 \%$
Hüllflächenwert q_{50} :	0,44 $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$	$\pm 14 \%$
eff. Leckage-Fläche:	114 cm^2	$\pm 13 \%$

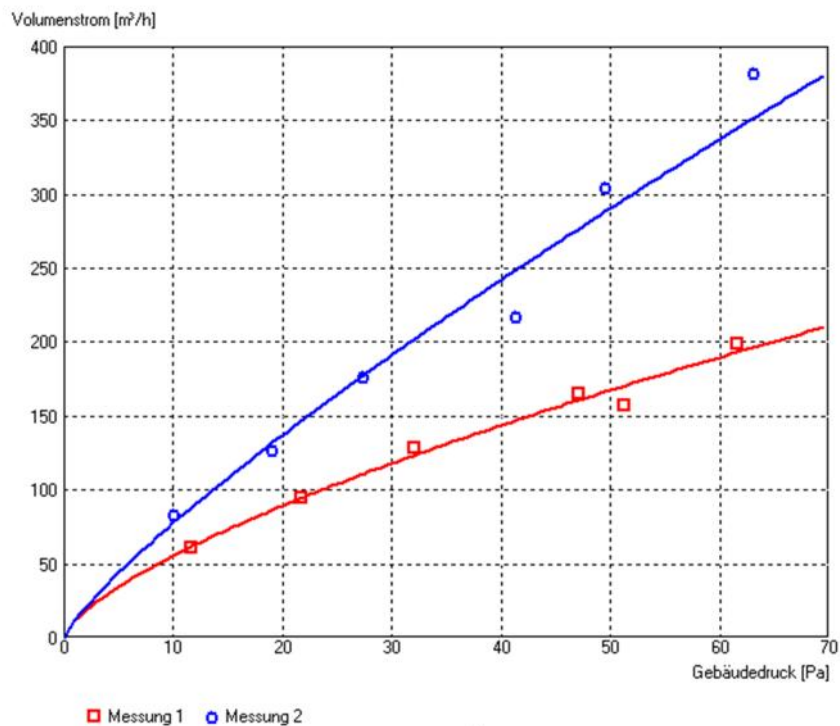


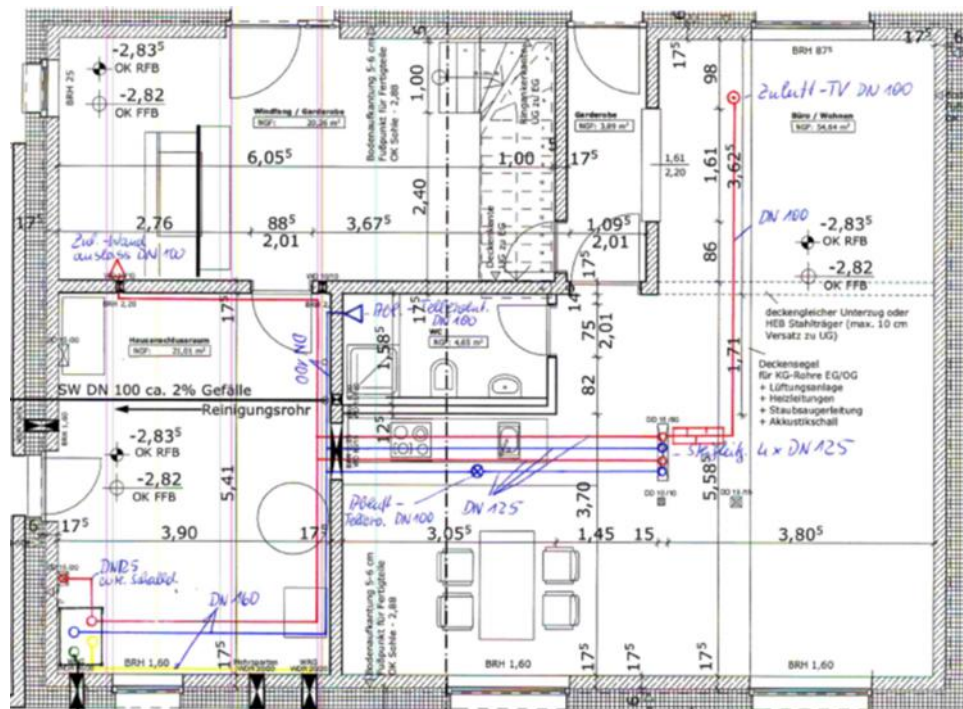
Abb. 1: Messkurven der Unter- bzw. Überdruck-Messung

Die effektive Leckage-Fläche (entspricht die Summe aller vereinzelter Leckagen) für das gesamte Gebäude beschreibt eine Öffnung von ca. 11 cm Breite und 10 cm Höhe.

Die volumenbezogene Luftwechselrate n_{50} für das untersuchte Gebäude ergibt sich in Höhe von $0,29 \text{ h}^{-1}$. Der Kennwert für dieses Gebäude mit Lüftungsanlage von maximal $0,6 \text{ h}^{-1}$ wird demnach eingehalten.

6 Lüftungsplanung Kanalnetz

Ein zentrales Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung versorgt alle Räume mit der benötigten Frisch- bzw. Abluft bei einem Wärmerückgewinnungsgrad von 93 %. Durch die Integration des Lüftungskonzepts schon zu Beginn der Planung ergaben sich kurze Leitungslängen für die Lüftungsrohre mit geringen Druckverlusten. Es wurden handelsübliche Wickelfalzrohre für den Luft-Transport und Standard-Abluft- bzw. Teller- und Schnabelventile für die Zuluft verwendet. Das Lüftungsgerät mit hocheffizientem Gegenstromwärmetauscher und Feuchte-rückgewinnung steht im Technikraum des Gebäudes und führt mit kurzen Leitungswegen an die Außenluft. Durch die Feuchterückgewinnung erreicht das Raumklima eine konstante Luftfeuchtigkeit von 45-55%. Die Leitungsführungen der Wickelfalzrohre wurden aus Wartungsgründen zum Großteil aufputz bzw. in abgehängten Decken und Vorwandinstallationen montiert. Alle Wohn- und Schlafräume wurden mit Zuluftventilen (teilweise Weitwurfventile) ausgestattet. Die Nassbereiche als auch die Küchenbereiche mit Hauswirtschaftsraum wurden mit Abluftventilen geplant und umgesetzt. Alle trennenden Türblätter zu den Fluren wurden für eine notwendige Überstomung zur Luftbalancierung entsprechend gekürzt.



Die Grafik zeigt die **Lüftungsplanung mit zentraler Lüftungsverteilung** im Untergeschoss. Die Wickelfalzrohre wurden im Technikraum auf Sicht und in der Büroeinheit unter einer abgehängten Decke montiert. Die hohe WRG mit den kurzen Leitungsführungen und den großen Leitungsquerschnitten bei geringen Leitungsverlusten erzielten deutlich geringere Energiebereitstellungen als vorab in den Berechnungen und Simulationen ermittelt. Diese Erkenntnisse wurden durch das Monitoring der HS Augsburg durchgeführten Messungen festgestellt.



Der verwendete Wickelfalzrohre in der abgehängten Decke mit Telefonieschalldämpfer im EG sowie die passivhauszertifizierte Lüftungsanlage für die effiziente Wärmerückgewinnung.

Das zentrale Lüftungsgerät Novus 300 F der Firma Paul erzielt durch den Gegenstromkanalwärmetauscher einen sehr hohen Wärmerückgewinnungsgrad von 93% zzgl. Feuchterückgewinnung und ist mit einer Elektroeffizienz von 0,24 Wh/m³ stromsparend positioniert.

7 Wärmeversorgung Plusenergiegebäude MüPEG

Die benötigte Wärmemenge zur Beheizung des Passivhauses und zur Bereitstellung des Trinkwarmwassers wird in der Grundlast durch eine Wärmepumpe gewährleistet. Für die Spitzenlast der Wärmeversorgung wurden elektrisch betriebene Steinplatten dimensioniert. Folgende Technik-Parameter beschreiben die Heizanlage näher:

Erdkollektor für die Wärmepumpe:	22,4 m ²
Elektrische Leistung der Wärmepumpe:	750 Watt
Thermische Leistung der Wärmepumpe:	3.000 Watt
Thermischer Pufferspeicher:	500 Liter
Elektrische Stein-Heizplatten:	2 x 400 Watt



Die Wärmeverteilung erfolgt mit einem bedarfsgeführten Pumpensystem (Geniux) und versorgt die ca. 50 m² große Fußbodenheizung im Gebäude.

Für die 4 Heizkreise ist je eine Pumpe mit einer elektrischen Leistung von 3,5 W installiert worden. In Abhängigkeit von der Außentemperatur und der jeweiligen Raumtemperatur werden die Pumpen-Drehzahlen und die Vorlauftemperatur für die Fußbodenheizung über ein BUS-System eingestellt. Mit dieser bedarfsgerechten Wärmeverteilung spart das Pumpen-System ca. 20 % Heizenergie im Vergleich zu einem hydraulisch-optimierten Heizungssystem.



Eine Photovoltaikanlage mit 23,74 KWp als auch ein Batteriespeicher mit nutzbaren 8 KWh versorgt den Haushaltsstrom als auch die Wärmepumpe und die elektrischen Heizplatten mit erneuerbarer Energie vom eigenen Hausdach. Energieüberschüsse werden zudem in das Elektroauto verteilt.



4 Blei-Gelbatteriezellen à 230 Ah
Kapazität von ca. 11,04 kWh
+ Batteriewechselrichter




Monokristalline Photovoltaikmodule
mit 23,74 KWp zur Energieerzeugung
vollflächig auf das Pultdach (PV-Segel)

Mit einem BUS-System wird das MÜPEG intelligent! So dienen im Sommer die automatisch geregelten Jalousien zur Verschattung, um angenehm, kühle Raumtemperaturen zu erhalten – die Innenraum- und Außentemperaturen werden als Regelparameter für die Jalousiesteuerung verwendet. Das BUS-System regelt zudem die Beleuchtungstechnik, teilweise auch mittels Bewegungsmelder sowie Tageslichtsensoren. Auch die Warmwasser-Zirkulationspumpe, das Zentral-Lüftungsgerät und die Haustüren kommunizieren über die BUS-Technik.



8 PHPP-Berechnungen + Energiebilanz MüPEG

Passivhaus Nachweis

Objekt:	Passivhaus Miller		
Standort und Klima:	Münnerstadt	Würzburg	
Straße:	Ignas-Bals-Straße 11		
PLZ/Ort:	D- 97702 Münnerstadt		
Land:	Deutschland/Bayern		
Objekt-Typ:	Wohngebäude		
Bauher(en):	Jeannette & Andreas Miller		
Straße:	Hauptstraße 41		
PLZ/Ort:	D-97618 Wollbach		
Architekt:	Andreas Miller		
Straße:	Hauptstraße 41		
PLZ/Ort:	D-97618 Wollbach		
Haus Technik:	Ingenieurbüro Miller		
Straße:	Hauptstr. 41		
PLZ/Ort:	97618 Wollbach		
Baujahr:	2011		
Zahl WE:	2	Innentemperatur:	20,0 °C
Unbautes Volumen V_u :	1234,5 m³	Interne Wärmequellen:	2,1 W/m²
Personenzahl:	6,2		

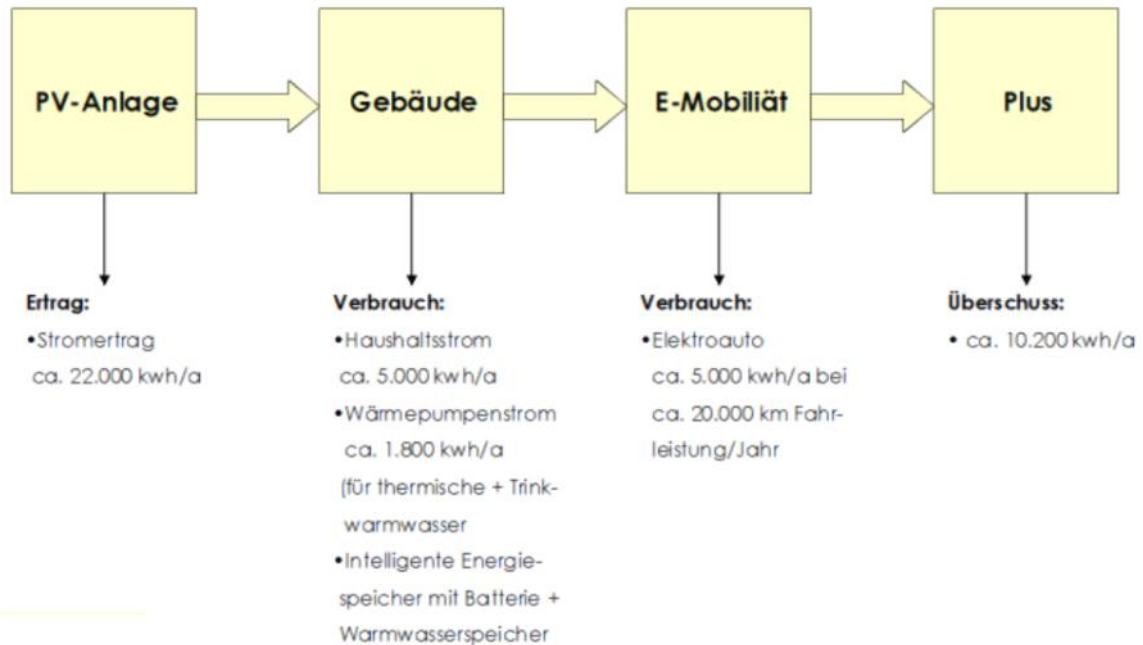
Kennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche			
Energiebezugsfläche:	308,0 m²	Verwendet:	Monatsverfahren
Energiekennwert Heizwärme:	11 kWh/(m²a)	PH-Zertifikat:	15 kWh/(m²a)
Drucktest-Ergebnis:	0,3 h⁻¹		0,6 h⁻¹
Primärenergie-Kennwert (WW, Heizung, Kühlung, Hilfe- u. Haushalts-Strom):	79 kWh/(m²a)		120 kWh/(m²a)
Primärenergie-Kennwert (WW, Heizung und Hilfsstrom):	40 kWh/(m²a)		
Primärenergie-Kennwert (Eintragung durch solar erzeugten Strom):	79 kWh/(m²a)		
Heizlast:	9 W/m²	Über:	25 °C
Übertemperaturhäufigkeit:	2 %		15 kWh/(m²a)
Energiekennwert Nutzkälte:	8 kWh/(m²a)		
Kühlleistung:	8 W/m²		

Kennwert mit Bezug auf Nutzfläche nach EnEV			
Nutzfläche nach EnEV:	395,0 m²	Anforderung:	40 kWh/(m²a)
Primärenergie-Kennwert (WW, Heizung und Hilfsstrom):	31 kWh/(m²a)		

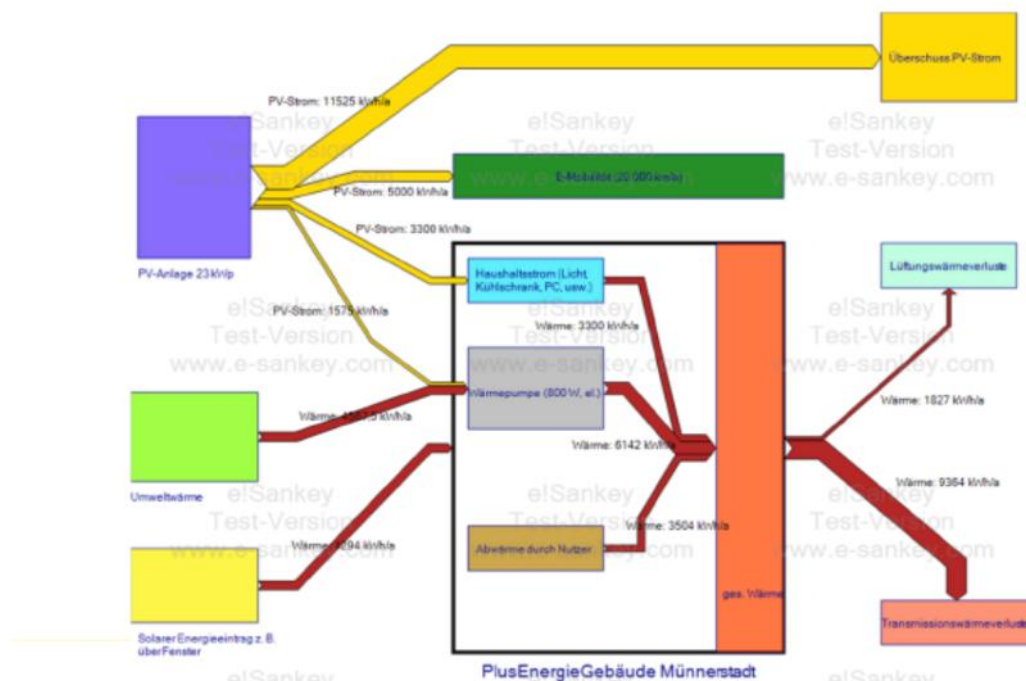
PHPP-Dokument des Münnerstädter Plusenergiegebäudes (MüPEG). Der hauptverantwortliche Planer des Passivhauses wohnt bereits mit Familie im Gegensatz zu den hier angegebenen Kontaktdaten in diesem Gebäude. Alle Parameter für ein zielführendes Passivhaus wurden deutlich unterschritten und erreicht. Die weiterführenden Planungen zum Plusenergiegebäude wurden ebenfalls durch das Ingenieurbüro Miller in Münnerstadt durch den Umweltingenieur und „Energieeffizienz-Designer“ M.sc. Daniel Miller konzipiert. Die genauen Daten der zusätzlichen Energieerzeugungen wurden in der Zertifizierung noch nicht erfasst und bewertet.

Anbei werden die vorab simulierten Energiebilanzen als auch Energieflussschemen dargestellt. Die tatsächlich festgestellten Bilanzen im Zeitraum des Monitorings der HS Augsburg erzielen ähnliche Werte und wurden als eigenständiger Schlussbericht dokumentiert und diesem Bericht beigelegt.

Energiebilanz

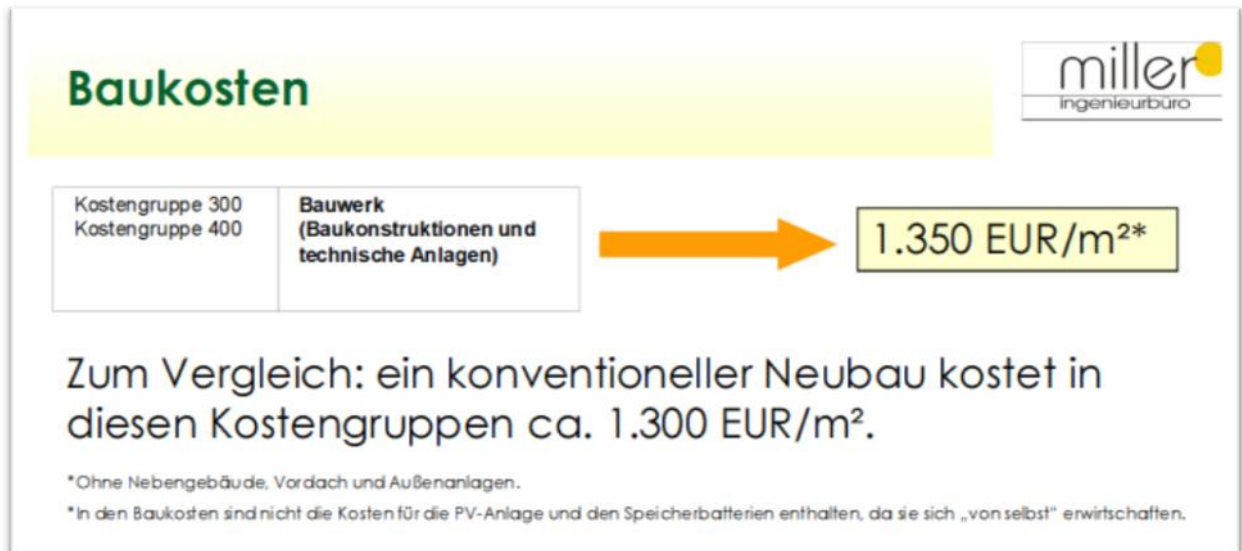


Energiefluss



9 Baukosten Passivhaus MüPEG

Die Erstellung des Passivhauses MüPEG wurde mit kostenreduzierten Planungsansätzen realisiert. Mit einfachsten Bodenbeläge und Gestaltungslösungen wurde deshalb eine günstige Gebäudeerrichtung ermöglicht.



Die Mehrinvestitionen haben sich somit innerhalb kürzester Zeit durch die höhere Energieeffizienz der Betriebskosten kurzfristig wieder erwirtschaftet. Ergänzende Zuschüsse für energieeffizientes Bauen der Bundesregierung wurden bereits verrechnet.

In diesen Kostenansätzen wurde die Investition in die Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher nicht berücksichtigt, da diese zur Erreichung eines Passivhauses nicht zwingend relevant ist. Die PV-Anlage wird sich aufgrund der zur Inbetriebnahme noch hohen Einspeisevergütungen durch das EEG von 28,6 ct/KWh innerhalb von ca. 10-12 Jahren eigenständig ohne Einsatz von Eigenkapital amortisieren. Die Planungskosten wurden hierbei nicht gerechnet, da diese in Eigenleistung erfolgt sind.

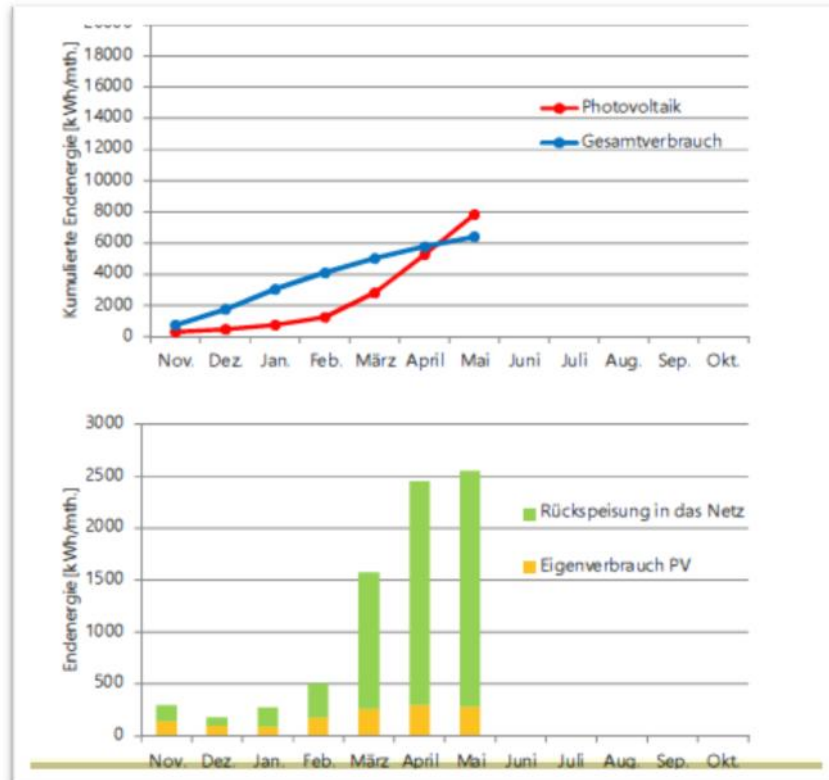
Wird man die Planungskosten als auch die PV-Anlage mit Batteriespeicher in die Gestehungskosten einberechnen ist ein Kostenansatz von ca. 1980,-€/m² für dieses Gebäude zum Zeitpunkt der Entstehung anzusetzen.

10 Messergebnisse aus dem bewohnten Passivhaus als Plusenergiegebäude MüPEG

1.1 Messdatenerfassung

Die Hochschule Augsburg im Fachbereich Energieeffizienz-Design hat in diesem Gebäude zwischen 2012-2014 eine **kontinuierliche Messdatenerfassung** durchgeführt. Es wurden über 38 Messgrößen kontinuierlich erfasst, u.a.:

- Klima (Außenlufttemperatur und -feuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung, Globalstrahlung, Luftqualität außerhalb des Gebäudes)
- Raumlufttemperaturen + CO²-Messungen (in allen Geschossen)
- Raumluftfeuchten (in allen Geschossen)
- Energieflüsse im Gebäude
- Energieerzeugung + Energienutzung
- Wärmeflüsse + Wärmeströme der Verteilung und der Wärmepumpe
- Energieströme der thermischen und elektrischen Speicher



1.2 Gemessene Energieverbrauchswerte

Mit der Berechnung nach DIN V 18599 wurde für das Gebäude MüPEG der benötigte Bedarf für Heizen, Trinkwasser sowie die Hilfsenergie für die Anlagentechnik berechnet. In Tabelle 24 sind diese Werte dem gemessenen Verbrauch gegenübergestellt.

Tabelle 24: Vergleich Berechnung nach DIN V 18599 und Messwerte

Strombedarf/-verbrauch [kWh/a]	Strombedarf DIN V 18599	Messwerte Stromverbrauch	
		Nov 2012-Okt 2013	Nov 2013-Okt 2014
Wärmepumpe + Heizschwert	2.081	2.499	1.208
Heizplatte OG	819	280	71
Heizplatte UG	551	0	0
Summe Endenergie Erzeuger	3.451	2.779	1.279
Hilfsenergie	1.813	691	515
Summe	5.264	3.470	1.792

Da die Bundesforschung das Fraunhofer Institut mit der DIN 18599 als Grundlage herangezogen hatte weichen die oben dargestellten Endenergieergebnisse deutlich vom tatsächlich erzielten Energieverbrauch ab. Die PHPP-Berechnungen erzielten in diesem Gebäude ebenfalls geringfügig höhere Simulationsergebnisse.

Diese Ergebnisse sind sicherlich auch teilweise aufgrund des Nutzerverhaltens zu begründen, da die Kinderzimmer in dieser Zeit nur sehr reduziert, hauptsächlich zum Schlafen genutzt wurden und dementsprechend kaum zusätzliche Heizenergie durch die elektrischen Heizplatten zugeführt wurde.

Die große Differenz innerhalb der beiden gemessenen Zeiträume lässt sich darin begründen, dass der Winter 2013/14 deutlich milder war, als der strengere Winter 2012/13. Zudem wurden anlagentechnische Optimierungen der Regelung vorgenommen. Dadurch konnte das Einschalten des Heizschwertes weitestgehend vermieden werden.

Die Auswertungen des Monitorings haben gezeigt dass die Normberechnungen der DIN 18599 deutlich von den tatsächlich erzielten Ergebnissen abweichen. Zusätzlich wurden durch das Monitoring einige Optimierungspotentiale aufgedeckt als auch Herstellerangaben verifiziert. Ein generelles „smartes Monitoring“ sollte deshalb auch in hocheffizienten Gebäuden installiert werden um Fehler als auch das Nutzerverhalten zu überprüfen.

Eine Berechnungsmethode zur Erfassung aller Energieströme in einem Plusenergiegebäude mit E-Mobilität scheint aktuell noch nicht vorhanden zu sein. Die Bauteildimensionierungen und Energieflüsse für die reine Beheizung und Brauchwasserbereitstellung sind jedoch mit dem PHPP sehr gut darstellbar.

Alle Nutzer des Gebäudes bestätigen nach drei Jahren der Bewohnung das gute Raumklima im MüPEG.