

# **Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 34**

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus  
Unterkirnach

## **Forschungsprogramm**

Modellhäuser im „Plus-Energie-Standard“, ein Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

## **Messperiode**

November 2013 bis Oktober 2015

## **Aktenzeichen**

SWD - 10.08.82-11.7

## **im Auftrag**

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

## **bearbeitet von**

Dipl.-Ing. Günter Limberger



## **Endbericht zum Forschungsprojekt 11.7**

### **Effizienzhaus Plus Unterkirnach**

Messperiode November 2013 bis Oktober 2015

Verfasser:

Architekturbüro Limberger

Dipl.-Ing. Günter Limberger

Wiesengrund 2

78166 Donaueschingen

23. Juni 2017

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Kontext und Zielsetzung</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Gebäudesteckbrief</b>	<b>5</b>
3.1	Allgemeine Daten	5
3.2	Architektur	6
3.3	Wärmeschutz	6
3.4	Anlagentechnik	8
3.5	Energiebedarf und Energiedeckung	9
3.6	Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599	10
<b>4</b>	<b>Monitoring</b>	<b>11</b>
4.1	Messkonzept	11
4.2	Verwendete Messtechnik	12
4.3	Dokumentation	14
<b>5</b>	<b>Meteorologische Randbedingungen</b>	<b>15</b>
5.1	Solarstrahlung	15
5.2	Außenlufttemperaturen	16
5.3	Klimabereinigung	16
<b>6</b>	<b>Messergebnisse</b>	<b>17</b>
6.1	Stromverbrauch	17
6.2	Stromverbrauch für Hausbetrieb	19
6.2.1	Stromverbrauch für projektspezifischen Anteil	19
6.2.2	Stromverbrauch für Elektromobilität	19
6.2.3	Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromgewinnung	20
6.3	Eigenstromnutzung	20
6.4	Anlagenperformance	21
6.4.1	Wärmeerzeuger	21
6.4.2	Lüftungsanlage	21
6.5	Innenraumtemperaturen sowie Raumluftfeuchte in Sommer und Winter	21

<b>7</b>	<b>Kosten</b>	<b>22</b>
7.1	Baukosten und laufende Kosten	22
<b>8</b>	<b>Bewertung</b>	<b>23</b>
8.1	Energieeffizienz des Modellgebäudes	23
8.2	Verbesserungspotentiale	25
8.3	Wirtschaftlichkeit	26
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>27</b>

# 1 Kurzfassung

Mit der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unterstützt die Bundesregierung gezielt den Einsatz von hochmodernen Monitoring-Systemen in Neubauten, um mit den Ergebnissen die Weiterentwicklung des Effizienzhaus-Plus-Standards in ganz Deutschland voranzutreiben. Dieser neue Standard ist nur durch den innovativen Einsatz von modernen Technologien und energieeffizienten Bauweisen möglich. Ein Monitoring hilft, die einzelnen Systemkomponenten getrennt betrachten zu können und eventuell auftretende Schwierigkeiten schnell zu erkennen und zu beseitigen. Ein Hauptaugenmerk liegt dabei auch auf der Zeitgleichheit von Energieerzeugung und -verbrauch, wobei vor allem die Eigennutzungsrate des produzierten Stroms maximiert werden soll. Das Monitoring und die innovativen Technologien der Effizienzhaus Plus Modellvorhaben wurden durch Mittel des Energie- und Klimafonds (EKF) gefördert. Die Modellvorhaben liefern wichtige Erkenntnisse zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050.

Das im Luftkurort Unterkirnach erbaute Einfamilienhaus wurde über eine zweijährige Periode von November 2013 bis Oktober 2015 von der Bauherren-Familie bewohnt und gleichzeitig durch ein hochmodernes Monitoring-Konzept messtechnisch erfasst und ausgewertet. Der Effizienzhaus Plus Standard wird durch eine intelligente Kombination bereits am Markt verfügbarer Technologien erreicht.

Durch das Monitoring wurde nachgewiesen, dass das Projekt den angestrebten Effizienzhaus Plus Standard erfüllt. Im folgenden Bericht werden nun die Endergebnisse dargestellt.

# 2 Kontext und Zielsetzung

Das Projekthaus entstand in Passivhausbauweise als modernes Einfamilienhaus mit zusätzlicher Einliegerwohnung über der an das Haus angrenzenden Garage.

Der ganzjährige Warmwasserbedarf und der Heizwärmebedarf im Winter werden über ein Kombinationsgerät aus Lüftung und Wärmepumpe gedeckt. Des Weiteren wird die Eigennutzungsrate des durch die PV-Anlage produzierten Stroms mit einem Li-Ionen-Akku mit Kapazität von 5,2 kWh erhöht und optimiert. Durch den Einsatz von LED-Leuchten im ganzen Haus wurde von Anfang an, im Gegensatz zu herkömmlichen Leuchten, Energie eingespart. Auf das öffentliche Stromnetz muss vor allem nachts und im Winter zurückgegriffen werden.

Um das ganze Projekt optimal umsetzen zu können wurden schon während der Planungsphase für die einzelnen Bereiche des Monitorings und des Gesamtkonzepts mehrere Fachleute hinzugezogen. Folgende Firmen waren daran beteiligt:

Tabelle 2:

Beteiligte Firmen am Monitoring-Projekt

Fachbereich	Firma
Architektur	Architekturbüro Limberger – Dipl. Ing. Günter Limberger Wiesengrund 2 – 78166 Donaueschingen Tel. 0771/2760 – Fax 0771/14820 – info@limberger-architektur.de www.limberger-architektur.de
Energiekonzept	Architekturbüro Limberger, Günter Limberger, Donaueschingen
TGA Planung	Architekturbüro Limberger, Günter Limberger, Donaueschingen und Ökologische Energietechnik GmbH, Markus Hürst, Donaueschingen
Monitoring	CS Instruments GmbH Süd, Wolfgang Blessing, Villingen-Schwenningen
Heizung und Regelung	Ökologische Energietechnik GmbH, Markus Hürst, Donaueschingen
Elektroinstallateur	Elektro Baschnagel, Werner Baschnagel, Villingen-Schwenningen
Photovoltaikanlage	Straub und Partner GmbH, Paulus Straub, Köln

## 3 Gebäudesteckbrief

### 3.1 Allgemeine Daten

Baujahr	2011
Bruttogrundfläche	465 m <sup>2</sup>
Beheizte Nettogrundfläche	282 m <sup>2</sup>
Beheiztes Gebäudevolumen	1374 m <sup>3</sup>
Hüllflächenfaktor A/V	0,7 m <sup>-1</sup>
Breitengrad	
Längengrad	
Höhenlage	815 m über N.N.
Mittlere Jahrestemperatur	7,6 °C
Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April)	2,8 °C
Gradtagzahl am Standort (Gt <sub>20/12</sub> ) 2013/14	2709 Kd
TRY - Klimazone / Referenzstation:	TRY 08, Braunlage, Oberharz und Schwarzwald (mittlere Lagen)

## 3.2 Architektur

Geplant und konzipiert wurde das Gebäude durch das Architekturbüro Limberger aus Donaueschingen.

Das Wohngebäude wurde in gemischter Bauweise erstellt, wobei der Wohntrakt mit Stahlbetondecken, Kalksandsteinwänden und einem Holzdach eher konventionell errichtet wurde, während die Garage mit der darüber liegenden Einliegerwohnung in Holzrahmenbauweise realisiert wurde. Das Wohnhaus wurde als Passivhaus konzipiert. Es ist in seiner Grundform kubisch und mit einem flachen Dach versehen. Durch die kompakte Gebäudeform werden die Energieverluste über die Gebäudehülle minimiert. Auch mit der Planung der Fenster wurde in energetisch optimaler Weise verfahren. Großflächige Fenster zur Südseite dienen als "Solarkollektoren" für die tiefstehende Sonne in der Heizperiode. Im Gegensatz dazu sind auf der Nordseite nur schmale Schlitz, die das nötige Tageslicht im Inneren liefern.

Im Erdgeschoss des Hauptwohngebäudes befindet sich ein großzügiger Wohn-Essbereich mit Hauswirtschaftsraum und Gäste-WC. Über einen Verbindungsgang werden die Haustechnikzentrale und die Garage erreicht. Innerhalb des Verbindungskörpers befindet sich die Erschließung ins Obergeschoss mit drei Schlafräumen und zwei Badezimmern. Über das Treppenhaus gelangt man außerdem auch in die Einliegerwohnung, die über der Garage angeordnet ist.

Zur Architektur und zur kubischen Bauweise passt auch die Anordnung der Photovoltaikanlage, die als Ost-West-Anlage mit nur 15° Neigung vom Erdboden kaum sichtbar ist. Einziger Kontrast im Außenbereich bilden die vom Bauherren gewünschten waagrechten Streifen im Bereich der Garage, welche die ansonsten zurückhaltende Gestaltung mit weißem Putz und den anthrazitfarbenen Fensterrahmen sowie Blechverkleidungen aufnimmt und in die Gestaltung miteinbezieht.

## 3.3 Wärmeschutz

Das Hauptwohngebäude ist in massiver Bauweise errichtet und mit einem 30 cm starken Wärmedämm-Verbundsystem versehen. Eine Einliegerwohnung, die über der Garage errichtet wurde, ist in Holzständerbauweise realisiert. Der U-Wert der Wand liegt zwischen 0,11 W/(m<sup>2</sup>K) und 0,13 W/(m<sup>2</sup>K). Die Dächer wurden als Pult- bzw. Flachdach ausgeführt, deren FJI (Finnjoist)-Träger (Holz-Stegträger) als Sparren mit Zellulosedämmung ausgeflockt wurden. Der U-Wert des Daches hat eine Größe von 0,09 W/(m<sup>2</sup>K). Die Bodenplatte des nicht unterkellerten Gebäudes wurde mit einer 45 cm starken Glasschaumschotterschüttung versehen und erreicht einen U-Wert von 0,08 W/(m<sup>2</sup>K). Die Fenster wurden als Kunststoff-Aluminium-Fenster mit einer Dreischeibenverglasung ausgeführt. Alle Gebäudehüllflächen weisen sehr gute U-Werte auf und wirken somit höchst wärmedämmend. Gute Dämmwerte sind insbesondere aufgrund der Höhenlage im Südschwarzwald von 815 m über N.N. wichtig für die Behaglichkeit. Durch den guten Wärmeschutz ist gewährleistet, dass auch bei den in Unterkirnach üblichen sehr niedrigen Wintertemperaturen an den Innenseiten der Außenwände immer Oberflächentemperaturen von 15 bis 18 Grad herrschen und sich somit ein sehr angenehmes und komfortables Wohnklima in den Innenräumen einstellt.

Tabelle 3:

Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert

Bauteil	Aufbau / Material	Dicke	Lambda-Wert [W/mK]	U-Wert [W/m²K]
Außenwand KS(von innen nach außen)	Innenputz	15 mm	0,7	<b>0,112</b>
	Kalksandstein	175 mm	0,99	
	Dämmung	300 mm	0,0035	
	Außenputz	15 mm	1,00	
		<b>50,50 cm</b>		
Außenwand Holzständerwand (von innen nach außen)	Gipskartonplatte	12,5 mm	0,25	<b>0,128</b>
	OSB-Platte	15 mm	0,13	
	Dämmung/Holzkonstr.6/26	260 mm	0,04/0,13	
	Holzfaserverplatte	100 mm	0,042	
		<b>38,75 cm</b>		
Außenwand gegen Garage (von innen nach außen)	Gipskartonplatte	12,5 mm	0,25	<b>0,128</b>
	OSB-Platte	15 mm	0,13	
	Dämmung/Holzkonstr.6/26	260 mm	0,04/0,13	
	Holzfaserverplatte	100 mm	0,042	
		<b>38,75cm</b>		
Bodenplatte	Estrich	60 mm	1,4	<b>0,072</b>
	Dämmung	80 mm	0,035	
	Stahlbeton-Bodenplatte	220 mm	2,5	
	Misapor	450 mm	0,04	
		<b>81 cm</b>		
Decke über Garage	Estrich	60 mm	1,4	<b>0,131</b>
	Dämmung	80 mm	0,035	
	Beton	60 mm	2,5	
	Schalung	18 mm	0,13	
	Dämmung/Holzkonstr.8/26	240 mm	0,04/0,13	
	OSB-Platte	15 mm	0,13	
		<b>47,30 cm</b>		
Pulldach (von innen nach außen)	Gipskartonplatte	12,5 mm	0,25	<b>0,105</b>
	Luft/Lattung	30 mm	0,184/0,13	
	Dämmung/FJI Träger	400 mm	0,04/0,286	
	Schalung	20 mm	0,13	
		<b>46,25 cm</b>		
Flachdach über ELW (von innen nach außen)	Gipskartonplatte	12,5 mm	0,25	<b>0,14</b>
	Luft/Lattung	30 mm	0,184/0,13	
	Dämmung/Holzkonstr.	320 mm	0,04/0,13	
	Schalung	20 mm	0,13	
		<b>38,25 cm</b>		

### 3.4 Anlagentechnik

Die Wärmeversorgung des Gebäudes erfolgt über das Lüftungskompaktgerät X<sup>2</sup> Plus von Drexel und Weiss, welches einerseits eine Wärmepumpe für die Warmwassererzeugung und andererseits ein Modul für die kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung beinhaltet. Zusammen mit einem im 300 l fassenden Pufferspeicher integrierten Heizstab, der auf manuelle Zuschaltung die Notreserve darstellt, ist das Kompaktgerät somit der einzige Wärmeerzeuger für das komplette Wohnhaus. Die Wärmepumpe auf Sole/Wasser-Basis entzieht über eine 75 m tiefe Erdwärmesonde dem Erdreich die Energie. Die Verteilung der Wärme im Haus erfolgt durch ein Niedertemperatur-Flächenheizsystem im Fußbodenaufbau. Die Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung (Wirkungsgrad ca. 83%) verringert die Lüftungswärmeverluste auf ein Minimum. Die angesogene Außenluft wird durch einen integrierten Kreislauf des Kompaktgerätes, der sogenannten Flüssigkeitsunterkühlung, vorerwärmt. Hier wird dem Kältemittel der Wärmepumpe die Restwärme entzogen (zusätzlich ca. 350 W Heizleistung), was zu einer Steigerung der Leistung der Wärmepumpe führt.

Das komplette Dach sowie die Garage sind mit polykristallinen Photovoltaikmodulen mit einer Gesamtleistung von 26,2 kWp bedeckt. Der dabei produzierte Strom lädt die im Technikraum befindliche Li-Ionen-Batterie mit einer Speicherkapazität von 5,2 kWh auf und wird erst wenn diese voll ist in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die Batterie erhöht den Eigenverbrauch des PV-Stroms, indem sie vor allem nachts und an Tagen ohne Sonne die Stromversorgung aufrechterhält. Anstatt der üblichen Süd-Ausrichtung der PV-Module wurde hier eine Ost-Westausrichtung mit geringer 15°-Aufständigung gewählt. Das hat den Vorteil, dass die Belegungsichte auf dem Flachdach größer wird und somit die Gesamtleistung der Anlage erhöht werden kann. Vor allem kann so auch der Eigenverbrauch erhöht werden.

Ein Schema des kompletten Energiekonzepts befindet sich im Anhang. Im Folgenden finden Sie die genauen Produktinformationen der verbauten Anlagentechnik.

Tabelle 4: Verwendete Anlagentechnik

Systemkomponente	Fabrikat mit Leistungsangaben	Hersteller
Wärmeerzeuger	Aerosmart X <sup>2</sup> Plus, Heizleistung 5 kW	Drexel + Weiss
Thermische Speicher	Warmwasserspeicher 300l, Leistung Heizstab 2000W	Drexel + Weiss
Lüftungsanlage	Aerosmart X <sup>2</sup> Plus, Wärmebereitstellungsgrad 83%	Drexel + Weiss
PV-Anlage	Module: TSM-240PCo5 und TSM 235PCo5 Gesamtleistung 26,2 kWp	Trina
Elektrische Speicher	Li-Ionen Batterie S10 Kapazität 5,4 kWh, 46,8 V, 38,1 Ah Wirkungsgrad >88%	E3/DC GmbH

Abbildung 1:  
15° Ost-West-Aufständerung der Photovoltaik-Module



### 3.5 Energiebedarf und Energiedeckung

Tabelle 5:  
Kalkulierter Energiebedarf

Name	Heizung	Warmwasser	Lüftung	Kühlung	Licht	Haushalt + Kochen	sonstiges
Nutzenergie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	1506,63	4319,66	-	-	-	-	-
Wärme-/Kälteabgabe d. Erzeugung $Q_{x,outg}$ [kWh/a]	2189,34	7956,38	-	-	-	-	-
Strombedarf [kWh/a]	2440,44	3360,81	2196,21	-	750	3250	1000
	Gesamt 12997 kWh/a						

Tabelle 6:  
Deckung des Energiebedarfs

Deckung (geplant)	
Komponente	[kWh/a]
PV - Dach	24.000
PV - Wand	-
PV - weitere	-
Gesamt	24.000

Aus den Berechnungen ergibt sich ein jährlicher Stromüberschuss von ca. 11.000 kWh, dies entspricht rein rechnerisch der Fahrleistung eines mittleren Elektrofahrzeugs (17 kWh/100km) von ca. 64.700 km.

### 3.6 Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599

Tabelle 7:

Energieeffizienz berechnet nach DIN V 18599

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie [kWh/m <sup>2</sup> a]
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung	7701	27,3
Erzeugerabgabe	Wärme- und Kälteabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	8546	30
Endenergie Erzeuger	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	3998	14
Endenergie Haustechnik	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung sowie Hilfsenergie für die Anlagentechnik wie Pumpen, Ventilatoren und Regelungen	5084,1	18
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik	13218	47

Tabelle 8:

Aufwandszahlen pro Leistungszahlen

Bewertete Teilabschnitte	Aufwandszahlen / Arbeitszahlen [kWh/kWh]
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe / Nutzenergie)	1,11
Effizienz der Wärme- / Kälteerzeuger (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	0,46
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik / Nutzenergie)	0,66
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie / Endenergie Haustechnik)	1,51
Arbeitszahl des Energieerzeugers (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	2,13
Primärenergetische Effizienz der Haustechnik (Primärenergie Haustechnik / Nutzenergie)	1,71

In Abbildung 7 im Anhang befindet sich außerdem ein Schema der Energiebilanz des Hauses, ebenfalls nach DIN V 18599 berechnet.

## 4 Monitoring

### 4.1 Messkonzept

Hauptziel des Monitoring-Projekts ist der Nachweis des „Effizienzhaus Plus Standard“. Um das zu erreichen, werden an allen wichtigen Schaltstellen des Hauses mithilfe verschiedener Sensoren die Energieströme erfasst. Dadurch kann der Gesamtstromverbrauch auf die einzelnen Bereiche Licht, Steckdosen, Herd, Wärmepumpe und Spülen, Waschen, Trocknen aufgeteilt werden. Gleichzeitig wird auch der Strom aus Photovoltaikertrag, Batterieladung bzw. Batterienutzung sowie Netzeinspeisung und Netzbezug erfasst. Die Messung der Wärmemengen erfolgt in den Sektoren Fußbodenheizung, Zirkulationsverluste, Warmwasser und Kältezähler (Entzug von Wärme aus dem Erdreich).

Die Energieströme sollen vor allem in Richtung gleichzeitige Erzeugung und Verbrauch untersucht werden. Dabei geht es um die zeitliche Abstimmung des Verbrauchs auf die Erzeugung. Letztendlich soll damit möglichst viel Strom, der verbraucht wird, auch selbst erzeugt werden.

Um die gemessenen Stromverbräuche auch richtig einordnen und auswerten zu können, ist es unerlässlich auch die entsprechenden Raumtemperaturen zu messen. Dies geschieht in den Schlafzimmern der Eltern und der Kinder, im Badezimmer und im Wohnzimmer, welches als großer Koch-, Wohn- und Essbereich geplant wurde. Parallel dazu wurde im Wohnzimmer auch noch die Raumluftfeuchtigkeit gemessen. Des Weiteren wurde geplant, auf dem Dach des Gebäudes eine Wetterstation zu errichten, um auch das Klima in den Auswertungen berücksichtigen zu können. Nach zweifacher defekter Anlieferung waren bereits mehr als acht Monate des ersten Messjahres vergangen und trotzdem war es dem Handwerker auch nach mehreren Aufforderungen nicht möglich, diese zu einem noch späteren Zeitpunkt anzubringen. Wir bedauern dies sehr, da nun wichtige Klimadaten für die Auswertung fehlen.

Der Bildschirmdatenschreiber DS500 wurde speziell für dieses Projekt adaptiert, bisher kommt er nur für Monitorings von Druckluft und Gasen in der Industrie zum Einsatz. Es konnte vorher also noch nicht vorhergesehen werden, ob er den Ansprüchen eines Gebäude-Monitorings, sinnvolle Messungen überwachen zu können, genügt. Dies war ein weiteres Ziel des ganzen Projekts. Von großem Vorteil sah man bereits im Vorfeld, dass sowohl intern als auch extern auf die Daten zugegriffen werden kann. In Zukunft soll der DS500 noch häufiger im Bereich des Gebäude-Monitorings zum Einsatz kommen, ermöglicht er doch durch seine einfach zu bedienende Benutzeroberfläche eine optimale Überwachung der Haustechnik.

## 4.2 Verwendete Messtechnik

Der Stromkreislauf ist mit den digitalen Energiezählern PM710 von Schneider Electric versehen. Diese Zähler stehen über einen integrierten RS485-Port in direkter Kabelverbindung zum intelligenten Bildschirmdatenschreiber DS500 von CS Instruments. Dieser führt alle eingehenden Messwerte zusammen. Insgesamt hat der DS500 je nach Ausführung bis zu 12 Eingänge. Es können also 12 verschiedene Messgrößen angeschlossen werden. Insgesamt wurden nur drei Datenschreiber eingebaut. Über eine Ethernet-Schnittstelle ist der Schreiber direkt mit dem Internet verbunden, möglich wird dadurch eine Datenfernauslesung durch das betreuende Architekturbüro Limberger mithilfe der mitgelieferten Software CS Soft Basic. Die Überwachung der Messung ist mit dieser Software unkompliziert, es können bis zu 32 Grenzwerte definiert werden und bei Überschreitung sendet diese je nach Einstellung automatisch eine Alarm-Mail oder eine Alarm-SMS. Das 7"-große farbige Touch-Panel erleichtert die Bedienung und die Konfiguration des Monitorings. Es gibt Grafiken, Kurven und Statistiken direkt vor Ort aus und somit können kleinere Kontrollen durch den Bauherrn direkt am Gerät durchgeführt werden. Eine integrierte Mathematikfunktion unterstützt dabei die Auswertung auf dem Bildschirm. Die Speicherung der Messdaten erfolgt auf einer Speicherkarte mit bis zu 4 GB Speicherkapazität. Eine weitere Datenübertragung ist über die eingebauten USB-Schnittstellen auf einen USB-Wechseldatenträger oder direkt auf einen angeschlossenen PC möglich.

Im Heizungskreislauf werden über 5 Ultraschall-Wärmemengenzähler von der Firma WDV/Molliné die fließenden Energiemengen erfasst und ebenfalls über den RS485-Port an den DS500 weitergeleitet. Die Temperatur- und Feuchtigkeitsmessung erfolgt über einen in den entsprechenden Räumen installierten Sensor.

Tabelle 9:  
Verwendete Messtechnik

Messgerät	Hersteller/Lieferant	Erläuterungen
Strom- und Spannungsmessgerät PowerMeter 710	Schneider Electric	Misst die fließenden Energiemengen Messungenauigkeit Strom und Spannung: 0,5%
Bildschirmdatenschreiber DS500	CS Instruments	Koordiniert alle einkommenden Messergebnisse und speichert diese
Ultraschall-Wärmemengenzähler Sharky Heat	WDV / Molliné	
Temperatursensor PT100	P 101	Misst Temperatur und Feuchtigkeit

Abbildung 2:  
Bildschirmdatenschreiber DS 500 von CS Instruments



Abbildung 3:  
Schematische Darstellung des Wärmekreislaufs

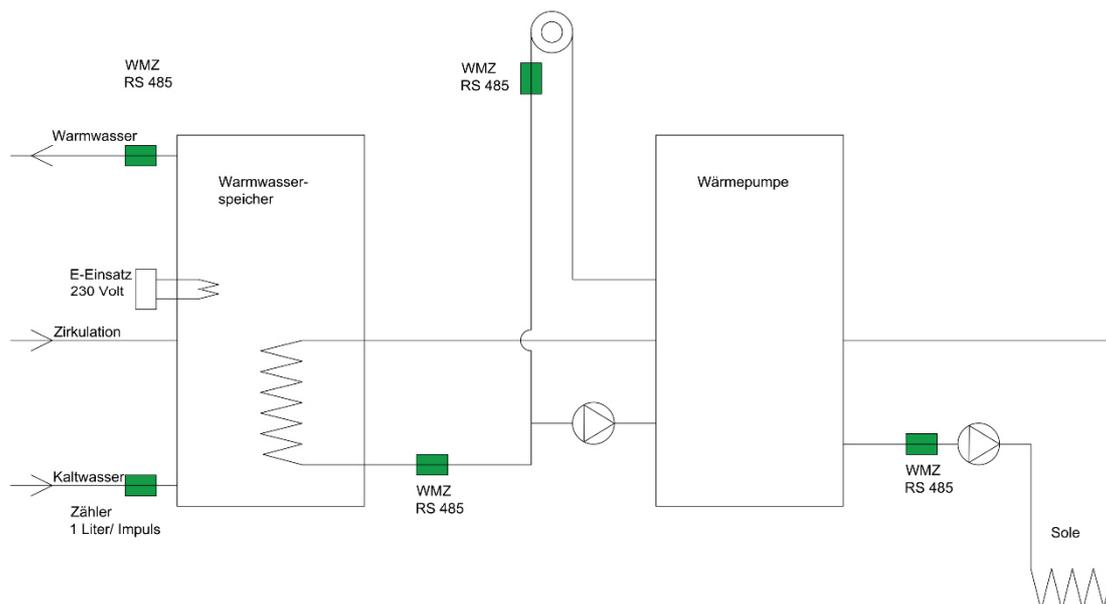
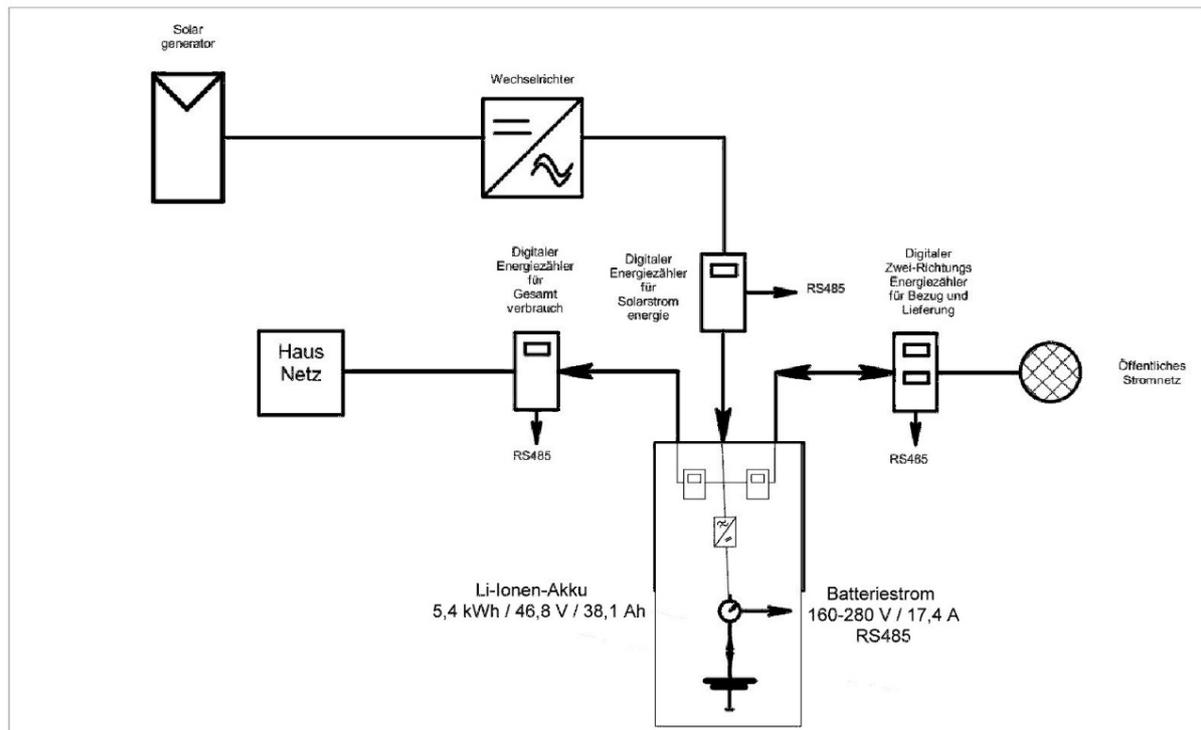


Abbildung 4:  
Schematische Darstellung des Stromnetzes



### 4.3 Dokumentation

Die Messdaten werden in einem Zeitintervall von 10 Minuten aufgezeichnet und können mittels VPN-Tunnel von externer Stelle oder auch direkt am Bildschirm des DS500 abgelesen werden. Im Programm werden neben den Rohdaten auch verschiedene Diagramme, die eine entsprechende Interpretation der Daten zulassen und für Vergleiche angesetzt werden können, angezeigt. Es sind insgesamt drei DS500 eingebaut, so dass maximal 36 Messstellen unterschiedlicher Herkunft verarbeitet werden können. Die große Anzahl an Messstellen lässt sich durch das Monitoring-Programm, das doch sehr genaue Einzeldaten erfassen will, erklären. Für ein konventionelles Einfamilienhaus können mit einem DS500 sicherlich die wichtigsten Daten aufgezeichnet werden, was zu einer enormen Kostenminderung führen würde. Die DS500 funktionieren auf MOD-BUS-Basis und sind dann mit den digitalen Strom- und Wärmemengenzähler an den jeweiligen Messstellen verbunden. Für künftige Entwicklungen wäre hier deutlich von Vorteil, wenn verschiedene Geräte, die Daten bereitstellen, direkt an den Energiecontroller angeschlossen werden könnten, so zum Beispiel der elektronische Stromzähler, die Batterieanlage oder auch die Wärmepumpe.

Bei der Verwendung der einzelnen Zähler wurde festgestellt, dass trotz Kompatibilität mit der MOD-BUS-Schnittstelle jeder einzelne Zähler individuell konfiguriert werden musste. Dies bedeutete einen Aufwand, der eigentlich vermeidbar wäre oder bereits im Betrieb des Installateurs ausgeführt werden sollte, um keine Koordinationstermine vor Ort vornehmen zu müssen. Ansonsten können die Daten des DS500 heruntergeladen werden und stehen dann offline mit dem Programm CS Soft Basic zur

Verfügung. Die Auswertung mithilfe des Programms lässt zu, Mittelwerte und Spitzenwerte herauszufiltern und auch ein zeitlicher Verlauf über beliebige Intervalle kann angezeigt werden. Insgesamt ist das eine sehr komfortable Funktion, wobei die Darstellung in der Optik noch etwas verbraucherfreundlicher gestaltet werden könnte.

Abbildung 5:  
Beispielhaftes Diagramm auf dem DS500

Quelle: Architekturbüro Limberger



## 5 Meteorologische Randbedingungen

### 5.1 Solarstrahlung

Aus den Globalstrahlungskarten des Deutschen Wetterdienstes gehen für den Standort Unterkirnach, der sich in der Klimazone o8 befindet, folgende Strahlungswerte für die Jahre 2014 und 2015 hervor:

Tabelle 10:  
Solarstrahlungswerte in Unterkirnach im Vergleich zu Deutschland

	Unterkirnach	Deutschland
	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[kWh/m <sup>2</sup> a]
2014	1101-1120	1075
2015	1181-1200	1111
Langjähriges Mittel	1101-1120	1055

Auffällig ist dabei, dass die Jahressumme 2015 in ganz Deutschland sehr hoch ist und stark vom langjährigen Mittel abweicht. Insgesamt gilt für den Standort Unterkirnach, dass die Globalstrahlung immer etwas höher ist als der durchschnittliche Wert für Deutschland. Dies lässt sich durch die Höhenlage von 815 m über N.N. im Schwarzwald erklären.

## 5.2 Außenlufttemperaturen

Das Gebäude steht am Rand eines Neubaugebietes mitten in der 2700 Einwohner-Gemeinde Unterkirnach. Im Südschwarzwald auf einer Höhe von 815 m über N.N. ist eher mit einem gemäßigten Klima zu rechnen, somit beträgt die mittlere Temperatur im ganzen Jahr bzw. im Winter gerade einmal 7,6 °C bzw. 2,8 °C. Ursprünglich war geplant eine Wetterstation auf dem Dach des Gebäudes zu errichten. Dann hätte man genaue Temperatur und Klimamessungen durchführen und in die Auswertung einbringen können. Der zuständige und beauftragte Handwerker konnte dieses Vorhaben leider nicht realisieren. Da es in der unmittelbaren Umgebung auch keine Wetterstation gibt, ist die Aussage über die Außenlufttemperaturen nur eine ungefähre Schätzung.

## 5.3 Klimabereinigung

Tabelle 11:

Gradtagszahlen in Unterkirnach im Vergleich zu Deutschland

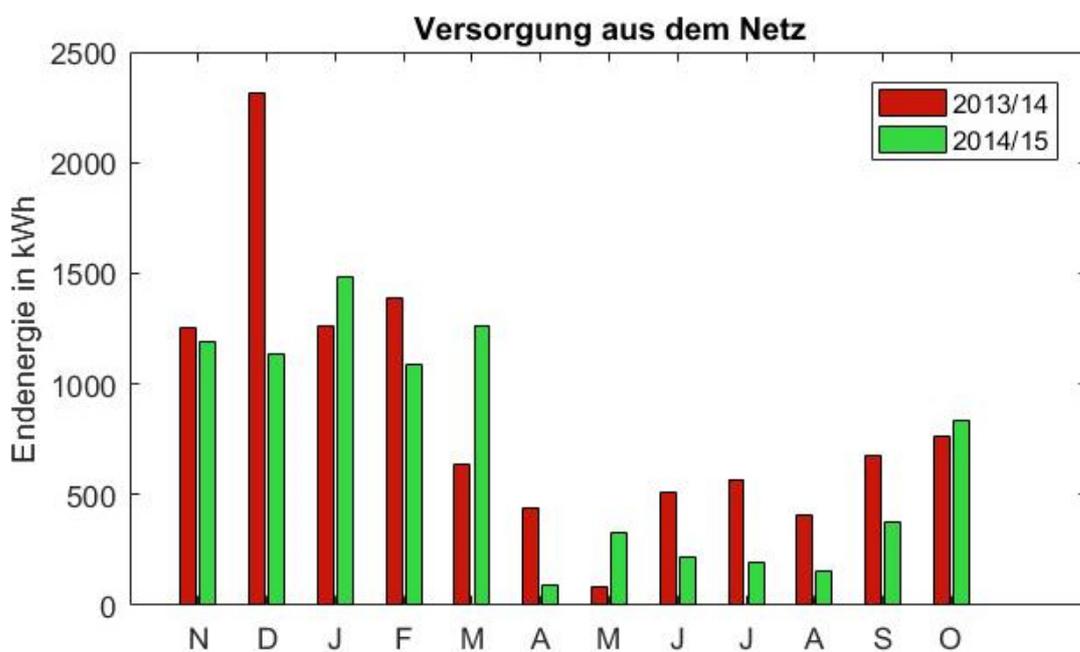
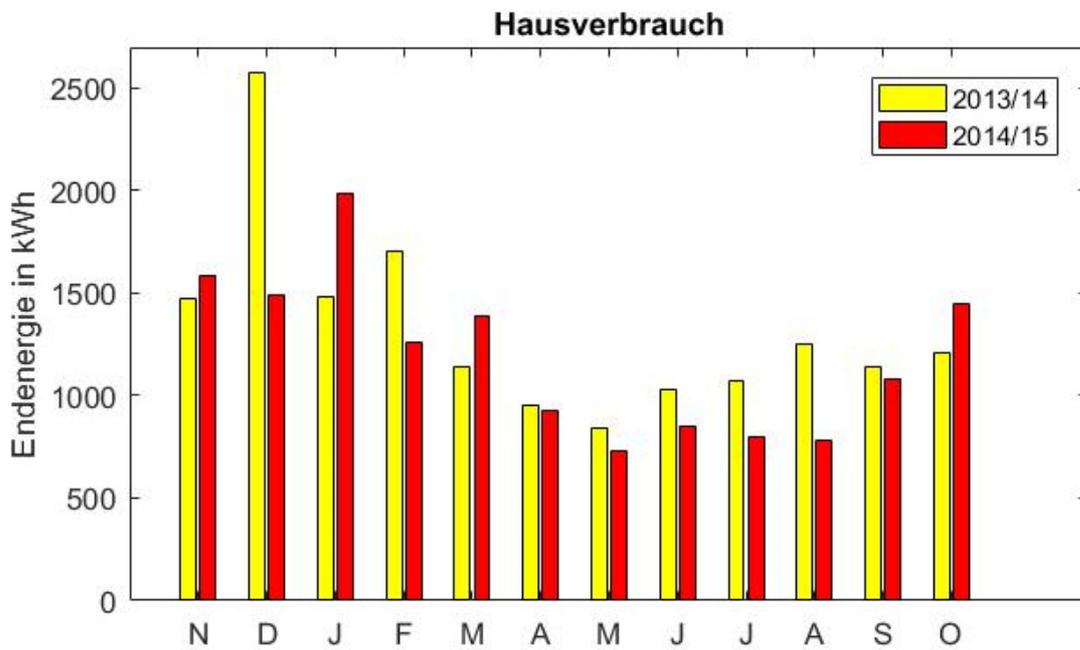
Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G <sub>20/12</sub> [Kd]
Gradtagzahl am Standort Unterkirnach in der Messperiode von November 2013 bis Oktober 2014	3576
Gradtagzahl am Standort Unterkirnach für das langjährige Mittel (1970 bis 2013)	4177
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland	3.601

- Klimafaktor bezogen auf den Standort:  
 $KF = 4177 \text{ Kd} / 3576 \text{ Kd} = 1,16$
- Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima:  
 $KF = 3.601 \text{ Kd} / 3576 \text{ Kd} = 1,01$

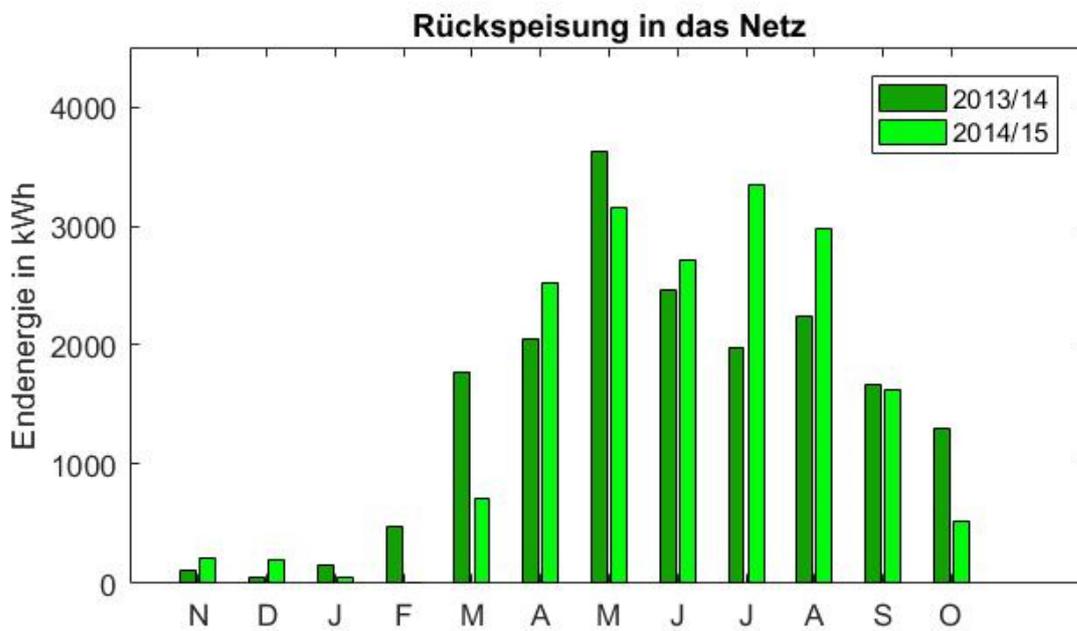
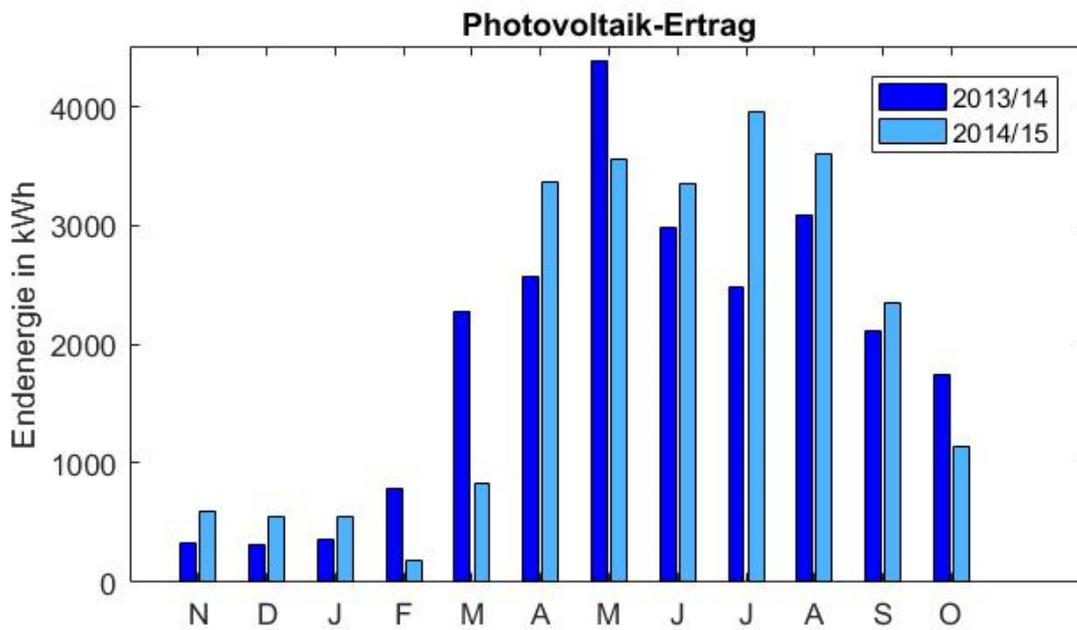
Dem Standort wird die Wetterstation Stuttgart (48,7° n.Br. 9,2° ö.L. / 371,0 m über NN) zugeordnet (Institut für Wohnen und Umwelt, [www.iwu.de](http://www.iwu.de)). Die Region der Landeshauptstadt weist jedoch ganz andere klimatische Bedingungen auf. Aus diesem Grund wurde ein Mittel aus den Gradtagszahlen der Wetterstationen Kempten (47,7° n.Br. 10,3° ö.L. / 705,2 m über NN) und Hohenpeißenberg (47,8° n.Br. 11,0° ö.L. / 977,0 m über NN), die sich auf ähnlicher nördlicher Länge befinden, gebildet. Unterkirnach hat mit 815 m über N.N. ungefähr auch die mittlere Höhe zwischen Kempten und Hohenpeißenberg.

## 6 Messergebnisse

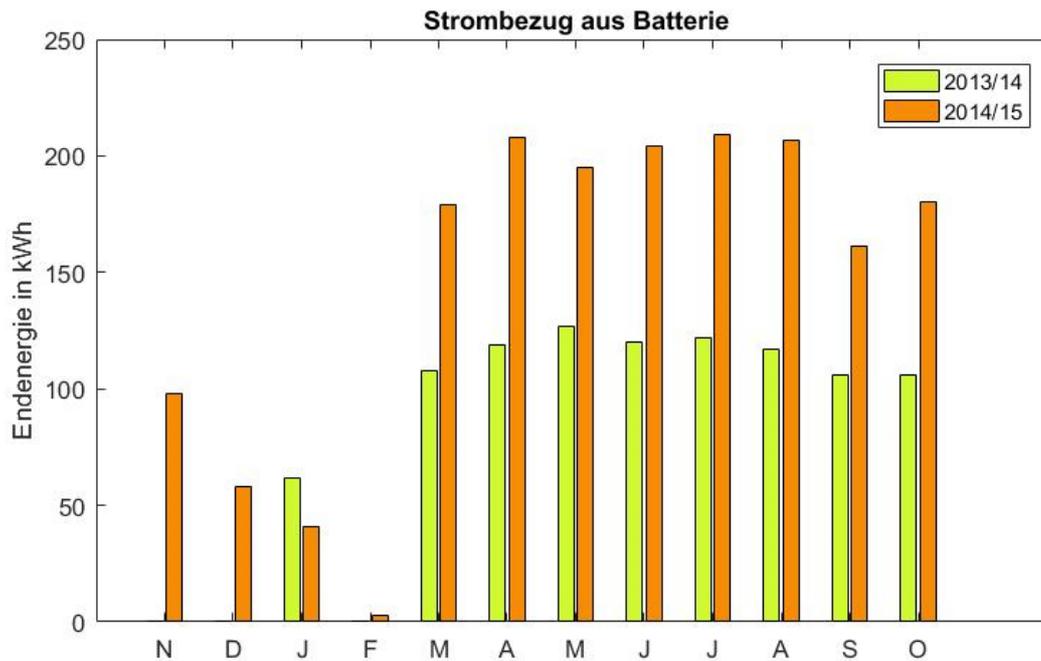
### 6.1 Stromverbrauch



Quelle: Architekturbüro Limberger



Quelle: Architekturbüro Limberger



Quelle: Architekturbüro Limberger

## 6.2 Stromverbrauch für Hausbetrieb

2013/14: 15.646 kWh

2014/15: 14.334 kWh

Davon bezogen aus dem Netz:

2013/14: 10.295 kWh

2014/15: 8347 kWh

Sofort auffällig ist, dass der tatsächliche Stromverbrauch viel höher ist, als ursprünglich berechnet wurde. Obwohl zu Beginn der Messperiode die Batterie noch gar nicht eingeschaltet war, merkt man kaum Unterschiede im Eigenverbrauch. In beiden Jahren bewegt sich der Wert zwischen 5000 und 6000 kWh. Der aus dem Netz bezogene Strom reduziert sich um knapp 2000 kWh vom ersten auf das zweite Jahr, wodurch sich also auch der Gesamtverbrauch um 16 % reduziert.

### 6.2.1 Stromverbrauch für projektspezifischen Anteil

Nicht separat gemessen, in 6.1.1 enthalten.

### 6.2.2 Stromverbrauch für Elektromobilität

Die Bauherren besitzen kein Elektrofahrzeug. Aus diesem Grund wurde auch kein Stromtankanschluss geplant.

## 6.2.3 Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromgewinnung

PV-Ertrag:

2013/14: 23.425 kWh

2014/15: 24.003 kWh

In beiden Jahren des Monitorings wurde der PV-Soll-Ertrag von 24.000 kWh knapp erreicht. Die Photovoltaik-Anlage produziert deutlich mehr Strom, als für den durchschnittlichen Hausverbrauch nötig ist. Ein großer Anteil des produzierten Stroms wird in das öffentliche Netz eingespeist.

Strom aus PV-Ertrag der eingespeist wurde:

2013/14: 17.869 kWh

2014/15: 18.016 kWh

Strom aus PV-Ertrag zur Batterieladung:

2013/14: 1096,7 kWh

2014/15: 1955,7 kWh

Batterie-Verluste:

2013/14: 109,7 kWh

2014/15: 212,7 kWh

Es ist sehr erfreulich, dass die Batterie nur mit ungefähr 10 % Verlust arbeitet. Wären diese größer, so würde sich die Frage nach der Rentabilität stellen. Fraglich bleibt, warum im ersten Jahr insgesamt viel mehr Energie in der Batterie gespeichert wurde, was sich vor allem gut am Diagramm „Strombezug aus Batterie“ unter 6.1 erkennen lässt.

Überschuss, wenn komplette Versorgung mit Eigenstrom wäre:

2013/14: 7574 kWh

2014/15: 10.803 kWh

Insgesamt sieht man, dass die Autarkie des Hauses grundsätzlich möglich wäre, jedoch müssen dafür vor allem in der Nacht und im Winter Speicherkapazitäten geschaffen werden. In den Wintermonaten sind die flach geneigten PV-Flächen in Unterkirnach häufig mit Schnee bedeckt und liefern somit insbesondere in der Heizperiode weniger Strom. Für die Zukunft besteht das größte Optimierungspotential darin, die Speicherkapazitäten zu erhöhen, um solche Perioden zu überbrücken.

## 6.3 Eigenstromnutzung

Hier wurden der direkt aus der PV-Erzeugung genutzte Strom und der Strom aus der Batterie zusammengefasst.

2013/14: 5556 kWh

2014/15: 5987 kWh

Der absolut genutzte Eigenstrom verändert sich kaum merklich. Weil jedoch im zweiten Monitoring-Jahr insgesamt deutlich weniger Strom verbraucht wurde, hat sich der Eigenstromanteil, also der Anteil des selbstproduzierten Stroms am gesamten Hausverbrauch, von 35 % im ersten Jahr auf 45 % im zweiten Jahr erhöht. Die Eigenverbrauchsquote, der Anteil des genutzten selbstproduzierten Stroms am gesamten Photovoltaik-Ertrag, dagegen erhöhte sich mit 23,7 % auf 24,9 % um nur einen Prozentpunkt.

## 6.4 Anlagenperformance

Siehe auch Tabelle 13 und 14 in Anlage B.

### 6.4.1 Wärmeerzeuger

Strom für Wärmepumpe:  
2013/14: 5818 kWh  
2014/15: 5942 kWh

Der Anteil der Wärmepumpe am Hausverbrauch beträgt im ersten Jahr 36 % und im zweiten Jahr 45 %. Geht man von einem Strompreis von 0,22 €/kWh netto aus, so trägt man hier „Heiz- und Lüftungskosten“ in Höhe von rund 1600 €, wenn all dieser Strom aus dem Netz bezogen werden würde.

### 6.4.2 Lüftungsanlage

Da ein Kombigerät aus Lüftung und Wärmepumpe eingebaut ist, kann der Stromverbrauch für die Lüftung nicht separat gemessen werden und ist somit in 6.3.1 enthalten.

## 6.5 Innenraumtemperaturen sowie Raumluftfeuchte in Sommer und Winter

Siehe Anlage C Tabelle 11 und 12.

## 7 Kosten

### 7.1 Baukosten und laufende Kosten

Das Gebäude war von Anfang an als Plusenergiehaus geplant, die Mehrkosten stellen somit nur erfahrungsgemäße Schätzungen dar.

Tabelle 12:

Vergleich der Baukosten nach EnEV 2009 mit Plusenergiestandard

Bauteil / Anlage	EnEV 2009 mit EEWärmeG	Mehr-/Minderkosten inkl. MwSt. Effizienzhaus Plus Standard
Außenwand	-	5000 €
Dach	-	5000 €
Wand gegen Erdreich	-	0 €
Bodenplatte	-	3000 €
Fenster	-	5000 €
Heizungsanlage inkl. Speicher	Gas-Brennwertkessel	0 €
Solarthermie	Vorhanden	-5000 €
Lüftungsanlage	Vorhanden	0 €
Photovoltaik	Keine	48.470 € netto
Batterie	Keine	13.685 €
Beleuchtung	Standard	1500 €
Geräte	Standard	Standard
Mehrinvestitionskosten	-	76.655 €

Um einen Vergleich mit der EnEV 2009 ziehen zu können, wurden hier -5000€ für die Solarthermie angesetzt, da keine Solaranlage eingebaut wurde und dies deshalb eine Einsparung darstellt.

In der folgenden Tabelle 13 wurde mit einer Einspeisevergütung von 28,74 ct/kWh netto gerechnet, da die PV-Anlage am 30.12.2011 in Betrieb ging. Eine jährliche Einspeisung von rund 18.000 kWh bringt den entsprechenden Betrag.

Tabelle 13:

Vergleich der laufenden Kosten nach EnEV-2009-Standard mit Plusenergiestandard

Energie- und Betriebskosten	EnEV 2009 mit EEWärmeG	Effizienzhaus Plus Standard	Tatsächliche Betriebskosten im Projekthaus Unterkirnach
Gas	2900 €	-	-
Strom (0,22€/kWh netto)	242 €	2172 € brutto	Heizung und Warmwasser: 1544 € Haushaltsstrom: 812 €
Wartung Heizung	150 €	150 €	150 €
Netzeinspeisevergütung	Ohne PV	- 5171 €	-5171 €
Laufende Kosten pro Jahr	3292 €	- 2849 €	-2666 €

Der Vergleich der laufenden Kosten ergibt eine Differenz von  $3292 \text{ €} + 2666 \text{ €} = 5958 \text{ €}$ .

## 8 Bewertung

### 8.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes

Von Beginn an war geplant, das Gebäude in einer dem Standard entsprechend sehr guten energetischen Bauweise auszuführen. Hierfür wurde der Passivhausstandard gewählt. Das Gebäude wurde daher sowohl mit dem Passivhausprojektierungspaket PHPP als auch mit einem EnEV-Programm berechnet. Beide Programme gehen mit durchschnittlichen Rauminnentemperaturen von ca. 20 °C aus. Da die tatsächlich im Gebäude herrschenden Temperaturen deutlich höher waren, lag die Prognose für den Energiebedarf unter den tatsächlichen Verbräuchen. Trotz dieser Abweichung von der ursprünglichen Berechnung kann festgestellt werden, dass der Effizienzhaus-Plus-Standard auch in einer Mittelgebirgslage im Schwarzwald wie hier beim Gebäude in Unterkirnach erreicht bzw. sogar übertroffen werden kann. Das ist vor allem auch dann noch möglich, wenn höhere Verbräuche eintreten als ursprünglich durch die Projektierung ermittelt wurden. Die sehr energieeffiziente Bauweise ist dabei jedoch unerlässlich, da bei schlechteren Wärmedämmwerten sofort deutlich höhere Verbräuche auftreten, die dann im Gegenzug nicht mehr mit einer Photovoltaik-Anlage auf dem Dach gedeckt werden können. In dieser Hinsicht kann das Gebäude als sehr gut betrachtet werden, was das insgesamt sehr positive Fazit bekräftigt.

Durch die Messung des Stromverbrauches wurde erkannt, dass die ursprünglich prognostizierte Hausstrommenge von 2500 kWh für den Hausverbrauch deutlich überschritten wurde. Bei diesem Gebäude liegt das auch daran, dass mit Dampfdusche und einem großem Whirlpool zwei sehr große individuelle Verbraucher mitintegriert wurden, die dann bei jeweiligen Betrieb große Strommengen benötigen. Im Monitoring erkennt man das durch den großen Verbrauch im Bereich „Steckdosen“, unter dem diese beiden Geräte erfasst werden. Betrachtet man jedoch die Stromverbräuche für die Kategorien Beleuchtung und Kochen, so lassen sich keine überdurchschnittlichen Werte erkennen. Bei diesem Gebäude mit der großen PV-Anlage sind genug Puffer vorhanden gewesen. Bei anderen Häusern könnten fehlende Flächen unter Umständen zu einem Kompensationsproblem führen. Das heißt, hier würden dann zur Deckung des vom Gebäude verbrauchten Stroms nicht genügend Flächen zur Belegung mit Photovoltaikmodulen zur Verfügung stehen. Wird der Stromverbrauch der Photovoltaikanlage im Allgemeinen betrachtet, ist festzustellen, dass der Gesamtjahresertrag gemäß Kalkulation ziemlich genau erreicht wurde. Der gesamte Ertrag stellt in Bezug auf den Verbrauch des Gebäudes etwa 200 % dar, wovon ca. 20% selbst verbraucht und 80% eingespeist wurden. Dies gibt bezogen auf das ganze Jahr einen Eigenstromanteil von ca. 40%. Dies stellt fürs erste eine zufriedenstellende Quote dar, trotzdem bleiben aber genügend Optimierungsbereiche offen. Dazu sollten beispielsweise Abläufe im internen Betrieb auf die Photovoltaik-Anlage abgestimmt werden (Thema Homemanagement) oder durch Einsatz einer größeren Batterie die Eigenverbrauchsquote deutlich verbessert werden. Wenn man den Einzelverbrauch des Stromes etwas genauer untersucht stellt man fest, dass der Bereich Licht nicht auffällig viel Energie verbraucht, während absolut überdurchschnittliche Verbräuche im Bereich der Steckdosen zu entdecken sind. Dies ist auf die Verbraucher Dampfdusche und Whirlpool zurückzuführen.

Bei den Wärmeverbräuchen Warmwasser und Heizung kann man an den Zahlen erkennen, dass wir uns in einem etwas kälteren Klima befinden. Die Heizzeiten beginnen trotz der sehr energieeffizienten Bauweise schon Ende Oktober und dauern bis ins späte Frühjahr, in der Regel bis April, was für ein Passivhaus eher ungewöhnlich ist. Deshalb lässt sich auch erklären, dass bei diesem Gebäude die Wärmeverbräuche der Heizflächen etwa doppelt so groß sind als die Mengen für das Warmwasser, im Allgemeinen halten sich bei solchen energieeffizienten Bauten die Wärmemengen für Heizung und Warmwasser in etwa die Waage. Jährlich wird also eine doppelte so große Heizenergiemenge benötigt, was natürlich auch mit den durchschnittlichen Raumtemperaturen, die sowohl während der Heizperiode als auch im Sommer deutlich über 23 °C liegen, begründet werden kann. Die erhöhten Wärmemengen beschreiben zudem deutlich, dass der Energieverbrauch in den verschiedenen Sektoren eines Gebäudes sehr stark von den Bewohnern und ihrem Verhalten abhängt und vorher nicht pauschalisiert werden kann.

Zieht man nun ein Gesamtfazit, so kann trotzdem festgestellt werden, dass durch die energieeffiziente Bauweise und den Passivhausstandard ein Gebäude erstellt wurde, das ohne Probleme auch an diesem etwas kälteren Standort im Südschwarzwald als Effizienzhaus-Plus ausgeführt werden kann und dass selbst hohe Temperaturen im Innenbereich die Energiebilanz nicht maßgeblich verändern bzw. so verschlechtern dass der Effizienzhaus-Plus-Standard gefährdet wäre. Das bekanntermaßen sehr angenehme Raumklima im Inneren eines Passivhauses schafft Wohlfühlräume, in denen Sommer wie Winter ansprechende Temperaturen herrschen und die zum Wohnen hervorragende Bedingungen bieten.

## 8.2 Verbesserungspotentiale

Bei sehr vielen Gebäuden innerhalb des Netzwerkes „Effizienzhaus-Plus“ wurde festgestellt, dass eines der größten Probleme die nicht standardisierte Messtechnik und der Mangel an einfachen Messapparaturen und aufeinander abgestimmten Komponenten, die problemlos miteinander kommunizieren können, darstellt. So ist man immer wieder auf die örtliche Installation und den meist ortsansässigen Elektriker angewiesen und erwartet, dass sich dieser in das Thema einarbeitet und die notwendigen Verbindungen herstellt. Wie in vielen anderen Projekten ist auch bei diesem Projekt dadurch ein Problem entstanden, dass es immer wieder schwierig war, Fehler im Anschluss und in der Vernetzung der Zähler und dadurch fehlende oder falsche Messwerte zu korrigieren und die Funktion dauerhaft zu erhalten. Um den Fehlern vorzubeugen wurden zusätzlich manche Werte manuell abgelesen, was aber eigentlich nicht Sinn des ganzen Monitoring-Projekts sein sollte. Das zeigt aber auch, dass es dringend notwendig ist, dass es in Zukunft für Einfamilienhäuser einfache Messkonzepte, die die wichtigsten Werte für die Bewohner ablesbar machen, gibt. Zu diesem Zweck wurde der bisher nur in der Industrie verwendete Controller DS500 eingesetzt. Auch in Zukunft soll er in solchen Monitoring-Projekten zum Einsatz kommen. Seine benutzerfreundliche Bedienoberfläche macht es den Bewohnern einfach, schnell die wichtigsten Werte auf dem integrierten Bildschirm ablesen und Trends schon in der Entstehung erkennen zu können. Um die Kontrolle über das eigene Haus noch weiter vergrößern zu können, wäre es sinnvoll den DS500 mit einem Web-Interface auszustatten. Dadurch könnten die gemessenen Daten auch auf Smartphone bzw. Tablet weitergeleitet werden und dort könnte direkt eine schnelle Auswertung erfolgen. Ein Zugriff über mobile Endgeräte spiegelt den heutigen Stand der Technik wider und würde den Energieverbrauch sicherlich optimieren, da eventuelle „Stromfresser“ schneller erkannt werden können. Es wäre außerdem ideal, wenn herstellerseitig die entsprechenden Zähler bereits vorgegeben oder mitgeliefert werden, da es vor allem zu Beginn trotz einer abgestimmten BUS-Steuerung schwierig war, dass alle Komponenten richtig miteinander kommunizierten. Bei einem zukünftigen Projekt sollte die gesamte Messapparatur mit dem Controller bereits vorprogrammiert geliefert werden und die Montage nur ein elektrisches Verbinden der einzelnen Komponenten darstellen. Aus der Sicht der Planer besteht für Mehrfamilienhäuser großes Potenzial im Monitoring-Bereich, allerdings müssten sich dazu die Kosten für das ganze Projekt noch deutlich verringern. Um das zu erreichen, sollten vor allem schon vorhandene Zähler von Seiten des Stromlieferanten und der örtlichen Stadtwerke oder im Haus verbaute Geräte in das Konzept integriert werden können. Fast alle diese Komponenten wie Wärmepumpe, Batterie oder Hauszähler besitzen bereits nutzbare Ausgänge, die aber noch nicht mit einer Schnittstelle gesammelt verbunden werden können. In Zukunft muss also vor allem daran gearbeitet werden, die nötigen Daten kostengünstig und ohne viel Aufwand abgreifen zu können um dadurch ein wirtschaftliches Monitoring-Konzept möglich zu machen. Während des ganzen Forschungsprojekts wurde von den einzelnen Mitgliedern des Netzwerkes „Effizienzhaus-Plus“ festgestellt, dass der Einsatz eines Monitorings sinnvoll ist. Verbräuche können dadurch geregelt und optimiert und schließlich Energie eingespart werden.

Ein weiterer Punkt in diesem Gebäude ist die Größe der Batterie. Grundlage der Überlegung bei der Anschaffung, wie groß eine Batterie sein sollte, ist der Hausverbrauch. Nachdem im Laufe der Messperioden festgestellt wurde, dass die Hausverbräuche deutlich höher sind als ursprünglich erwartet, wäre durch eine größere Batterieanlage ein noch höherer Eigenverbrauch erreichbar gewesen. Die Kapazität von weiteren 5 kWh, also insgesamt 10 kWh, wäre durchaus sinnvoll. Dadurch

würde das Stromnetz deutlich mehr entlastet und der Eigenverbrauch der PV-Anlage, die im Jahr rund 23000 kWh Strom produziert, könnte massiv gesteigert werden.

### 8.3 Wirtschaftlichkeit

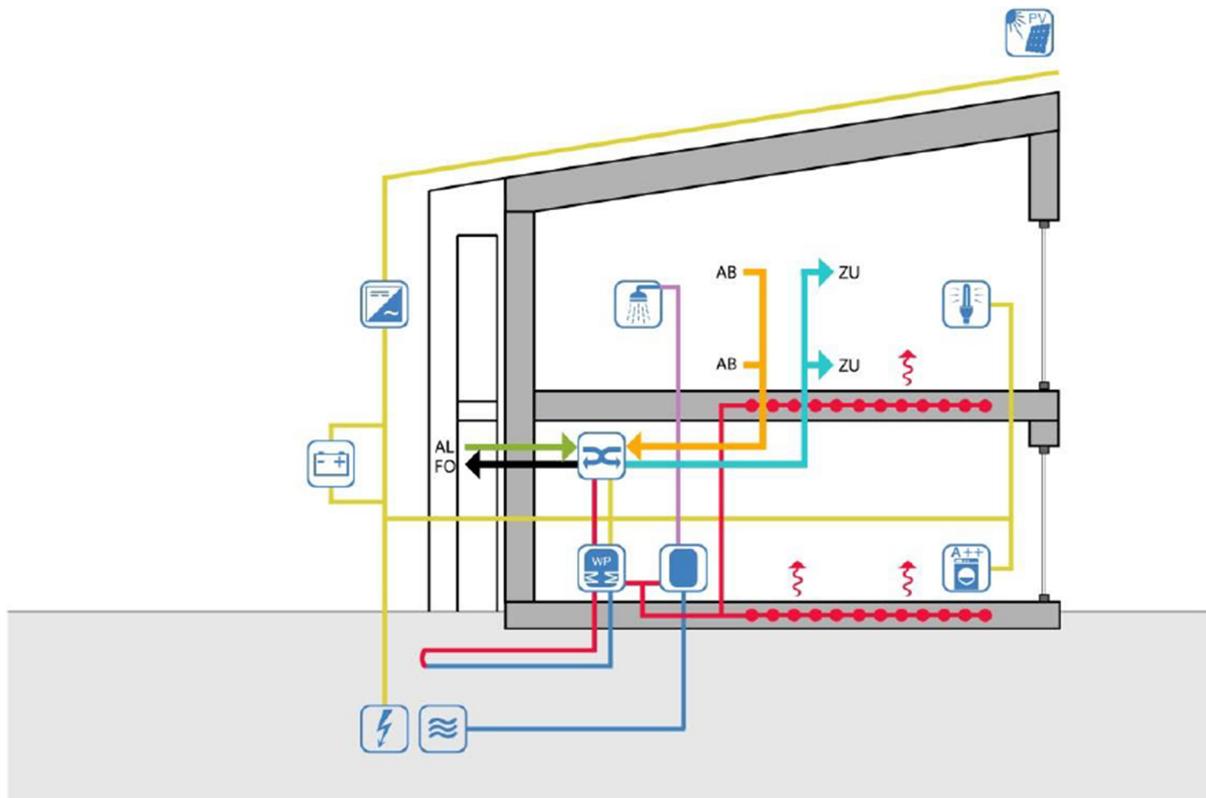
Der Stromverbrauch war in den zwei Jahren des Monitorings sehr unterschiedlich. Wurde anfangs doch sehr viel Strom verbraucht (vergleiche dazu auch das erste Diagramm im Abschnitt 6.1), so war im zweiten Jahr des Monitorings der Verbrauch in fast jedem Monat kleiner als im Jahr zuvor. Im Gegensatz dazu wurde aber im zweiten Jahr noch mehr Strom durch die PV-Anlage produziert und trotzdem noch der Eigenverbrauch gesteigert. In wirtschaftlicher Betrachtungsweise lässt sich somit sagen, dass das Gebäude eine sehr gute Energiebilanz aufweist und deutlich mehr Strom produziert als es insgesamt benötigt.

Durch den Effizienzhaus Plus Standard ergeben sich Mehrkosten der Investition gegenüber einer Ausführung nach Mindeststandard der EnEV 2009 von ca. 76.655 €. Hierbei ist zu beachten, dass die PV-Anlage größer, als für den Effizienzhaus Plus Standard notwendig ausgeführt wurde. Demgegenüber stehen jährliche Minderkosten in Höhe von 5958 €. Eine statische Amortisationsrechnung, also die Rechnung unter Berücksichtigung gleichbleibender Randbedingungen, ergibt damit eine Amortisationszeit von ungefähr 13 Jahren. Bei einem Zins von 3% auf die Investition verlängert sich diese auf ca. 17 Jahren. Eine Vergrößerung des Eigenstromanteils würde diese Zahlen noch deutlich verbessern und die Amortisation verkürzen.

Der jährliche Stromüberschuss von rund 11.000 kWh entspricht rein rechnerisch einer Fahrleistung eines mittleren Elektrofahrzeugs (17kWh/100km) von ca. 64.700 km. Eine Familie mit zwei durchschnittlichen E-Fahrzeugen könnte sich dadurch ein ganzes Jahr mit dem selbst produzierten Strom fortbewegen.

## 9 Anhang

Abbildung 6:  
Energiekonzept des Gebäudes



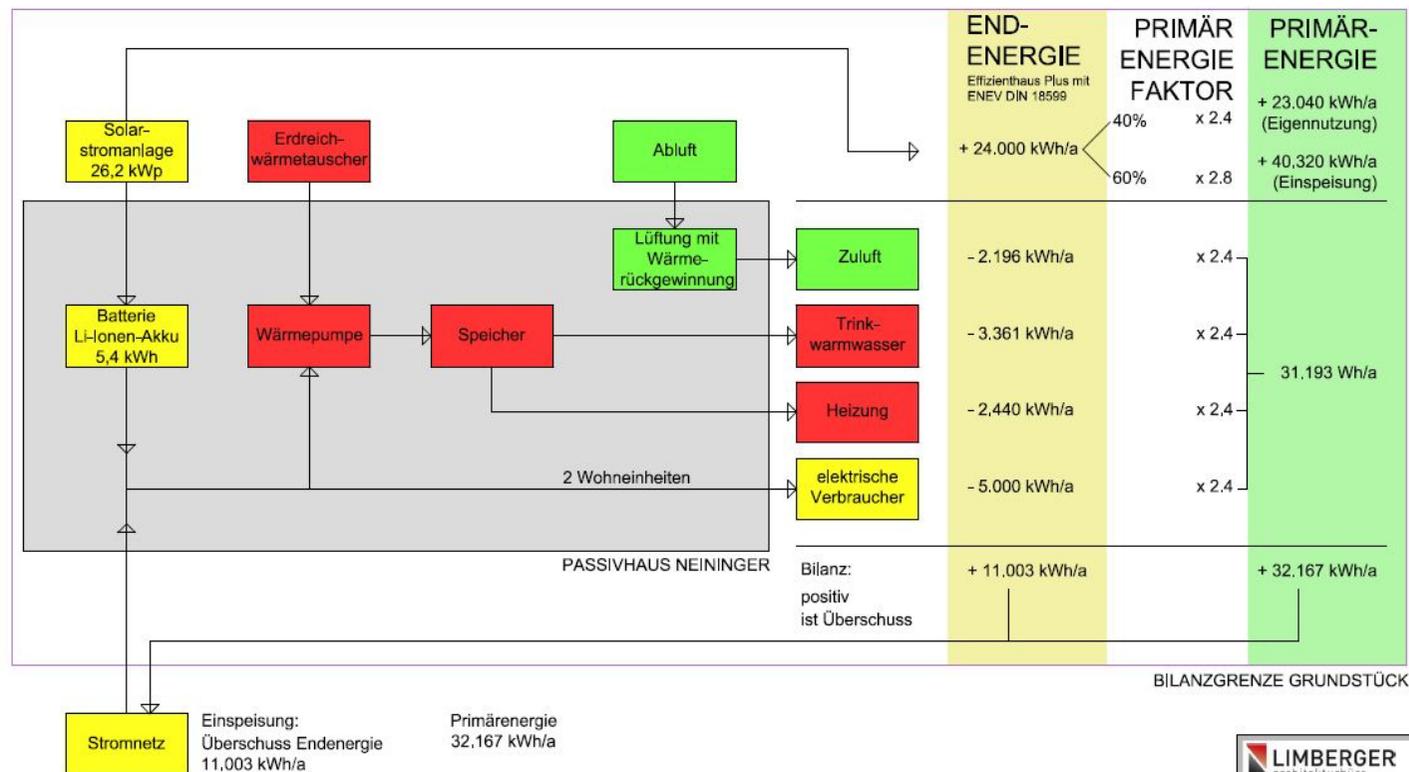
- |   |  |  |
|---|--|--|
|  Batterie                        |  Photovoltaikanlage |  Warmwasser     |
|  Elektrogeräte                   |  Speicher           |  Wärmepumpe     |
|  Leuchten                        |  Stromnetz          |  Wechselrichter |
|  Lüftung Wärme-<br>rückgewinnung |  Trinkwasser        |  |

Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Wärmetechnik, veröffentlicht auf [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de).

Abbildung 7: Energiebilanz

Quelle: Architekturbüro Limberger, Donaueschingen

## ENERGIEBILANZ PLUSENERGIEHAUS NEININGER



**LIMBERGER**  
architekturbüro  
Wiesengrund 2  
D-78166 Donaueschingen  
Fon 0771-27 60  
Fax 0771-148 20

**Plusenergiehaus Neiningen**  
Unterkirnach  
Energiebilanz

Tabelle 13:  
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von Nov 2013 bis Oktober 2014

Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch						Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	PV-Eigenverbrauch	Heizung + TWW + Lüftung + Kühlung	Steckdosen	Herd	Beleuchtung	Spülen, Waschen, Trocknen	sonstiges	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Nov 13	1251	327	108	219	806	520	8	106	30	0	1470
Dez 13	2314	306	44	262	1152	1025	16	147	235	0	2576
Jan 14	1261	359	141	218	569	735	12	98	65	0	1479
Feb 14	1386	788	472	316	845	506	19	92	240	0	1702
Mär 14	635	2279	1774	505	353	415	11	71	290	0	1140
Apr 14	442	2570	2057	513	352	279	7	92	225	0	955
Mai 14	83	4385	3630	755	392	165	7	107	167	0	838
Juni 14	511	2977	2457	520	196	625	22	94	94	0	1031
Juli 14	569	2483	1982	501	464	393	32	109	72	0	1070
Aug 14	405	3083	2240	843	274	678	21	117	158	0	1248
Sep 14	678	2119	1660	459	205	189	34	149	101	459	1137
Okt 14	760	1749	1304	445	210	268	33	158	91	445	1205
Summe	10295	23425	17869	5556	5818	5798	222	1340	1769	904	15851

Hier ist zu beachten, dass die Zähler „Spülen, Waschen, Trocknen“ und „sonstiges“ erst gegen Ende des ersten Monitoringjahres richtig eingestellt wurden. Vorher wurde der Bereich „Sonstiges“ unter „Spülen, Waschen, Trocknen“ erfasst.

Tabelle 14:  
Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von Nov 2014 bis Oktober 2015

Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch						Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	PV-Eigenverbrauch	Heizung + TWW + Lüftung + Kühlung	Steckdosen	Herd	Beleuchtung	Spülen, Waschen, Trocknen	sonstiges	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Nov 14	1190	599	201	398	600	264	40	188	98	398	1588
Dez 14	1137	550	194	356	829	288	28	178	86	84	1493
Jan 15	1486	550	46	504	1158	410	50	221	131	20	1990
Feb 15	1084	175	0	175	621	383	32	126	95	2	1259
Mär 15	1265	826	705	121	675	335	39	165	108	64	1386
Apr 15	90	3363	2526	837	332	211	30	145	92	117	927
Mai 15	325	3558	3156	402	265	203	23	129	69	38	727
Juni 15	220	3345	2719	626	227	192	32	142	109	144	846
Juli 15	190	3960	3350	610	195	166	23	129	94	193	800
Aug 15	157	3599	2974	625	213	168	37	108	103	153	782
Sep 15	372	2341	1628	713	395	215	40	119	123	193	1085
Okt 15	831	1137	517	620	432	447	56	152	154	210	1451
Summe	8347	24003	18016	5987	5942	3282	430	1802	1262	1616	14334

Tabelle 15:  
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen und der Feuchtigkeit 2013/2014

Monat	Schlafzimmer	Kind 1	Kind 2	Bad OG	Wohnzimmer	Feuchte im Wohnzim- mer
	°C	°C	°C	°C	°C	%
Nov 13	22,0	22,7	22,5	24,0	24,5	29,2
Dez 13	22,5	23,2	23,2	24,9	24,4	25,4
Jan 14	22,8	23,3	23,5	25,1	24,5	26,5
Feb 14	23,1	23,6	23,8	24,7	24,7	25,0
Mär 14	23,7	24,1	24,4	24,6	24,9	24,8
Apr 14	24,1	24,2	24,4	24,1	25,0	27,7
Mai 14	22,5	22,6	22,9	22,7	23,4	33,8
Juni 14	22,8	22,5	22,6	22,7	23,3	39,2
Juli 14	23,8	23,7	24,0	24,0	24,4	45,4
Aug 14	24,7	24,8	25,2	24,4	24,4	46,4
Sep 14	24,0	23,5	23,9	23,7	24,3	43,9
Okt 14	24,1	24,1	24,4	24,4	24,8	40,0
Mittelwert Heizperiode*	23,2	23,6	23,7	24,5	24,7	28,4

\*Heizperiode November 2013 bis April 2014 und Oktober 2014

Tabelle 16:  
Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen und der Feuchtigkeit 2014/2015

Monat	Schlafzimmer	Kind 1	Kind 2	Bad OG	Wohnzimmer	Feuchte im Wohnzimmer
	°C	°C	°C	°C	°C	%
Nov 14	23,2	23,7	24,0	23,7	24,5	34,2
Dez 14	22,4	23,2	23,6	23,7	24,5	26,9
Jan 15	22,5	23,4	23,8	23,9	24,6	26,7
Feb 15	23,1	24,0	24,4	24,4	24,9	23,3
Mär 15	23,5	24,3	24,8	24,3	25,0	25,6
Apr 15	24,0	24,0	24,3	24,2	24,7	26,3
Mai 15	24,2	24,0	24,3	24,5	24,8	32,3
Juni 15	23,6	23,5	23,8	23,8	24,2	41,7
Juli 15	24,2	24,1	24,5	24,1	24,8	43,5
Aug 15	24,0	23,8	24,2	23,8	24,8	44,0
Sep 15	24,0	24,0	24,4	23,9	25,3	36,3
Okt 15	23,6	23,7	24,0	24,7	24,5	35,8
Mittelwert Heizperiode*	23,2	23,7	24,1	24,1	24,7	28,4

\*Heizperiode November 2014 bis April 2015 und Oktober 2015

Abbildung 8:

Beispielhaftes Diagramm der Temperaturmessung erstellt mit der Software CS Soft Basic

Quelle: Architekturbüro Limberger, Donaueschingen

## Diagramm

08.12.2014 00:00 - 14.12.2014 23:59

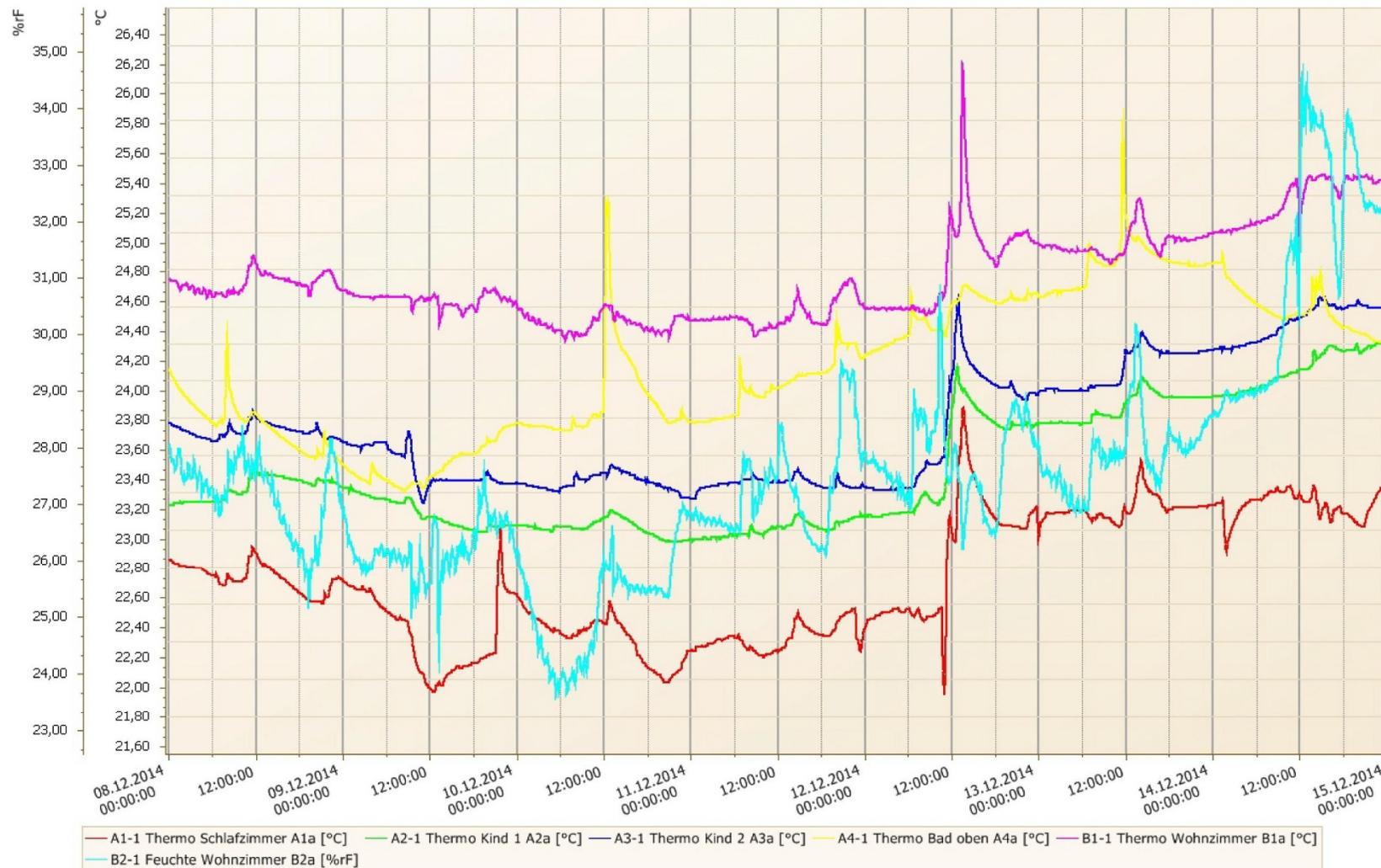
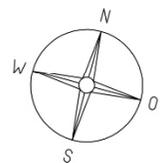


Abbildung 9:  
Grundriss Erdgeschoss



**LIMBERGER**  
architekturbüro  
Wiesengrund 2      Fon 0771-27 60  
D-78166 Donaueschingen      Fax 0771-148 20

**Marius Neining**  
Unterkirnach  
Grundriss EG

Abbildung 10:  
Grundriss Dachgeschoss

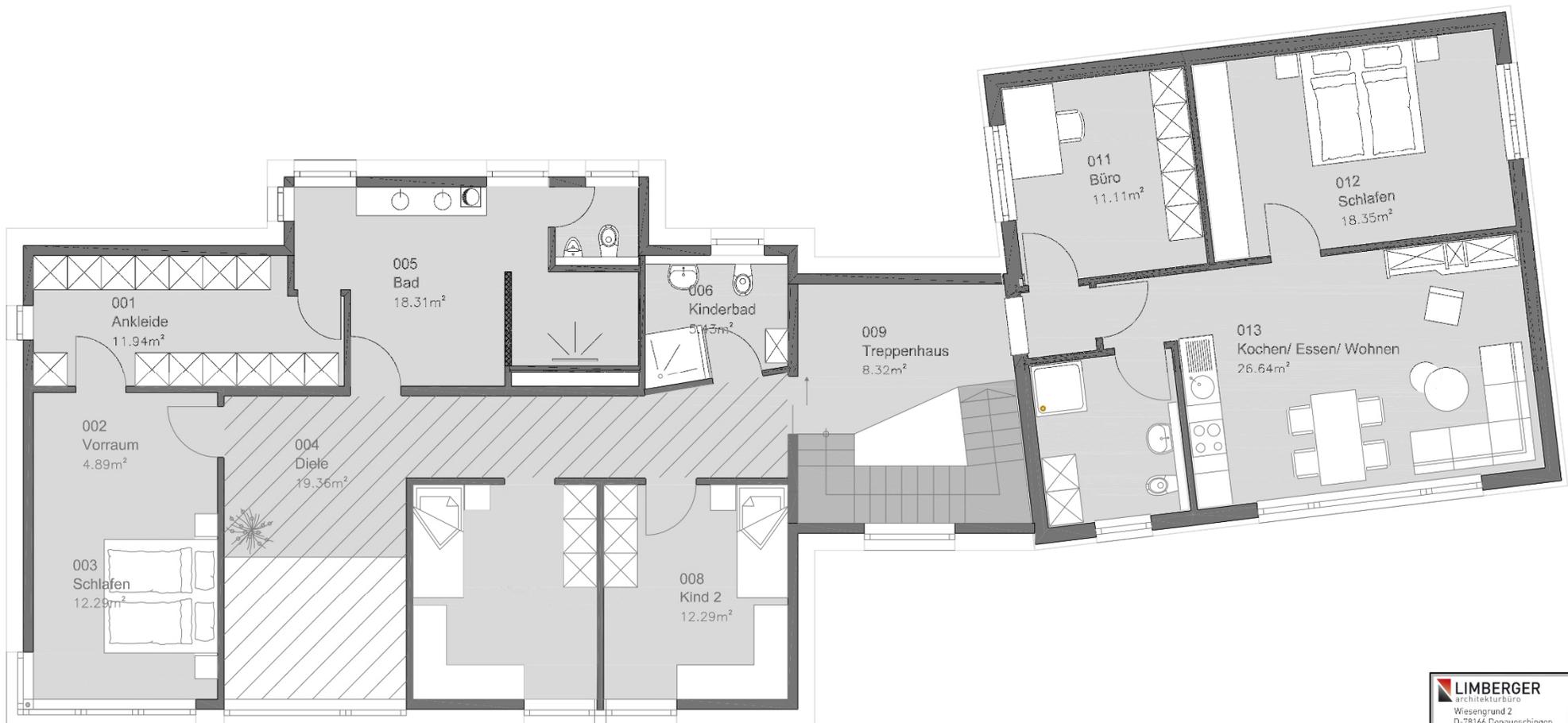


Abbildung 11:  
Ansicht Süd-West

Quelle: Architekturbüro Limberger



Abbildung 12:  
Ansicht Nord-West

Quelle: Architekturbüro Limberger



Abbildung 13:  
Großzügiger Koch-, Ess- und Wohnbereich

Quelle: Architekturbüro Limberger



Abbildung 14:  
Küche mit moderner Dunstabzugshaube

Quelle: Architekturbüro Limberger



Abbildung 15:  
Elternbad im Obergeschoss mit großem Whirlpool und Dampfbaddusche

Quelle: Architekturbüro Limberger



Abbildung 16:  
Flur im Obergeschoss

Quelle:  
Architekturbüro Limberger



Abbildung 17:  
Kinderzimmer

Quelle:  
Architekturbüro Limberger



Abbildung 18:  
Galerie im Obergeschoss

Quelle: Architekturbüro Limberger



Abbildung 19:  
Treppenhaus im Erdgeschoss

Quelle:  
Architekturbüro Limberger

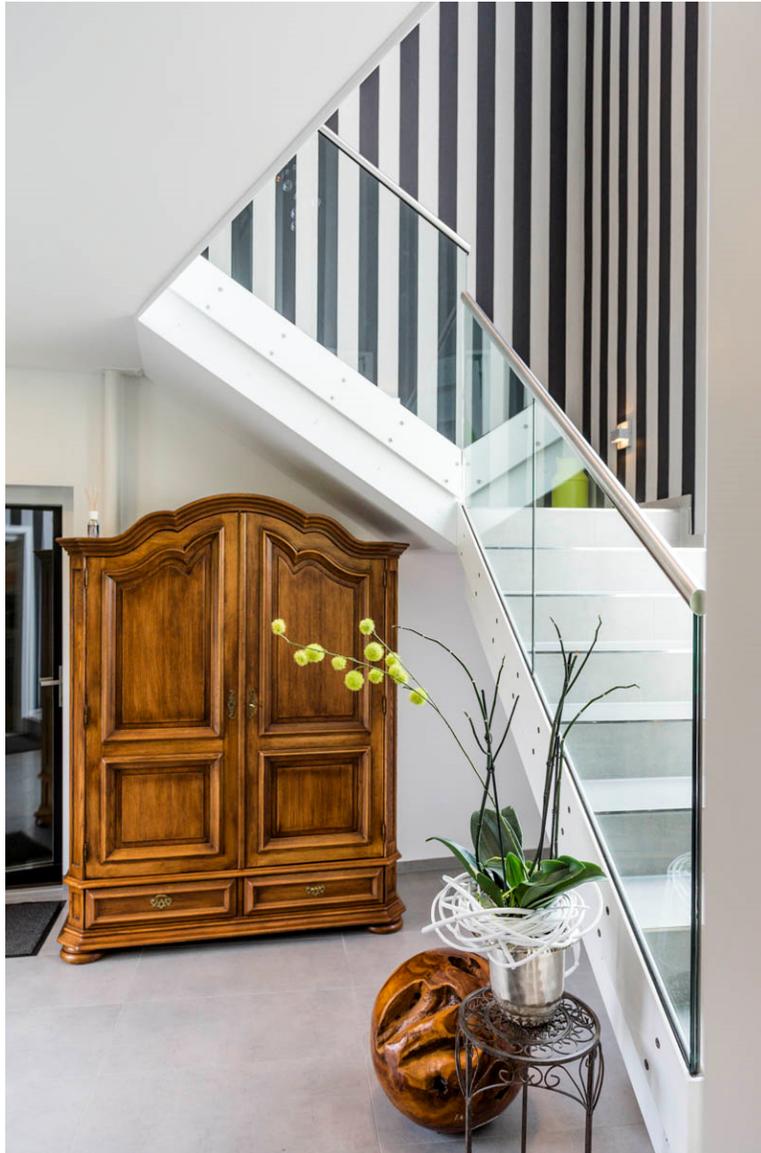


Abbildung 20:  
Blick vom Treppenhaus ins OG

Quelle:  
Architekturbüro Limberger

