

PLUSENERGIEGEBÄUDE – OPTIMIERUNG MIT MONITORING UND SIMULATION

M. Bauer, K. Mayer, D. Garnreiter

Fakultät Architektur und Bauwesen, Hochschule Augsburg, Augsburg, Germany
 martin.bauer@hs-augsburg.de

KURZFASSUNG

Im Beitrag wird ein Plusenergiegebäude unter Nutzungsbedingungen vorgestellt. Anhand von Monitoring Daten wird der Energieverbrauch und die lokale Energieerzeugung unter Verwendung verschiedener Bilanzrahmen verglichen. Für die Optimierung wird das Gebäude in der Simulationsumgebung IDA ICE abgebildet. Die Simulation des Gebäudes erfolgt auf Basis des TRY 2035 und gemessener Wetterdaten. Die Ergebnisse der Simulationen werden den Bilanzergebnissen aus den Messwerten und berechneten Bedarfswerten aus stationären Bilanzen gegenübergestellt und bewertet.

ABSTRACT

The article presents a net zero energy building under conditions of use. The energy consumption and local energy generation are compared on the basis of monitoring data and using various balance frameworks. The building is modelled in the IDA ICE simulation environment for an accompanying analysis. The simulation is carried out concurrently on the basis of TRY and on the basis of measured weather data. The simulation results are compared to the balance results from the measured values and the calculated energy demand from steady state balances and are then evaluated.

EINLEITUNG

Der Standard „Plusenergiehaus“ wird mit zwei grundlegenden planerischen Schritten erreicht. Zunächst wird der Energieaufwand reduziert. Dafür bieten sich Gebäude zwischen Passivhaus- und EnEV-Standard an. Im zweiten Schritt kann eine ausreichend dimensionierte Photovoltaik-Anlage am Gebäude zur aktiven Solarenergienutzung angeordnet werden. Das Niveau „Plusenergie“ ist erreicht, wenn der berechnete jährliche Primär- und Endenergiebedarf negativ sind. Für den entsprechenden Nachweis ist eine stationäre Jahresbilanz ausreichend. (BMVBS)

Diese Bewertung ist jedoch nur eine erste grobe Näherung für den Plusenergiestandard: Die aktive Nutzung von Solarenergie zur Stromgewinnung stützt

sich aus wirtschaftlichen Gründen und aus Gründen der Versorgungssicherheit auf die Kopplung an die elektrischen Verteilnetze. Daraus entsteht wechselweise ein Quellen-Senken-Verhältnis von Gebäude und elektrischem Netz. Im Idealfall ist die Dimension der lokalen Energieerzeugung soweit als möglich auf die Gebäudelast abgestimmt. Über die Wirkungsweise von Erzeugungsleistung und Verbrauchslast sollen zeitlich hochaufgelöste Lastgangdaten aus Monitoring Auskunft geben. Daraus entsteht ein differenziertes Bild der tatsächlichen Lastflüsse.

Das Verhalten eines konkreten Plusenergiegebäudes soll nachfolgend anhand der instationären Bilanzmöglichkeiten thermischer Gebäudesimulation nachvollzogen werden. Hierauf aufbauend wird in einzelnen Schritten das Verbrauchsverhalten des Gebäudes verbessert und Rückschlüsse auf die Planung und die Bewertung des Plusenergiestandards gezogen.

VERSUCH UND GEBÄUDE

Versuchsgebäude

Das vorgestellte Gebäude ist eines von sechzehn Gebäuden, welche im Modellvorhaben (BMVI) mittels Monitoring den Nachweis des Plusenergiehaus-Standards erbringen.

Angaben zum Gebäude Müpeg (Münnerstädter Plusenergiegebäude) und Informationen zum Programm sind auf der Seite des (BMVI) zu finden.

Die Gebäudeversorgung des vorgestellten Projekts erfolgt einzig mit dem Energieträger Strom. Ein solches Gebäude wird als „Nur-Strom-Gebäude“ bezeichnet. Es ist von seiner Konzeption nicht auf Autarkie ausgelegt. Daher stützt sich das Konzept dieses Plusenergiegebäudes auf Einspeisung und Bezug aus dem Stromnetz. Die korrekte Bezeichnung muss aus der Bilanz heraus Netto-Plusenergiegebäude lauten. (Voss, 2013)

Das Wohngebäude mit Büro liegt im unterfränkischen Landkreis Bad Kissingen, Bayern, Deutschland. Das Erd- und Obergeschoss wird von einer dreiköpfigen Familie bewohnt. Im Unterge-

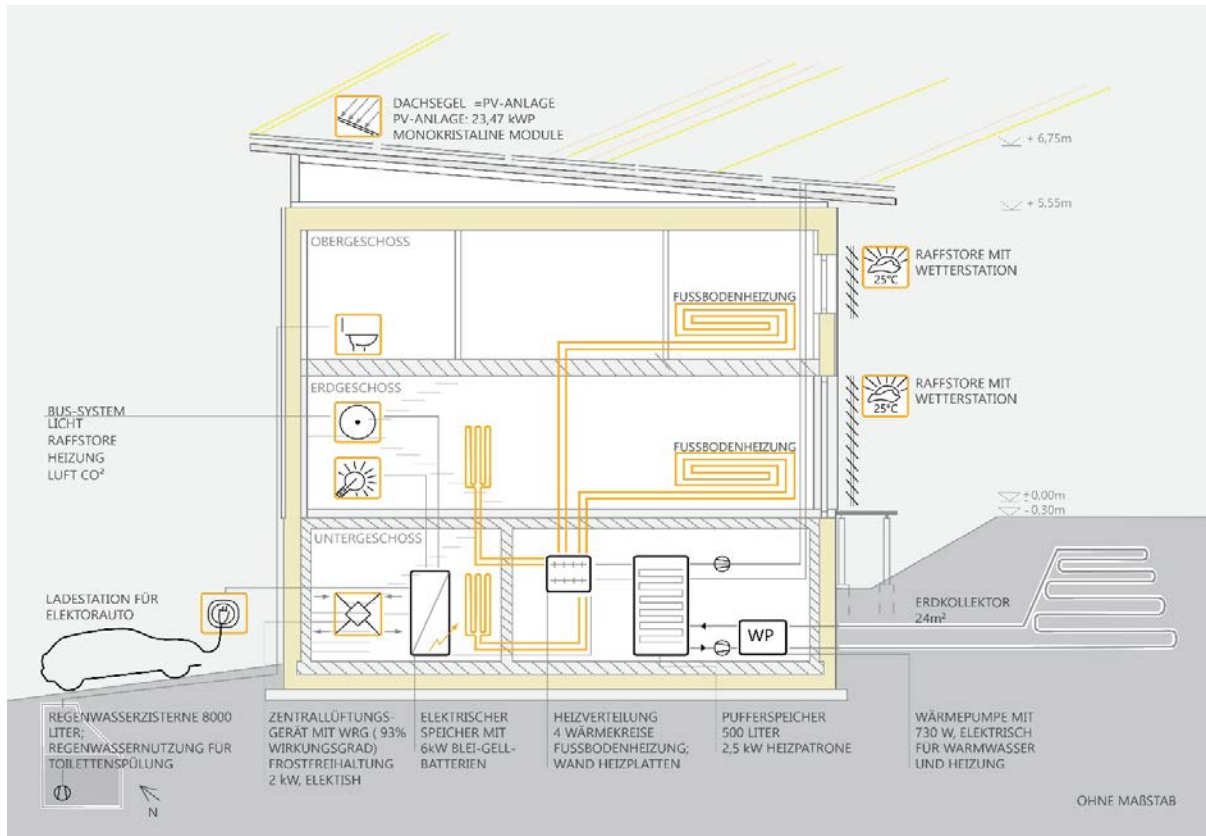


Abbildung 1: Gebäude- und Energiekonzept

schoss befinden sich Büroräume und ein Technikraum. Die Konstruktion des Gebäudes entspricht den Kriterien eines Passivhauses. Zur Beheizung und zur Bereitstellung des Trinkwarmwassers wird die Wärme durch eine Wärmepumpe mit Erdkollektorfeld erzeugt. Zur Abdeckung von Spitzenlasten wird ein elektrisches Heizschwert im Pufferspeicher und dezentrale, elektrisch betriebene, Steinplatten verwendet. Die Wärmeverteilung erfolgt mit einer Fußbodenheizung, deren Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur und der jeweiligen Raumtemperatur über ein BUS-System eingestellt wird. Ein zentrales Lüftungsgerät mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 93% versorgt alle Räume mit der benötigten Frischluft.

Für den Sonnenschutz sind die nach Süden orientierten Fensterflächen mit außenliegenden Raffstoren versehen. Die Verschattung ist über eine Gebäudeleittechnik in Abhängigkeit von Innen- und Außentemperatur sowie Windgeschwindigkeit geregelt.

Die Dachhaut des 6° geneigten Pultdachs besteht in der gesamten Fläche aus Solarmodulen einer PV-Anlage mit einer Leistung von 23,74 kWp zur Stromerzeugung. Die Eigenverbrauchsquote wird mit einer Blei-Gel-Batterie (Kapazität ca. 10 kWh) und einer Ladestation für ein Elektromobil erhöht. (Abb. 1)

Monitoring

Im Gebäude messen 34 Sensoren Temperaturen, die relative Luftfeuchtigkeit, den CO₂-Gehalt, Wärmemengen und Stromverbräuche. Die installierte Wetterstation liefert ergänzend die Werte für die Globalstrahlung (horizontal und vertikal), die Außentemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit. Alle Messwerte werden im Abstand einer Minute erfasst. In dem vollständig automatisierten Prozess werden die Daten lokal auf einem Server gespeichert und mit Hilfe eines Downladers über Internet an das Rechenzentrum der Hochschule Augsburg gesendet. Ein Database Manager liest die Daten aus und schreibt sie in eine Datenbank. Alle graphischen und tabellarischen Auswertungen erfolgen aus der Datenbank heraus. Die Daten werden zu Kennwerten aus den erhobenen Stichproben zu je 15-Minuten-, Stunden- sowie Tages-, Wochen- und Monatsmittel bzw. -summen zusammengefasst. Alle nachfolgenden Auswertungen erfolgen auf Stundenbasis für das Betriebsjahr Juni 2013 bis einschließlich Mai 2014.

BEWERTUNG ERGEBNISSE AUS MESSUNG

Vergleich mit stationärer Bilanz nach DIN V 18599

Innerhalb des ursprünglichen Forschungsauftrags ist der Vergleich mit dem stationären Berechnungsschema nach DIN V 18599 zu führen. Dieser Berechnung liegt das Standard-Nutzungsprofil für Wohngebäude zugrunde. Aus der Bilanz der kumulierten Erzeugungs- und Bedarfswerte ergibt sich ein deutlicher Energieüberschuss für das Gebäude. Die Kriterien $Q_p < 0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und $Q_e < 0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ zur Erfüllung des „Plus-Energie-Haus Niveaus“ (BMVI) sind durch den Nachweis erfüllt. Der Überschuss an Strom aus erneuerbaren Energien kann teilweise für Mobilität verwendet werden. Der Rest ist an das Stromnetz abzugeben.

Es fällt beim Vergleich von Bedarfsberechnung zur Verbrauchserfassung auf, dass die traditionell für die Gebäudebewertung üblichen Vergleichswerte (Heizen, Trinkwarmwasser, Lüftung) nur einen sehr geringen Anteil betragen. Die maßgeblichen Anteile werden von der Bilanz nach DIN V 18599 nicht erfasst.

Es wird bereits aus den Berechnungen des Monatsbilanzverfahren ersichtlich, dass eine Autarkie des Gebäudes nur über den gesamten Bilanzzeitraum eines Jahres, nicht jedoch in kleineren Bilanzzeiträumen möglich wird: Im jahreszeitlichen Wechsel erfolgt der Ausgleich von Überschuss und Unterdeckung mit Hilfe des Stromnetzes. Besonders ist dabei zu berücksichtigen, dass in den Sommermonaten die Erzeugung um ein Vielfaches höher ist, als der Verbrauch. In den Wintermonaten kehrt sich dieses Verhältnis um. Die gemessenen Werte zeigen auch während des Dezembers noch eine Deckung des Verbrauchs für Heizen und Trinkwarmwasser, nicht jedoch mehr für den Haushaltsstrom. Die Aufwen-

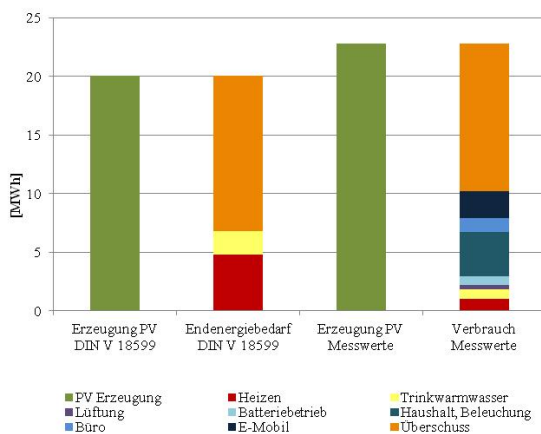


Abbildung 2: Vergleich Jahresbilanz aus Messwerten und nach DIN V 18599

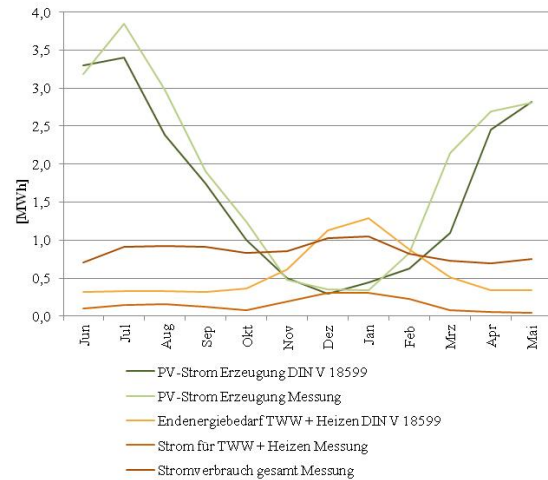


Abbildung 3: Vergleich Monatsbilanz aus Messwerten und nach DIN V 18599

dungen für das Elektromobil verschlechtern die Bilanz für die Wintermonate zusätzlich. Es muss in der Monatsbilanz mit einer Unterdeckung ab Oktober gerechnet werden.

Nachweis Plusenergiestandard

Über den Nachweis des Plusenergiestandards (BMVBS) hinaus ist es für eine ganzheitliche Betrachtung jedoch sinnvoll, die Bilanzgrenze zu erweitern. Eine Bilanzierung in Abstimmung der Zielsetzung des Planers, Nutzers, Investors und/oder Netzbetreibers ist zu erstellen. In (Voss, 2013) werden mögliche Varianten zur Definition des Plusenergiestandards nach Vorschlag des Department of Energy, US, vorgestellt:

- *Net Zero Site Energy*: Gebäude mit ausgeglichener Bilanz bezogen auf die Endenergie
- *Net Zero Source Energy*: Gebäude mit ausgeglichener Bilanz bezogen auf die Primärenergie
- *Net Zero Emission*: Gebäude mit ausgeglichener Bilanz bezogen auf die Klimagasemissionen
- *Net Zero Site Energy Cost*: Gebäude ohne Energiekosten

In Abhängigkeit des gewählten Modells kann der Nachweis für den Plus-Energie-Standard mittels einer Import/Export-Bilanz und einer Last/Erzeugungsbilanz vorgenommen werden. (Satori, 2012) Die gewählten Indikatoren (Primärenergiefaktoren, Umrechnungsfaktoren für Klimagasemissionen, Kostenfaktoren), die Bilanzgrenze und der Bilanzzeitraum haben einen maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis.

Das Gebäude Müpeg ist ein Nur-Strom-Gebäude, daher ist eine Bilanz auf Basis der Endenergie sinnvoll. Zum Vergleich wird eine Bilanzierung mit gewichteten Anteilen nach Primärenergiefaktoren

erstellt. Für die Bewertung werden die Primärenergiefaktoren nach E DIN EN 15603:2013-05 zugrunde gelegt. Diese sind:

Gesamtprimärenergiefaktor für Strom aus dem öffentlichen Netz = 2,5

Gesamtprimärenergiefaktor für Stromexport an das öffentliche Netz = 1,6

Die Bilanzgrenze umfasst alle Verbraucher im Gebäude inkl. Elektromobil.

Tabelle 1: Nomenklatur

<i>i</i>	energy carrier
<i>g</i>	generation
<i>w</i>	weighting factor
<i>l</i>	load
<i>e</i>	exported
<i>d</i>	delivered
<i>G</i>	weighted generation
<i>L</i>	weighted load
<i>E</i>	weighted exported energy
<i>D</i>	weighted delivered energy

- Net Zero Site Energy Modell mittels Last/Erzeugungs-Bilanz

$$\sum_i g_i \times w_{e,i} - \sum_i l_i \times w_{d,i} = G - L \geq 0 \quad (1)$$

Ergebnis Müpeg: 12.071 kWh/a

- Net Zero Source Energy Modell mittels Import/Export-Bilanz

$$\sum_i e_i \times w_{e,i} - \sum_i d_i \times w_{d,i} = E - D \geq 0 \quad (2)$$

Ergebnis Müpeg: 13.010 kWh/a

Die Berechnung ergibt endenergetisch und primärenergetisch in jedem Fall einen deutlichen Überschuss und erbringt auch so den Nachweis des Plusenergiestandards.

Messwerte

Das Monitoring weist bei einer Erzeugung von 22.809 kWh Strom eine Netzeinspeisung von 19.075 kWh aus. Per Saldo ergeben sich 3.734 kWh Eigenverbrauch von PV-Strom. Die Erfassung aller Verbrauchsstellen weist 9.979 kWh zuzüglich 759 kWh Speicherverluste der Batterie, also in Summe 10.738 kWh Verbrauch aus. Es ergibt sich eine Differenz von 7.004 kWh im Jahr, die durch

Netzbezug gedeckt werden muss. Es stehen damit 65% Netzbezug lediglich 35% Solarstromnutzung gegenüber.

Die Analyse der Positionen in der Gesamtenergiebilanz ergibt, dass über die in der stationären Bilanz erfassten Anteile Heizen, Trinkwarmwasser und Lüftung hinaus auch die Anteile Haushaltsstrom sowie Elektromobilität, Büro und Batteriespeicher wesentliche Größen sind.

SIMULATION

Begleitend zur Messung wurde ein Simulationsmodell aufgebaut. Es wird zur Untersuchung des Ungleichgewichts von Netzbezug und Erzeugung im Zusammenhang mit den daraus resultierenden Nachhaltigkeitsfragen herangezogen. Das Modell bildet alle Zonen des realen Gebäudes sowie die eingangs beschriebene Technik ab. Anhand der gemessenen Erzeugungslasten und der Summenlinie der Gebäudelasten wird das Modell validiert. Auf Grund des hohen Stromertrags wird der Erzeugungslast zunächst die größere Bedeutung beim Aufbau des Simulationsmodells beigemessen. Auf die gesonderte Modellierung des elektrischen Speichers und der Ladestation für das Elektromobil wurde im ersten Schritt verzichtet.

Lokale Klimadatei

Der ursprüngliche Messauftrag sah nicht vor, alle Messdaten für eine Gebäudesimulation zu erfassen. Daher sind für die begleitend durchgeführte Simulation ein Teil der Parameter zur Erzeugung einer Klimadatei mit Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zu ergänzen. Die Werte für die Windstärke und die Windrichtung werden aus Messungen des DWD am Standort Würzburg übernommen. Die Globalstrahlung wird vor Ort gemessen, nicht aber der diffuse Strahlungsanteil. Mit einer Abschätzung unter Berücksichtigung des Bedeckungsgrads wird der Anteil an diffuser Strahlung bestimmt. Die Korrelationsanalyse nach Pearson von gemessenen zu berechneten Werten bestätigt mit $r = 0,860$ ein hinreichend genaues Ergebnis des Vorgehens. Mit den Globalstrahlungsdaten aus Münnerstadt und der nach oben aufgeführten Schema ermittelten diffusen Strahlung werden die Strahlungsdaten für die Simulation vervollständigt.

Nutzungslasten

Die realitätsnahe Abbildung der Gebäudelast erfolgt soweit als möglich mit den gemessenen Verbrauchsdaten, wie z. B. Herd, Backofen, Kühlschrank usw. Die Leistungskennwerte wurden den Gerätebeschreibungen entnommen. Durch Auswertung der Häufigkeit des Auftretens werden statische Zeitpläne erstellt und ein einfaches Anwesenheitsprofil der Nutzer abgeleitet. (Abb. 4).

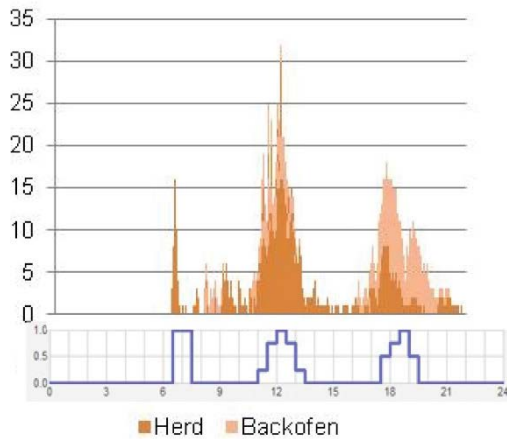


Abbildung 4: Absolute Häufigkeiten der Nutzung und Zeitplan in der Simulation z.B. Herd, Backofen

Das Forschungsprogramm verlangte nur eine Erfassung der Geräte im Wohnbereich sowie die gesamte Verbrauchserfassung. Zur Vervollständigung der Simulationsanforderungen werden die Geräte im Büro nach VDI 2078 und die Beleuchtungsstärke nach DIN EN 13779 angesetzt.

Vergleich mit TRY

Die berechnete Erzeugungsleistung einer PV Anlage aus der Simulation hängt unmittelbar von den verwendeten Klimadaten ab. In der üblichen Auslegung werden die Daten eines TRY angesetzt. Realitätsnah wird mit der Klimadatei aus lokal gemessenen Parametern simuliert und mit den gemessenen Erzeugungsleistungen verglichen. Zusätzlich werden diese Simulationsergebnisse den Ergebnissen aus der Simulation mit TRY gegenübergestellt.

Ergebnisse Simulation

Die Überprüfung der Güte des Simulationsmodells erfolgte unter Verwendung der erzeugten Klimadatei

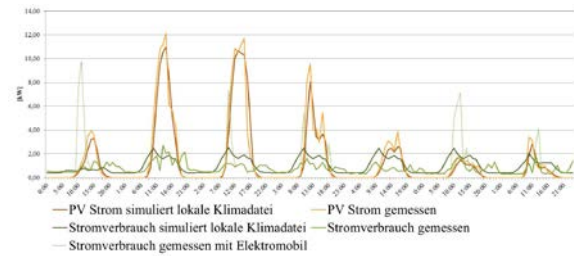


Abbildung 5: Lastgänge und Erzeugungsleistung simuliert und gemessen Oktoberwoche

und dem Näherungsmodell für die Nutzungslasten. In Abbildung 5 ist der gemessene Verbrauch mit und ohne Elektromobil dargestellt. Zum Vergleich mit den simulierten Werten wird die Gebäudelast ohne Elektromobil herangezogen. Die Gegenüberstellung zeigt sowohl in der Erzeugungsleistung als auch in den Lastgängen eine Übereinstimmung von gemessenen und simulierten Werten. Es ist jedoch bereits in der dargestellten Beispielwoche ersichtlich, dass der simulierte Verbrauch höher ist als der gemessene Verbrauch.

In Tabelle 2 werden die kumulierten Ergebnisse angegeben. Die Summe des erzeugten PV Stroms weicht von den beiden Simulationsvarianten unwesentlich ab. Größere Unterschiede gibt es bei der Gruppe der Verbraucher. Die berechneten Werte aus den Simulationen für Heizen, Trinkwarmwasser und Lüftung sind ca. 50 – 60% höher als der gemessene Verbrauch. Mit dem Faktor 3 weichen gemessener und berechneter Energieverbrauch im Büro voneinander ab.

Die berechnete Erzeugungsleistung für PV Strom aus der Simulation mit dem TRY weicht zum Teil deutlich von den gemessenen und damit zufälligen Werten ab. Abbildung 6 zeigt in graphischer Auswertung eine Beispielwoche im Oktober.

Tabelle 2: Gegenüberstellung Messwerte und simulierte Werte

Messwerte [kWh]		Simulation TRY [kWh]		Simulation lokale Klimadatei [kWh]		Verbrauch
Erzeugung	Verbrauch	Erzeugung	Verbrauch	Erzeugung	Verbrauch	
22.809	1.695	21.114	2.720	21.850	2.576	Heizen + TWW
	497		745		746	Lüftung, Pumpen
	759		0		0	Batteriebetrieb
	3.810		4.625		4.626	Haushalt
	1.148		3.266		3.266	Büro
	2.315		0		0	E-Mobil
	12.585		9.758		10.636	Überschuss
22.809	22.809	21.114	21.114	21.850	21.850	

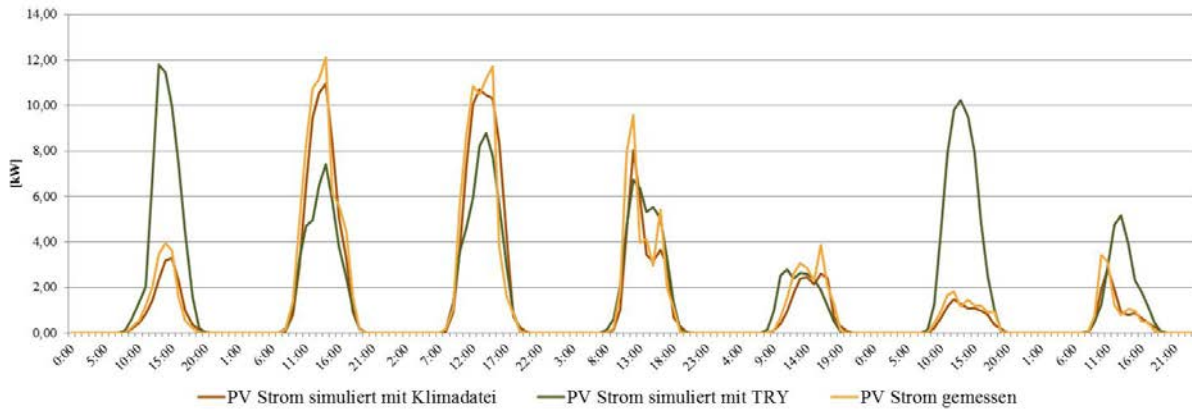


Abbildung 6: Erzeugungsleistung simuliert mit lokaler Klimadatei, TRY und gemessen Oktoberwoche

Für die Verbrauchsdeckung ist das zeitliche Angebot von Erzeugung und Last maßgebend. Mit einer Bewertungsform, die die Dynamik der Lastgänge abbildet, soll nach möglichen Unterschieden zwischen Simulation nach Standardrandbedingungen und Monitoring gesucht werden. Dafür wird das in (Salom, 2013) vorgestellte Verfahren herangezogen. Diese Bewertung von Plusenergiegebäuden beinhaltet zwei unterschiedliche Verfahren. Unter dem Begriff „Load Matching“ sind Faktoren zusammengefasst, die Auskunft über den Grad der Übereinstimmung von lokaler Energieerzeugung und Gebäudelastprofil geben. Die Bewertung der „Grid Interaction“ bezieht sich auf die Gebäude-Netz Interaktion.

Für die Bewertung der simulierten Erzeugungsleistungen wird das Verfahren „Load Matching“ angewendet. In diesem Verfahren werden dazu die drei unterschiedlichen Faktoren „load cover factor“, „supply cover factor“ und „loss of load probability (LOLP)“ angegeben. Diese Faktoren ermöglichen die Bewertung der Übereinstimmung von Erzeugungs- und Verbrauchslast im Gebäude.

Load cover factor: Gibt den Anteil des Energiebedarfs an, der von der lokalen Erzeugung gedeckt wird.

$$Y_{load} = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_2} \min[g(t) - S(t) - \zeta(t), l(t)] dt}{\int_{\tau_1}^{\tau_2} l(t) dt} \quad (3)$$

Supply cover factor: Gibt den Anteil der lokal erzeugten Energie an, der im Gebäude verbraucht wird.

$$Y_{supply} = \frac{\int_{\tau_2}^{\tau_1} \min[g(t) - S(t) - \zeta(t), l(t)] dt}{\int_{\tau_2}^{\tau_1} [g(t) - S(t) - \zeta(t)] dt} \quad (4)$$

Loss of load probability auf Basis Last-Erzeugung: Gibt den Anteil der betrachteten Zeit an, in der eine Deckung des Energiebedarfs im Gebäude durch die lokal erzeugte Energie nicht möglich ist.

$$LOLP_b = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_2} dt_{l(t) > (g(t) - S(t) - \zeta(t))}}{\tau_2 - \tau_1} \quad (5)$$

Auswertung nach Load Matching

Es werden drei Varianten mit unterschiedlicher Bilanzgrenze berechnet. Variante 1 umfasst alle Verbraucher im Gebäude. Die Varianten 2 und 3 werden zum Vergleich mit den Stundenwerten aus den Simulationsberechnungen erzeugt. Für den aussagekräftigen Vergleich wird die Simulation als Variante ebenfalls mit und ohne den Energieverbrauch im Büro durchgeführt.

Bei den Speicherverlusten der Batterie ist eine eindeutige Zuordnung nicht möglich. Deshalb wird bei den Auswertungsvarianten auf Basis der Messwerte ohne Berücksichtigung des elektrischen Speichers die Summe der Speicherverluste gleichmäßig auf jede Stunde des Jahres (8.760 h) aufgeteilt.

Tabelle 3: Nomenklatur

t	time
e, E	exported energy
d, D	delivered energy
ne	net exported energy
g, G	on-site generation
S	storage energy balance
τ_1	start of the evaluation period
τ_2	end of the evaluation period
w	weighting factor
l, L	load
ζ	energy losses
i	energy carrier

Untersuchte Varianten:

Variante 1 (V1): Basis Messwerte. Bilanzgrenze: alle Verbraucher im Gebäude inkl. Speicherverluste Batterie und Elektromobil

Variante 2 (V2): Basis Messwerte. Bilanzgrenze: alle Verbraucher im Gebäude ohne Speicherverluste Batterie, ohne Elektromobil

Variante 3 (V3): Basis Messwerte. Bilanzgrenze: alle Verbraucher im Gebäude ohne Speicherverluste Batterie, ohne Elektromobil, ohne Büro

Variante 4 (V4): Basis Simulationsergebnisse mit TRY. Bilanzgrenze: alle Verbraucher im Gebäude ohne Speicherverluste Batterie, ohne Elektromobil

Variante 5 (V5): Basis Simulationsergebnisse mit TRY. Bilanzgrenze: alle Verbraucher im Gebäude ohne Speicherverluste Batterie, ohne Elektromobil, ohne Büro

Variante 6 (V6): Basis Simulationsergebnisse mit lokaler Klimadatei. Bilanzgrenze: alle Verbraucher im Gebäude ohne Speicherverluste Batterie, ohne Elektromobil

Variante 7 (V7): Basis Simulationsergebnisse mit lokaler Klimadatei. Bilanzgrenze: alle Verbraucher im Gebäude ohne Speicherverluste Batterie, ohne Elektromobil, ohne Büro

Tabelle 4: Ergebnisvergleich Deckungsfaktoren

	load cover factor	supply cover factor	LOLP
V1	0,450	0,193	0,638
V2	0,461	0,144	0,610
V3	0,453	0,119	0,595
V4	0,548	0,295	0,657
V5	0,478	0,183	0,615
V6	0,496	0,240	0,662
V7	0,464	0,169	0,630

Zur Überprüfung der Plausibilität werden die Ergebnisse für load cover factor, supply cover factor und loss of load probability mit den Werten aus (Salom, 2013) verglichen. Sie sind für 13 Wohngebäude angegeben und resultieren teils aus gemessenen und teils aus simulierten Werten. Im Vergleich zu diesen Gebäuden sind die Ergebnisse für das Gebäude Müpeg für den load cover factor sehr gut. Auch der LOLP ist im Vergleich besser, als in den zitierten Literaturangaben. Der supply cover factor dagegen schneidet im Vergleich weniger gut ab. Der Grund ist die installierte Leistung der PV Anlage des Gebäudes Müpeg. Sie ist im Vergleich zu den betrachteten Gebäuden über 50% größer

dimensioniert. Dies ist dem Auslegungsziel der Bauherren geschuldet, eine Erweiterung der Ladestation für Elektromobile zur Solartankstelle zu erreichen.

Die Auswertung der einzelnen Faktoren zeigt: Der load cover factor bleibt für alle Varianten mit Messwerten praktisch konstant. Das Minimum aus Erzeugung und Last nimmt mit dem Energieverbrauch proportional ab.

Der supply cover factor und LOLP reduzieren sich im gleichen Maß wie der Bilanzanteil Verbrauch von V1 zu V3.

Beim Vergleich (Abb. 7) der Varianten V3 (Messung), V5 (Simulation mit TRY) und V7 (Simulation mit lokaler Klimadatei) mit denselben Bilanzgrenzen (ohne Elektromobil, ohne Batterie und ohne Büro) ergibt sich eine hohe Übereinstimmung der berechneten Deckungsfaktoren. Die festgestellten Unterschiede zwischen den Simulationsergebnissen mit TRY und lokaler Klimadatei spielen eine untergeordnete Rolle. Die Verwendung der Klimadaten des TRYs kann für eine realitätsnahe Abbildung des Klimas für das Gebäude Müpeg in der Gebäudesimulation herangezogen werden.

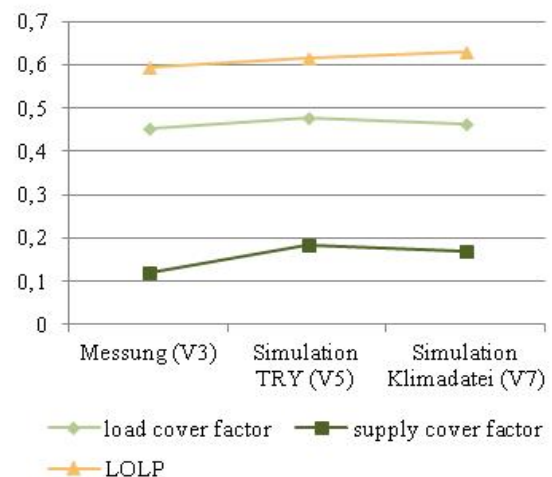


Abbildung 7: Ergebnisvergleich Deckungsfaktoren

ZUSAMMENFASSUNG UND OPTIMIERUNGSPOTENZIALE

Zur Bewertung von Plusenergiegebäuden werden Planungsinstrumente für stationäre und instationäre Bilanzen verglichen. Starre Bedarfsberechnungen, wie die nach DIN V 18599, bilden keine ausreichende Bewertungsbasis für ganzheitliche Gebäudesysteme, in denen beispielsweise elektrische Speicher und Elektromobilität in die Gebäudekonzepte einbezogen werden.

Für die Untersuchung der Nachhaltigkeit von Teilkonzepten wurde für das Gebäude Müpeg zum Zweck der Optimierung ein Simulationsmodell in der

Umgebung IDA ICE erstellt. Der dominierenden Erzeugungsleistung entsprechend, wurde dieser zunächst für die Modellerstellung die größte Aufmerksamkeit geschenkt.

Dieses Modell wird zunächst anhand von Messdaten validiert. Die Simulation mit einer erzeugten Klimadatei aus vor Ort gemessenen Wetterdaten wird mit Berechnungen auf Basis eines TRY verglichen. Es wurde eine gute Übereinstimmung von Simulationen und Messung für die kumulierte Erzeugungsleistungen in einem Jahr und die Leistungskurven der PV-Anlage festgestellt.

Direkte Ansatzpunkte für die Optimierung des Gebäudes ergeben sich aus den Betriebsbedingungen der Geräte und des daraus resultierenden Verbrauchs. Die hochwertige Gebäudehülle und Anlagentechnik senkt den Energieverbrauch für Heizen, Lüftung und Trinkwarmwassererwärmung auf ca. 7 kWh/m² Nutzfläche ab. Der Energieverbrauch für das Büro beträgt ca. 35% des berechneten Verbrauchs nach VDI 2078. Das lässt auf effiziente und energiesparende Geräte schließen. Eine weitere Optimierung in diesen Bereichen scheint nicht zielführend. Für Haushaltsstrom wurden im Betrachtungszeitraum 4.585 kWh verbraucht. Der durchschnittliche Stromverbrauch eines 3-Personen-Haushalts inkl. Trinkwarmwassererwärmung beträgt 4.050 kWh/a, der Stromverbrauch eines freistehenden Einfamilienhauses liegt bei 3.483 kWh/a. (BDEW) Im Vergleich zu diesen Kennwerten ergeben sich mit Hilfe der Ermittlung einer Verbraucherstruktur z.B. nach (Kleber) Optimierungspotenziale.

Für den Vergleich der Leistungskurven wurde das in (Salom, 2013) vorgestellte Verfahren des „Load Matchings“ herangezogen. Die festgestellten Unterschiede zwischen den Simulationsergebnissen mit TRY und lokaler Klimadatei spielen für diese Bewertungsform eine untergeordnete Rolle. Die Verwendung der Klimadaten des TRYs kann für eine realitätsnahe Abbildung des Gebäudes Müpeg in der Gebäudesimulation herangezogen werden.

Die durchgeführte Analyse der Messwerte hat außerdem das vorhandene Optimierungspotenzial des Gebäudes aufgezeigt. Im Betriebszustand des betrachteten Jahres von Juni 2013 bis einschließlich Mai 2014 wurden 35% des Energieverbrauchs im Gebäude durch den vor Ort erzeugten PV Strom gedeckt. Die Lastganganalyse weist einen möglichen Deckungsfaktor von 45% aus. Diese Differenz zeigt einen Netzbezug von ca. 1.000 kWh Strom (ca. 10%) der durch PV Strom gedeckt werden könnte.

Anhand des Verfahrens des „Load Matchings“ lassen sich weitere Optimierungspotenziale aufdecken.

Aufgrund der Erweiterung der Bilanzgrenzen sind diese Potenziale nicht eindeutig. Sie sind nur im Hinblick auf die Zielsetzung von Planer, Nutzer, Investor und/oder Netzbetreiber sinnvoll anzusetzen. Die unterschiedlichen Optimierungspotenziale werden derzeit durch eine Verbesserung des Simulationsmodells durch genauere Abbildung der Nutzungslasten untersucht. Das Ziel ist die Optimierung des Deckungsgrads von Gebäudelast und Erzeugung.

LITERATUR

- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). 2014. Effizienzhaus Plus: Netzwerk. Accessed May 17, 2014. http://www.bmvi.de/DE/EffizienzhausPlus/Modellvorhaben/Netzwerk/effizienzhaus-plus-neubauten_node.html
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) 2011. Bekanntmachung über die Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte im "Plus-Energie-Haus-Standard" Anlage 1 - Wohnhäuser mit Plus-Energie Niveau - Definition und Berechnungsmethode
- DIN EN 15603, Mai 2013: DIN EN 15603 Energieeffizienz von Gebäuden – Gesamtenergiebedarf und Festlegungen der Energiekennwerte
- Kleber, Michael, Moritz Hartloff, Andreas Wagner: Leitfaden Lastgangmessung, Fachgebiet Bauphysik & Technischer Ausbau (fbta), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Salom, Jaume, Anna Marszal, José Candanedo, Joakim Widén, Karen Byskov, and Igor Sartori. 2013-10-00. Analysis Of Load Match and Grid Interaction Indicators in NZEB with High-Resolution Data: A report of Subtask A IEA Task 40/Annex 52 Towards Net Zero Energy Solar Buildings. Unpublished manuscript, last modified May 16, 2014. http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea_pdf/endbericht_201417_iea_shc_task40_ebc_annex_52_anhang05.pdf.
- Satori, Igor, Napolitano, Assunta; Voss, Karsten. 2012. Net zero energy buildings: A consistent definition framework. In: *Energy and Buildings* 48, S. 220–232. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.01.032.
- Voss, Karsten, and Eike Musall. 2013. Net zero energy buildings: International projects of carbon neutrality in buildings. Detail green books. Munich: Detail.