Das Plus-Energie-Haus
-Vision oder Realität-

Schon immer hat das Thema „Energie“ die Menschheit beschäftigt. In der jüngeren Vergangenheit haben verschiedene Ereignisse dazu geführt, dass diese Thematik immer weiter in den Focus des öffentlichen Interesses gerückt wurde. So waren die Ölkrise Ende der 70er Jahre ebenso wie die immer deutlicher werdenden Zeichen der weltweiten Klimaveränderung Anlass intensiver über Maßnahmen zur Energieeinsparung und Nutzung regenerativer Energien nachzudenken. Die jüngste Atomkatastrophe in Fukushima hat die Bürger in Deutschland zur endgültigen Abkehr von der atomaren Energiegewinnung bewegt, so dass die Bundesregierung im Sommer 2011 die vollständige Abschaltung aller Atomkraftwerke bis 2022 beschlossen hat.
Da der wegfallende Atomstrom kompensiert werden muss, haben regenerative Energiequellen massiv an Bedeutung gewonnen. Gleichzeitig müssen die Bestrebungen zur Einsparung von Energie intensiviert werden um die Energiewende zügig und möglichst reibungslos zu vollziehen.

Die Beheizung von Gebäuden beansprucht in Deutschland ca. 35 % des gesamten Primär-Energieverbrauchs*. Somit besteht hier ein riesiges Einsparpotenzial.

Die heutige Technik erlaubt es Häuser zu konzipieren, die on der Lage sind nicht nur Energie einsparen, sondern sogar Energie zu produzieren. Liegt die produzierte Energie über dem Energieverbrauch spricht man vom sogenannten „Plus-Energie-Haus“.
Dieser Artikel soll Aufschluss darüber geben, ob das „Plus-Energie-Haus“ noch als Vision bezeichnet werden muss, oder ob mit den verfügbaren Technologien auch unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte eine Umsetzung für den „normalen“ Bauherrn möglich ist.

Mit dem Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung 1977 wurden erstmals gesetzliche Anforderungen an die Wärmedämmung von Gebäuden formuliert. Wohngebäude, die vor 1977 errichtet wurden, hatten einen Heizwärmebedarf von ca. 200-300 kWh/m² pro Jahr. Der Energieverbrauch eines Einfamilien-Wohnhauses mit 150 m² Wohnfläche lag somit bei ca. 37.000 kWh (dies entspricht ca. 3.700 Liter Heizöl).
Die heute geltende Energieeinsparverordnung (EnEV) führt dazu, dass Neubauten mit Niedrigenergiestandard errichtet werden. Der Heizwärmebedarf liegt dann oft bei nur noch bei 30-50 kWh/m² p.a., was zu einem Jahres-Heizenergiebedarf von nur noch ca. 6.000 kWh (dies entspricht ca. 600 Liter Öl) führt.
Der geringe Wärmebedarf moderner Gebäude bewirkt, dass eine regenerative Energieversorgung z.B. mit Wärmepumpen auch unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Faktoren in Betracht gezogen werden kann.

Dies soll exemplarisch an der Energiebilanz des im Folgenden beschriebenen bereits bestehenden Wohnhauses beschrieben werden.

<u>Gebäudedaten:</u>

Baujahr	:	2009	
Wohnfläche	:	150 m²	
Konstruktion	:	Holzständerbau, Systemhaus, Achsmaß 2,30 m	
Kubatur	:	1-geschossige Bauweise mit ausgebautem Dachgeschoss, Satteldach, 30 °Dachneigung	
U-Werte	:	Außenwände	0,26 W/m² K
		Fenster (Dreifachverglasung)	0,60 W/m² K
		Dach	0,13 W/m² K
Heizung	:	Luft-Wasser-Wärmepumpe Viessmann Vitocal 300 A (3-9 kW) mit 300 l Brauchwarmwasserspeicher	

Um eine hohe Wohnqualität zu erreichen wurden großzügige raumhohe Verglasungen vorgesehen, was zu hellen, lichtdurchfluteten Räumen führt. Der Fensterflächenanteil im Verhältnis zur Fassade liegt daher bei ca. 50 %.
Weite Dachüberstände gewährleisten einen guten sommerlichen Sonnenschutz, so dass bei hochstehender Sommersonne die Fassade verschattet, und eine Überhitzung der Wohnräume vermieden wird. In den Wintermonaten kann die Wärmestrahlung der tiefstehenden Wintersonne weit in das Gebäude vordringen, was passive Solargewinne begünstigt und selbst bei Außentemperaturen unter 0 Grad Celsius zu einer positiven Energiebilanz im Bereich der Fenster führen kann. Die weiten Dachüberstände schützen die Fassade darüber hinaus vor Witterungseinflüssen.

Eine gute Wärmedämmung bewirkt, dass nur noch wenig Wärme durch die Bauteile nach außen geleitet wird (Transmission). Umso mehr Bedeutung kommt den sogenannten Lüftungswärmeverlusten zu, die durch kontrollierte oder unkontrollierte Lüftung entstehen. Es ist einleuchtend, dass ein(e) hochwärmedämmende(r) Verglasung/Wandaufbau seinen Sinn verfehlt, wenn z.B. durch Fugen am Fensterrahmen oder sonstige, z.B. durch mangelhafte Bauausführung entstehende, Undichtigkeiten die Wärme nach außen entweicht.
Bei Gebäuden mit heutigem Dämmstandard ist daher die Durchführung eines Drucktests (Blower-Door-Test) empfehlenswert, da hierdurch frühzeitig, noch während der Bauphase evtl. Undichtigkeiten erkannt und meist mit wenig Aufwand behoben werden können.

Der Blower-Door-Test für das beschriebene Wohnhaus ergab einen Wert von na 50 = 0,8 (1/h). Ein guter Wert, der jedoch nach dem heutigen Stand der Technik, bei konsequenter Planung und qualitativ guter Bauausführung ohne besonderen Aufwand erreicht werden kann.

Neben der Gebäudedämmung kommt der Wahl des „richtigen“ Heizungssystems große Bedeutung zu. Im vorliegenden Fall wurde eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einer Leistung von 3-9 KW eingesetzt. Der Wirkungsgrad ist zwar gegenüber einer Erd-Wärmepumpe (Geothermie) etwas geringer, dafür entfallen allerdings die Kosten für die in der Regel ca. 70 m tiefe Erdbohrung, die mit ca. 10.000 Euro zu veranschlagen sind. Die Jahresarbeitszahl (SPF-Wert = seasonal performance factor) der verwendeten Wärmepumpe liegt bei 3,9. Der Wert zeigt das Verhältnis der von der Wärmepumpe abgegebenen Jahresnutzwärme zur gesamten vom Verdichter aufgenommenen elektrischen Jahresarbeit. Aufgrund der technischen Weiterentwicklung haben heutige Wärmepumpen bereits Jahresarbeitszahlen von über 4,5.

Vorne Warmwasserspeicher, hinten Wärmepumpe

Die Investitionskosten für eine Wärmepumpe in der genannten Größenordnung liegen bei ca. 16.000 Euro. Dies ist erheblich mehr, als z.B. ein herkömmlicher Öl- oder Gasheizkessel kosten würde.
Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Kosten für den Bau eines Abgaskamines ebenso entfallen wie die Aufwendungen für einen Öltank bzw. einen Gashaus-anschluss. Eingespart werden auch die Kosten für die jährlichen Immissionsschutzmessungen des Schornsteinfegers.
Da eine Wärmepumpe nahezu wartungsfrei ist, entfallen auch die bei Öl- oder Gasheizungen üblichen regelmäßigen Wartungskosten.

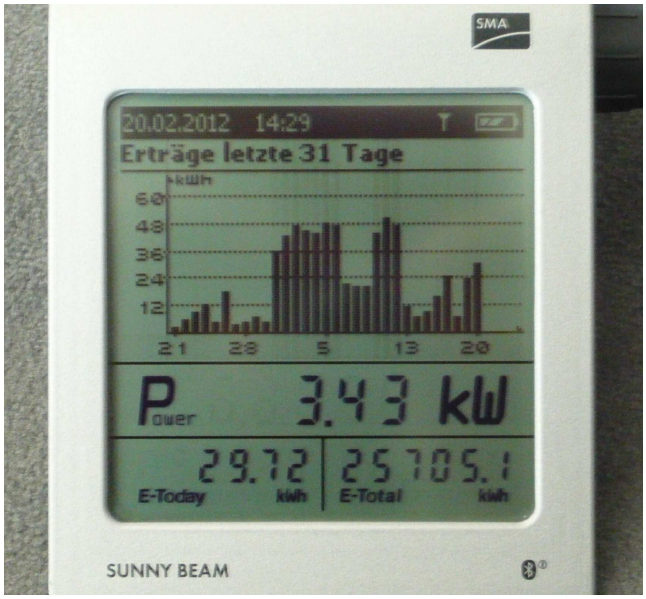
Für den Betrieb der Wärmepumpe sind Stromkosten zu veranschlagen. Die Netzbetreiber bieten für den Wärmepumpenbetrieb einen speziellen Tarif an der ca. 25 % günstiger als der übliche Stromtarif ist (derzeit ca. 0,18 Euro/kWh). Die Netzbetreiber behalten sich bei diesem Tarif allerdings vor, innerhalb von 24 Stunden die Stromzufuhr bis zu dreimal für jeweils max. 2 Stunden zu unterbrechen. Zwischen den Unterbrechungen muss der Betrieb jedoch mindestens 2 Stunden gewährleistet sein. Beim heutigem Dämmstandard und dem Einsatz eines trägen Niedertemperatur-Heizungssystems (z.B. Fußbodenheizung) wird selbst bei niedrigsten Außentemperaturen (Winter 2009/2010 langanhaltender Frost bis – 17 ° Celsius) die Abschaltung nicht wahrgenommen.
Der Energieverbrauch der Wärmepumpe für Heizung und Warmwasserbereitung lag im Jahr 2010 bei 3.715 kWh, im Jahr 2011 bei 3.116 kWh. Geht man davon aus, dass etwa 20% dieser Energie zur Warmwasserbereitung verwendet wurde, liegt der tatsächliche jährliche Heizwärmeverbrauch bei 19,8 kWh/m² bzw. 16,6 kWh/m² Wohnfläche.
Zum Gesamtenergiebedarf des Wohnhauses kommen noch die Verbräuche für die sonstigen elektrischen Verbrauchsgeräte wie z.B. Kühlschrank, Beleuchtung, Waschmaschine, E-Herd etc. (Allgemeinstrom). Diese wurden mit 4.878 kWh bzw. 4.611 kWh p.a. registriert.
Neben der Verwendung energiesparender Haushaltgeräte wurden inzwischen die Beleuchtungssysteme durch Einsatz der LED-Technologie optimiert.

Um ein Plus-Energie-Haus zu realisieren ist es erforderlich, dass der Gesamtenergieverbrauch bilanziell unter der erzeugten Energiemenge liegt. Dies bedingt den Einbau eines regenerativen Energieerzeugers.
Das tägliche Energiepotenzial der Sonne liefert uns etwa den achtzigfachen Energiebedarf Deutschlands. Diese Energiequelle ist unerschöpflich, kostenlos und umweltfreundlich. Fossile Brennstoffe wie Kohle, Erdgas und Erdöl sind dagegen nur begrenzt vorhanden.

Im vorliegenden Fall kam zur Stromerzeugung eine Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 10,58 kWp zum Einsatz. Diese ca. 75 m² große PV-Anlage wurde vollflächig auf der nach Süden ausgerichteten Dachhälfte des Satteldaches montiert.
Um die PV-Anlage in das architektonische Konzept des Gebäudes zu integrieren kamen monokristalline Module zum Einsatz. Anders als polykristalline Module, deren Oberfläche durch einen bläulichen Schimmer gekennzeichnet sind, haben die verwendeten Panels eine schwarze Oberfläche, so dass eine ästhetische Einfügung der PV-Anlage in die anthrazitfarbene Tegalitdeckung gewährleistet ist. Passend zum schwarzen Alurahmen der Module wurden auch die Befestigungsklemmen schwarz eloxiert.

Um eine möglichst optimale Effizienz einer PV-Anlage zu gewährleisten, ist neben der Südausrichtung, die Dachneigung zu beachten.
Weiterhin sollte darauf geachtet werden, dass die PV-Module dauerhaft weitestgehend verschattungsfrei bleiben.

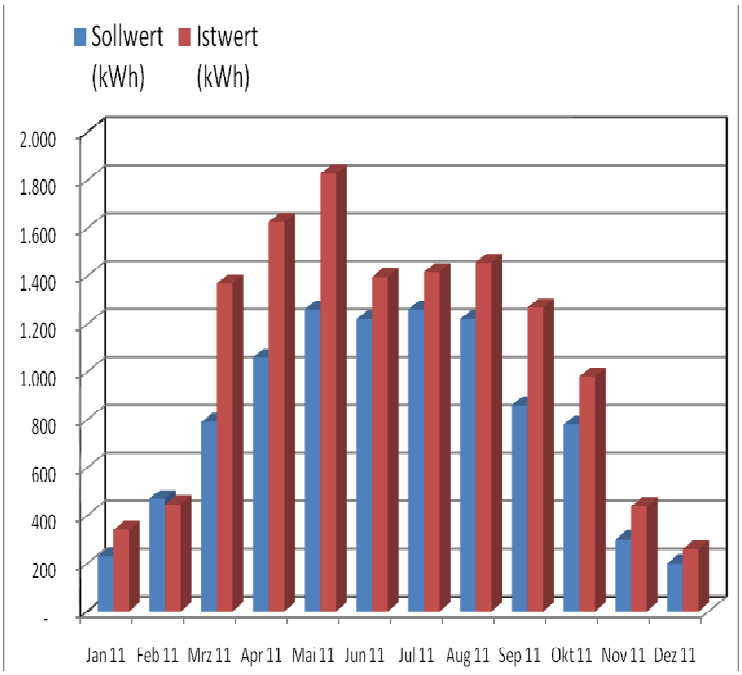
Der ordnungsgemäße Betrieb der PV-Anlage wird durch ein mittels Bluetooth drahtlos mit den Wechselrichtern verbundenes Anzeigegerät überwacht. Neben der aktuellen Leistung werden u.a. die Tages- Monats und Jahreserträge in Form von Graphiken visualisiert. Die Daten können auf einen PC übertragen und als Exceldatei weiter verarbeitet werden.



Die Statik der Dachkonstruktion sollte die Mehrbelastung der PV-Anlage mit ca. 16-18 kg/m² berücksichtigen.
Baurechtlich sind gem. der geltenden Hessischen Bauordnung (HBO) PV-Anlagen auf oder in Dachflächen sowie auf Flachdächern baugenehmigungsfrei soweit satzungsrechtliche Regelungen der Gemeinden (z.B. Bebauungspläne, Gestaltungssatzungen) oder denkmalschutzrechtliche Anforderungen nicht entgegenstehen. Im Zweifel sind Informationen beim zuständigen Kreisbauamt oder dem Stadtbauamt erhältlich.
Qualifizierte Unternehmen aus der PV-Branche können für den Einzelfall die Voraussetzungen zur Montage einer PV-Anlage prüfen und erstellen i.d.R. ein kostenloses und unverbindliches Angebot.

Aus der Tabelle und der zugehörigen Grafik sind in der Spalte „Istwert“ die 2011 generierten monatlichen Erträge dargestellt. Die in der Spalte „Sollwert“ aufgeführten Werte wurden auf der Grundlage eines prognostizierten Ertrages von 912 kWh/KWp berechnet.

Monat	Sollwert (kWh)	Istwert (kWh)	Differenz (kWh)
Januar	30	40	110
Februar	470	446	- 24
März	790	1.369	579
April	1.060	1.626	566
Mai	1.260	1.827	567
Juni	1.220	1.397	177
Juli	1.260	1.417	157
August	1.220	1.456	236
September	860	1.268	408
Oktober	780	980	200
November	300	438	138
Dezember	200	260	60
Gesamt	9.650	12.824	3.174

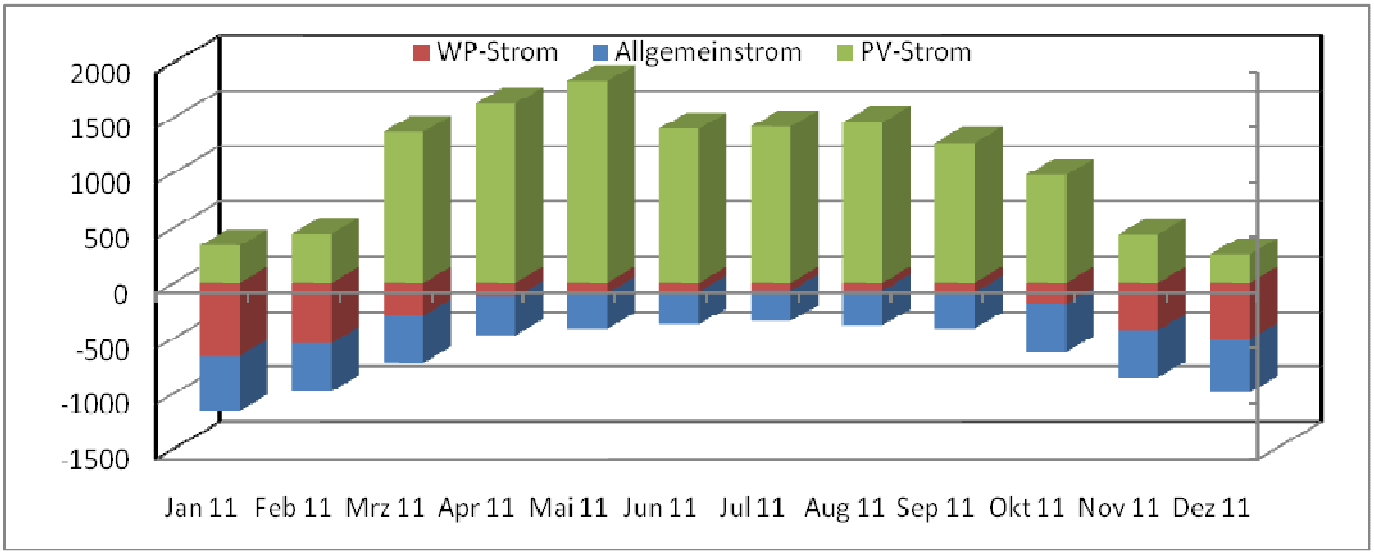


Deutlich zu erkennen ist die jahreszeitliche Verteilung der Erträge: Erwartungsgemäß sind die Sommererträge deutlich größer als im Winter.

Mit tatsächlich erzeugten 12.824 kWh wurde die Prognose um 3.174 kWh recht deutlich übertroffen. Setzt man den Jahresertrag ins Verhältnis zur Leistung der PV-Anlage (10,58 kWp) erhält man den spezifischen Ertrag mit 1.212 kWh/kWp. Auch dieser Wert liegt deutlich über dem mit 912 kWh/kWp prognostizierten Ertrag.
Aus der Grafik ist ersichtlich, dass bis auf den Februar die Sollwerte überschritten wurden. Besonders deutlich in den sonnenreichen Monaten März, April und Mai. Ebenfalls erkennbar ist, dass die Jahresbilanz maßgeblich durch die Erträge im Zeitraum zwischen März und Oktober beeinflusst wird. Allgemein ist festzustellen, dass in diesem Zeitraum über 80 % der Jahreserträge generiert werden.
Die Erträge können je nach Anzahl der Sonnenstunden p.a. schwanken.

Zur Ermittlung der Bilanz eines Plus-Energie-Hauses sind den Erträgen die Verbräuche gegenüberzustellen. Aus der nachfolgenden Tabelle ist ersichtlich, dass der Allgemeinstromverbrauch in den Wintermonaten höher ist als in den Sommermonaten. Dies ist v.a. dadurch zu erklären, dass die Tage im Winter kürzer sind, so dass mehr Energie für die elektrische Beleuchtung erforderlich ist. Noch deutlicher sind die jahreszeitbedingten unterschiedlichen Stromverbräuche für den Wärmepumpenbetrieb zu erkennen, die im Heizwärmebedarf während der Wintermonate erklärbar sind.
Diametral gegenüber stehen die Solarstromerträge, die naturgemäß in den Sommermonaten am höchsten sind. Die divergierenden Erträge und Verbräuche sind auch in der Grafik zu erkennen.

Monat	Allgemeinstrom Verbrauch	WP-Strom Verbrauch	Gesamt Verbrauch	PV-Strom Einspeisung	Bilanz
Januar	-500	-655	-1155	340	-815
Februar	-438	-540	-978	446	-532
März	-428	-291	-719	1369	650
April	-347	-127	-474	1626	1152
Mai	-327	-88	-415	1827	1412
Juni	-299	-75	-374	1397	1023
Juli	-278	-65	-343	1417	1074
August	-317	-66	-383	1456	1073
September	-331	-83	-414	1268	854
Oktober	-434	-192	-626	980	354
November	-430	-427	-857	439	-418
Dezember	-482	-507	-989	259	-730
Gesamt	**-4.611**	**-3.116**	**-7.727**	**12.824**	**5.097**



Eine positive Jahresbilanz ist bei diesem Beispiel daher nur in Verbindung mit der Nutzung des öffentlichen Stromnetzes möglich. Eine technische Herausforderung besteht nun darin durch

leistungsfähige und wirtschaftlich einsetzbare Speichermedien eine Pufferung der Solarstromerträge zu erreichen, so dass der Eigenverbrauch deutlich erhöht werden kann.
Daher sind neue Speichertechnologien nötig, um die fluktuierende Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien dauerhaft auszugleichen. In Forschung und Entwicklung von Speichertechnologien beabsichtigt die Bundesregierung in einem Energieforschungsprogramm bis 2014 ca. 3,5 Mrd. Euro zu investieren.

Aus der Energiebilanz des bestehenden Wohnhauses wird deutlich, dass die PV-Anlage im Jahr 2010 eine Strommenge von 11.360 kWh produziert hat. Im Jahr 2011 lag die Stromproduktion bei 12.824 kWh. Dem gegenüber standen die bereits erwähnten Verbräuche für die Wärmepumpe und den Allgemeinstrom.

Jahr	PV Sollwert (kWh)	PV Istwert (kWh)	Bilanz PV (kWh)	Ertrag (kWh/kWp)	Verbrauch Allgemeinstrom (kWh)	Verbrauch Wärmepumpe (kWh)	Heizwärme-bedarf * (kWh/m²)	Verbrauch Allg.+WP (kWh)	Bilanz PV abzgl. Verbrauch	Gesamt-energie Bilanz (kWh/m²a)
2010	9.650	11.360	1.710	1.074	4.878	3.715	19,8	8.593	**2.767**	18
2011	9.650	12.824	3.174	1.212	4.611	3.116	16,6	7.727	**5.097**	34

* Verbrauch WP-20% Warmwasser = Heizwärmebedarf

Stellt man die Erträge den Verbräuchen gegenüber, ergibt sich für das betrachtete Wohnhaus eine positive Energiebilanz für das Jahr 2010 mit 2.767 kWh und für das Jahr 2011 mit 5.097 kWh. Bezogen auf die Wohnfläche ergeben sich jährliche Erträge in Höhe von 18 kWh/m² (2010) bzw. 34 kWh/m² (2011).

Mit Blick auf den rasanten technischen Fortschritt der Elektromobilität wäre der Überschuss ausreichend um ein Elektromobil ca. 15.000 bzw. 30.000 km zu bewegen.
Die Elektromobilität bietet eine Möglichkeit den Eigenverbrauch des Solarstromes zu erhöhen.
Der Primärenergiebedarf (Energieverbrauch aus Allgemeinstrom und Wärmepumpe) lag 2011 bei 7.727 kWh, was ca. 52 kWh/m² a entspricht.
Die Energiekosten lagen für den Allgemeinstrom bei ca. 1.030 Euro; für die Heizung und die Warmwasserversorgung bei ca. 600 Euro. Dies ergibt Jahresenergiekosten von 1.630 Euro oder ca. 135 Euro je Monat.

Investitionskosten
Der energetische Standard der Gebäudehülle ist durch die Vorgaben der EnEV bereits auf hohem Niveau definiert, so dass darüber hinausgehende Investitionen in die wärmeübertragenden Bauteile in Relation zu den Gesamtbaukosten nicht nennenswert ins Gewicht fallen. Die Herstellung einer dichten Gebäudehülle bewirkt keine Mehrkosten, sondern bedarf einer guten Bauüberwachung, sodass eine einwandfreie Bauausführung gewährleistet ist.
Die regenerative Energieversorgung mittels einer Wärmepumpe bewirkt gegenüber einer Gas oder Oelheizung Mehrkosten in Höhe von ca. 8-10.000 Euro. Dabei sind Einsparungen für den entfallenden Gashausanschluss bzw. den Oeltank, und den entfallenden Kamin bereits berücksichtigt.
Die PV-Anlage hat im vorliegenden Fall Investitionskosten in Höhe von ca. 35.000 Euro bewirkt. Aufgrund der staatlich für 20 Jahre garantierten Einspeisevergütung in Höhe von 43,01 Cent/kWh (Stand 2009) werden aus der Stromproduktion jährlich ca. 4.500- 5.000 Euro erlöst, so dass bereits nach ca. 7-9 Jahren die Investitionskosten amortisiert werden, und die darüber hinaus anfallenden Erträge z.B. zur Finanzierung der Wärmepumpe oder des Gebäudes verwendet werden können.
Das derzeit niedrige Zinsniveau bietet die Möglichkeit die Investitionskosten der PV-Anlage in die Gebäudefinanzierung einzubeziehen. Die Erlöse aus der Einspeisevergütung decken nicht nur die Zins- und Tilgungsleitungen sondern können darüber hinaus zu Überschüssen führen.
Inzwischen wurde zwar die Einspeisevergütung für Solarstromanlagen deutlich gesenkt (19,31 Cent/kWh, Stand Mai 2012), dem stehen jedoch die mittlerweile erheblich geringeren Investitionskosten für PV-Anlagen gegenüber (ca. 2.000 €/kWp).

Resümee

Gebäude, die nach den heutigen gesetzlichen Vorgaben der Energieeinsparverordnung geplant werden, erfüllen die besten Voraussetzungen um in Verbindung mit dem Einsatz effizienter, regenerativer Energiegewinnung eine positive Energiebilanz zu erwirtschaften.

Die Kosten können dabei in einem Rahmen bleiben, der eine wirtschaftliche Gesamtbetrachtung erlaubt. Für die Wärmedämmung entsteht kaum ein Mehraufwand, da der Standard bereits gesetzlich vorgegeben ist. Den höheren Investitionskosten für den Einbau einer Wärmepumpe sind Einsparungen gegenüber einem „herkömmlichen“ Heizungssystem anzurechnen. Durch den Einsatz regenerativer Energien macht man sich dauerhaft unabhängig von der Preisentwicklung fossiler Rohstoffe wie Öl und Gas. Diese sind im Gegensatz zur Sonne nur begrenzt verfügbar.

Der Betrieb einer PV-Anlage ist mittels der für 20 Jahre staatlich garantierten Einspeisevergütung bei Beachtung der Vorgaben so wirtschaftlich, dass die Realisierung auch ohne eigenen finanziellen Aufwand, d.h. mit Vollfinanzierung z.B. im Rahmen der Baufinanzierung in Betracht gezogen werden kann.
Eine PV-Anlage ist in der Lage nicht nur die Zins und Tilgungsleistungen sondern darüber hinaus Überschüsse zu erwirtschaften, die z.B. zur Finanzierung der Mehrkosten der Wärmepumpe verwendet werden können.

Auch ältere Gebäude können energetisch auf den heutigen Standard umgebaut werden. Da die Durchführung von Maßnahmen z.B. zur Gebäudedämmung und Heizungsoptimierung einer ganzheitlichen Betrachtung unter Einbeziehung bauphysikalischer Aspekte bedürfen, ist eine fachliche Beratung durch einen Energieberater oder Architekten zu empfehlen.

Das Plus-Energie-Haus ist mit dem heutigen Stand der Technik keine Vision mehr, sondern auch unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte mittels energieeffizienter Planung problemlos umsetzbar.

Klaus Großmann
Architekt und Stadtplaner
Dipl.-Ing. (FH)

*Forschungszentrum Jülich