

SIMULATION DER ABWÄRMENUTZUNG EINES HOCHTEMPERATUR BRENNSTOFFZELLEN-SYSTEMS IN EINEM EINFAMILIENHAUS

M. Windeknecht¹, P. Tzscheutschler¹

¹Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik,
Technische Universität München, München, Germany
windeknecht@tum.de

KURZFASSUNG

Eine hocheffiziente Möglichkeit zur Bereitstellung von Strom und Wärme im Gebäudebereich sind Mikro Kraft-Wärme-Kopplungen (μ KWK)-Anlagen. In den letzten Jahren wurden auch μ KWK-Anlagen für Ein- und Zweifamilienhäuser mit Festoxid-Brennstoffzellen-Systemen (SOFC) auf den Markt gebracht. Diese dezentralen Systeme erreichen elektrische Wirkungsgrade, die nur wenig unter modernsten GUD-Großkraftwerken liegen. Der Einsatz einer solchen Anlage in einem modernen hoch gedämmten Einfamilienhaus wurde in dieser Arbeit zunächst modelliert und simuliert. Anschließend wurden die Ergebnisse hinsichtlich der Primärenergie, der Kosten, der Stromerzeugung und besonders der Wärmeleistung des Brennstoffzellen-systems analysiert.

ABSTRACT

A highly efficient way to generate electricity and heat in the building sector are micro combined heat and power (μ CHP) systems. In recent years μ CHP systems have been put on the market for single- and two-family houses with solid oxide fuel cell systems. These distributed systems nearly reach an electrical efficiency of modern central power plants. Such a system has been modeled and simulated in this work in a modern highly insulated detached house. Then the results were analyzed in terms of primary energy, cost, and power generation performance of the fuel cell system, particularly heat.

EINLEITUNG

Ein zentraler Baustein zur Umsetzung des Energiekonzeptes der Bundesregierung ist der Ausbau von Kraft-Wärme-Kopplungen (KWK)-Anlagen. KWK-Anlagen bringen durch ihre gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme entscheidende Effizienzverbesserungen. Mikro-KWK (μ KWK) Systeme mit Leistungen bis ca. 5 kW_{el} sind seit einigen Jahren auf dem Markt und werden zur Versorgung von Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie kleinen Betrieben aus dem Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen erfolgreich genutzt. Voraussetzung für den Einsatz ist ein ausreichender Wärmebedarf,

da sonst keine ausreichende Nutzungsdauer der Anlage erreicht wird.

Eine vielversprechende Entwicklung im μ KWK Bereich haben in den letzten Jahren Brennstoffzellen gemacht. Mittlerweile sind Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) KWK-Anlagen mit elektrischen Leistungen bis ca. $1,5 \text{ kW}$ am Markt verfügbar. Das hier betrachtete Model hat eine elektrische Leistung von $1,5 \text{ kW}$ und eine theoretische thermische Leistung von bis zu $0,85 \text{ kW}$. Dies würde einen Gesamtwirkungsgrad von ca. 94% bedeuten. Der Hersteller gibt jedoch die maximale thermische Leistung mit ca. $0,66 \text{ kW}$ an, was einen Gesamtwirkungsgrad von über 80% bedeutet (Winiewska et al., 2012). Diese dezentrale Einheit eignet sich durch ihre Leistung zur Versorgung von Ein- oder Zweifamilienhäusern mit Strom und Wärme. Besonders für moderne hoch gedämmte Gebäude mit nur noch geringen Wärmebedarf und steigendem Strombedarf sind die SOFC KWK- Anlagen im Gegensatz zu den konventionellen KWK-Anlagen sehr interessant. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Nutzung einer SOFC μ KWK- Anlage im Gebäude zu simulieren und zu analysieren. Deshalb wird ein hoch gedämmtes Einfamilienhaus als Strom- und Wärmeverbraucher simuliert. Das Haus verfügt neben der Brennstoffzelle, die Strom und Wärme liefert, über einen zusätzlicher Kessel, der den Wärmebedarf überwiegend deckt. Die Brennstoffzelle wird, wie vom Hersteller empfohlen, konstant bei $1,5 \text{ kW}_{el}$ betrieben. Der schwankende Wärmebedarf wird von der Wärmeerzeugung durch einen Kombi-Schichtenspeicher entkoppelt. Damit soll sichergestellt werden, dass die Rücklauf-temperatur vom Speicher zur SOFC so niedrig wie möglich ist. Denn die von der SOFC bereit gestellte Wärmeleistung und Vorlauf-temperatur hängen stark von der Rücklauf-temperatur des Wassers in die Brennstoffzelle ab. Im Gegensatz zu vorhergehenden Untersuchungen (Stinner et al., 2012) wird nun mit Hilfe von Versuchsdaten die Wärmeproduktion und Vorlauf-temperatur in Abhängigkeit der Rücklauf-temperatur simuliert. Schließlich soll gezeigt werden, wie viel Wärme aus der Brennstoffzelle wirklich genutzt werden kann.

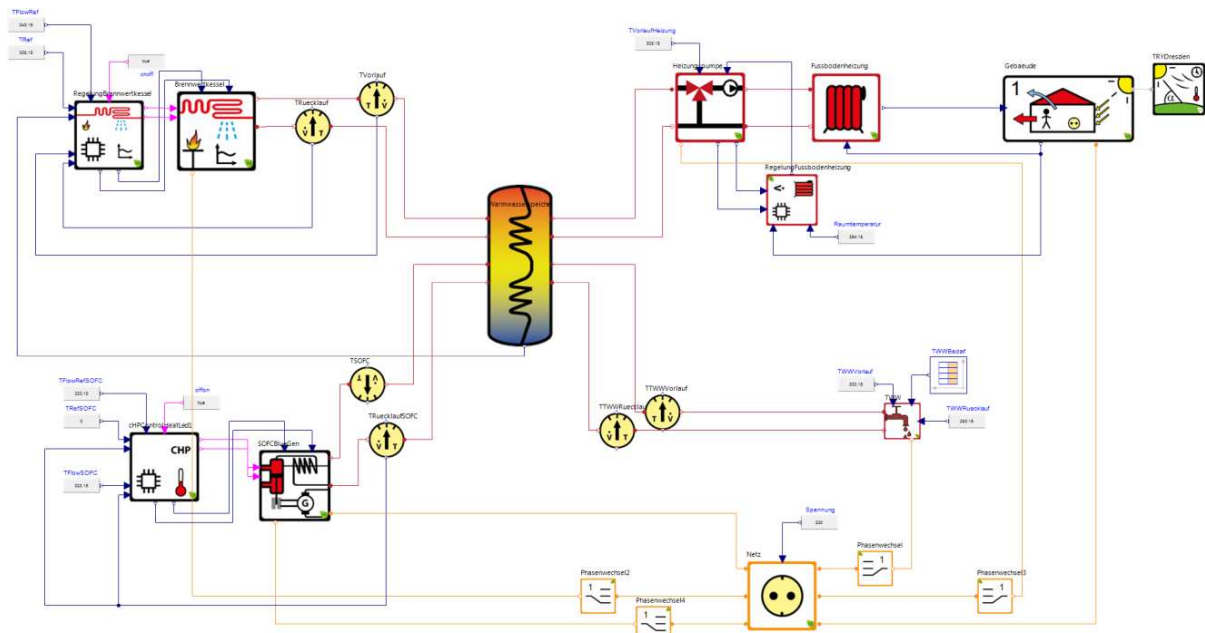


Abbildung 1: Übersicht auf das Simulationsmodell in Simulation X

MODELLIERUNG UND SIMULATION

Für das Gebäude und seine Technik müssen Randbedingungen festgelegt und Annahmen getroffen werden, um dieses mit der modelica basierten Simulationssoftware SimulationX und der GreenBuilding Bibliothek darzustellen zu können. Im Folgenden wird das Modell beschrieben, wie es in SimulationX (Abbildung 1) dargestellt ist. Die Simulation wurde sekundenweise ausgeführt. Die Daten werden jedoch nur in 15 Minuten Schritten protokolliert. Es wird der CVODE-Solver bei den Berechnungen genutzt.

Gebäude

Als Gebäude habe wurde ein modernes zweistöckiges Einfamilienhaus nach EnEV 2009 gewählt und als ein 1-Zonen-Modell mit Flachdach erstellt. Das Haus hat eine Grundfläche von 69 m². Die Fläche der Wände wurde mit insgesamt 183,8 m² angenommen und hat einen U-Wert von 0,15 W/m²K. Die Verluste durch Wärmebrücken werden mit zusätzlichen 0,03 W/m²K angenommen. Die Fenstereigenschaften wurden auf Energieeffizienz optimiert. Deshalb wurden die Nord- und Ostseite auf Kosten der solaren Erträge besser isoliert, die bei diesen Orientierungen sowieso nicht hoch ausfallen würden. Die Fensterfläche umfasst ca. 7 m² bei einem U-Wert von 0,81 W/m²K und g-Wert von 0,5. Die großflächigen Fenster von insgesamt 40,8 m² mit einer Süd und West Orientierung hingegen sind weniger gut isoliert (1 W/m²K), jedoch erlauben sie eine bessere Nutzung der solaren Strahlung (g-Wert = 0,63). Die Wärmeübergangskoeffizienten wurden innen mit

7,7 W/m²K und außen mit 25 W/m²K angenommen. Das Flachdach hat entsprechend der Grundfläche 69 m² und einen U-Wert von 0,15 W/m²K. Das Simulationsprogramm berücksichtigt auch die Innere Masse. Sie wird hier insgesamt mit 13,8 m³ angenommen bei einer Dichte von 1800 kg/m³. Die Wärmekapazität beträgt 0,92 kJ/kgK. Die Lüftungsverluste werden mit 0,5 1/h angenommen.

Der Gebäudestandort ist Dresden. Es wird der Datensatz des Test Reference Years genutzt, dass von ITI im GreenBuilding Paket mitgeliefert wird.

Strom

Der Stromverbrauch des Einfamilienhauses wird über das Standardlastprofil des BDEW für Haushalte berechnet.

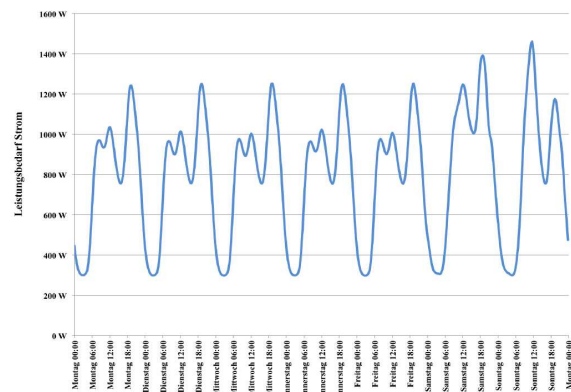


Abbildung 2: Das Standardlastprofil einer Woche (Heuwieser, 2014)

Dieses Standardlastprofil hat eine 15-minütige Auflösung und ist auf einen Jahresverbrauch von 1.000 kWh genormt. Der Strombedarf des 4-Personen Haushalts wird wieder nach VDI-Richtlinie 4655 bestimmt (VDI, 2008). Diese gibt für einen 4-Personen (4x1750kWh/a) Haushalt einen Jahresverbrauch von 7.000 kWh an. Die benötigte Leistung nach dem Standardlastprofil wird also mit dem Faktor 7 multipliziert und an die einzelnen Wochentage angepasst. In Abbildung 2 ist der Verlauf des Strombedarfs über alle Wochen im Jahr gemittelt gezeigt.

Anwesenheit

Für die Personen im Haus wird ein Anwesenheitsprofil angelegt, welches zwischen Wochentagen, Samstagen und Sonntagen unterscheidet. Die Auflösung ist 30 min genau. Es wird eine 4-köpfige Familie, 2 Erwachsene, 2 Kinder, angenommen. Das Profil ist in Abbildung 3 dargestellt.

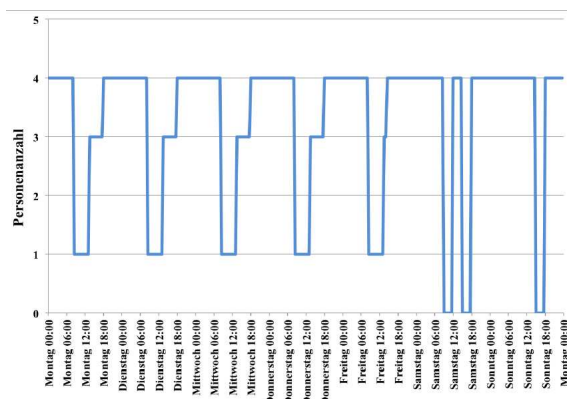


Abbildung 3: Anwesenheitsprofil des Einfamilienhauses

Für die einzelnen Personen wird dabei eine durchschnittliche Wärmeabgabe von 100 W angenommen.

Heizung

Das Gebäude wird mit einer Fußbodenheizung erwärmt. Die Heizfläche wird mit der doppelten Grundfläche angenommen, so dass bei einer Heizleistung von 35 W/m² insgesamt 4,9 kW entstehen. Die Heizung wird bei einer Vorlauftemperatur von 35°C mit Wasser betrieben (150 l Fassungsvermögen). Die Soll-Raumtemperatur beträgt 21°C. Die Temperatur wird über eine Steuerungshysterese von – 2 K geregelt.

Warmwasser

Der Warmwasserbedarf wurde aus Heuwieser (Heuwieser, 2014) übernommen. Die Modellierung des Warmwasserbedarfs orientiert sich an der VDI Richtlinie 4655 (VDI, 2008). Diese gibt für eine 4-köpfige Familie einen Warmwasserbedarf von 2.000 kWh/a an. Die Verteilung dieser Wärmemenge

auf die einzelnen Tage wird für die Simulation gegenüber der Richtlinie leicht abgeändert. In der Richtlinie gibt es insgesamt 10 Typtage. Diese werden nach Wintertag, Sommertag sowie Übergangstag mit jeweils einem typischen Werktag und einem typischen Sonntag unterschieden. Für die Winter- und Übergangstage wird darüber hinaus noch zwischen bewölkt und heiter unterschieden. Mit der Richtlinie 4655 lassen sich dann einzelne Tagesverbräuche in kWh berechnen, welche dann auf ein dem jeweiligen Typtag entsprechendes Lastprofil verteilen werden. Das Lastprofil hat eine minutengenau Auflösung. Da dies für Simulation zu aufwendig wäre und eine zu große Datenmenge ergeben würde, werden Vereinfachungen getroffen. Zunächst wird die Anzahl der Typtage auf 6 verringert. Es gibt nur noch Übergangs-, Winter- und Sommertage mit jeweils Werk- und Sonntag. Außerdem wird das minutengenaue Lastprofil auf 15 Minuten Schritte umgewandelt. Die Typtage wurden dann auf das Kalenderjahr 2011 entsprechend verteilt. Als Winter wird dabei die Zeit von Dezember bis Februar verwendet, für den Übergang die Zeit von März bis Mai sowie von September bis November und für den Sommer die Zeit von Juni bis August. Mit diesen Annahmen ergibt sich ein Warmwasserbedarf von insgesamt ca. 1.911 kWh pro Jahr. Für die Simulation wird dabei eine Warmwassertemperatur von 60°C angenommen. Diese ist nach DVGW-Arbeitsblatt W551 (DVGW, 2004) mindestens nötig um einer Legionelleninfektion vorzubeugen. Die Temperatur des Kaltwassers wird mit 10°C angenommen. Dann lässt sich der Volumenstrom bestimmen, der zur Erstellung des Zapfprofils nötig ist.

Speicher

Der Speicher wird von der Brennstoffzelle und dem Spitzenlastkessel gespeist und von der Trinkwarmwasserzapfung sowie der Heizung genutzt. Es handelt sich also um einen Kombispeicher. Das Trinkwarmwasser wird im Durchlauf erwärmt. Die Brennstoffzelle hat ihre Anschlüsse am unteren Ende des 750 l Speichers. Der Rücklauf ist an der untersten Schicht anschlossen, um die geringste Temperatur aus dem Speicher zu liefern, damit die Brennstoffzelle die maximale thermische Leistung bringen kann. Der Kessel speist wie üblich an oberen Punkten in den Tank ein. Das Trinkwarmwasser wird am höchsten Punkt aus dem Tank entnommen. Das kalte Frischwasser wird am untersten Punkt eingespeist. Die Fußbodenheizung hat entsprechend ihres Temperaturniveaus ihre Anschlüsse in der Mitte des Speichers. Der Speicher wird mit 10 Temperaturschichten simuliert. Bei der Simulation werden insgesamt Wärmeverluste über die Dämmung, Wärmeübertragung zwischen benachbarten Schichten, sowie die Auftriebskraft aufgrund der Tempe-

raturunterschiede berücksichtigt (ITI, 2013). Die Solltemperatur des Speichers in den oberen Schichten beträgt 63°C. Die Umgebungstemperatur des Speichers wird mit konstant 18°C und die Verlustleistung mit 1 W/K angenommen.

Brennstoffzelle

Die Brennstoffzelle wird mit Erdgas betrieben. Sie kann nicht moduliert werden und wird nicht ausgeschaltet. Deshalb erzeugt sie durchgängig eine elektrische Leistung von 1,5 kW_{el}. Die Wärme wird mit einem konstanten Volumenstrom von 120 l/h an den Speicher geliefert. Für diesen Durchfluss liegen auch die Daten zur Brennstoffzelle vor. Sie geben die Wärmeleistung (Abbildung 4) abhängig von der Rücklauftemperatur (T_{Rück}) an. Die Formel für die thermische Leistung (P_{th}) ist in Gleichung 1 (Sommer, 2013) dargestellt.

$$P_{th} = -0,3205 \cdot T_{Rück}^2 + 3,8134 \cdot T_{Rück} + 863,05 \text{ [W]} \quad (1)$$

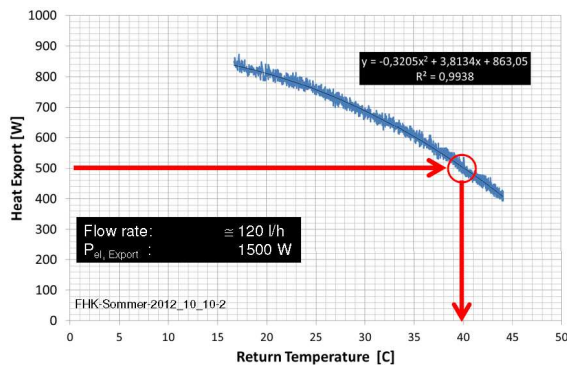


Abbildung 4: Wärmeleistung der Brennstoffzelle in Abhängigkeit von der Rücklauftemperatur (Sommer, 2013)

Die geringe thermische Leistung der Brennstoffzelle erwärmt das Wasser nur leicht.

Spitzenlastkessel

Der Brennwertkessel (BWK) leistet 13 kW. Der Jahresnutzungsgrad liegt bei 96 %. Der BWK wird so modelliert, dass er ausgeschaltet wird, sobald die Temperatur der des Vorlaufs über 83°C liegt oder die Temperatur des Rücklaufs auf über 60°C ansteigt. Die Durchflussmenge wird über die Vorlauftemperatur geregelt. Ist diese drei oder mehr Grad höher als die Referenztemperatur von 70°C, so wird die Anlage mit maximaler Durchflussmenge von 3 m³/h betrieben. Ist die Vorlauftemperatur 10 Grad oder mehr kälter als die Referenztemperatur von 70°C, so wird die Anlage mit minimaler Durchflussmenge von 0,9 m³/h betrieben. Für Temperaturen zwischen 60°C und 73°C wird der Durchfluss linear interpoliert.

ERGEBNISSE

Wärme

Die Simulation errechnet für das Einfamilienhaus einen Heizungswärmebedarf von 6.425 kWh und einen Warmwasserbedarf von 1.903 kWh im Jahr. Insgesamt ist dies ein Wärmebedarf von 8.328 kWh.

Tabelle 1: Wärmebedarf des Einfamilienhauses

LAST	VERBRAUCH [kWh]	ANTEIL [%]
Heizung	6.425	74
Warmwasser	1.903	26
Gesamt	8.328	100

Betrachtet man nun die Erzeugerseite, dann wird der Hauptteil des Wärmebedarfs vom „Spitzenlastkessel“ mit seinem dazugehörigen Nutzungsgrad erzeugt. Die Brennstoffzelle als KWK-Anlage produziert lediglich 1.680 kWh Wärme. Dies sind lediglich 19 % der benötigten Wärme. Rechnet man die Jahreswärmeenergie in eine Wärmeleistung bei kontinuierlichem Betrieb um, dann erhält man eine durchschnittliche thermische Leistung der Brennstoffzelle von nur ca. 200 W. Damit spielt die Brennstoffzelle bei der Wärmeerzeugung eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 2: Wärmeerzeugung des Einfamilienhauses

ERZEUGER	ERZEUGUNG [kWh]	ANTEIL [%]
Brennwertkessel	6.993	81
Brennstoffzelle	1.680	19
Gesamt	8.673	100

Die von der SOFC gelieferten 19 % der Gesamtwärme bedeutet auch eine Einsparung von 19 % im Gasverbrauch der Brennwerttherme. Zusammenfassend wurde in Abbildung 5 die kumulierte Energie über ein Jahr im Haus dargestellt. Die geringe Wärmeleistung der Brennstoffzelle wird in Abbildung 6 dargestellt. Es fällt auf, dass am Anfang und am Ende des Jahres dauerhaft eine thermische Leistung von über 0,4 kW erzeugt werden kann. Im Sommer hingegen kann keine oder nur kurzzeitig bis zu 0,3 kW_{th} genutzt werden. Die thermische Leistung der SOFC korreliert offensichtlich mit der Heizperiode. Muss das Gebäude geheizt werden, dann kann mehr Wärme aus der Brennstoffzelle genutzt werden, als wenn nur Trinkwarmwasser bereitgestellt wird.

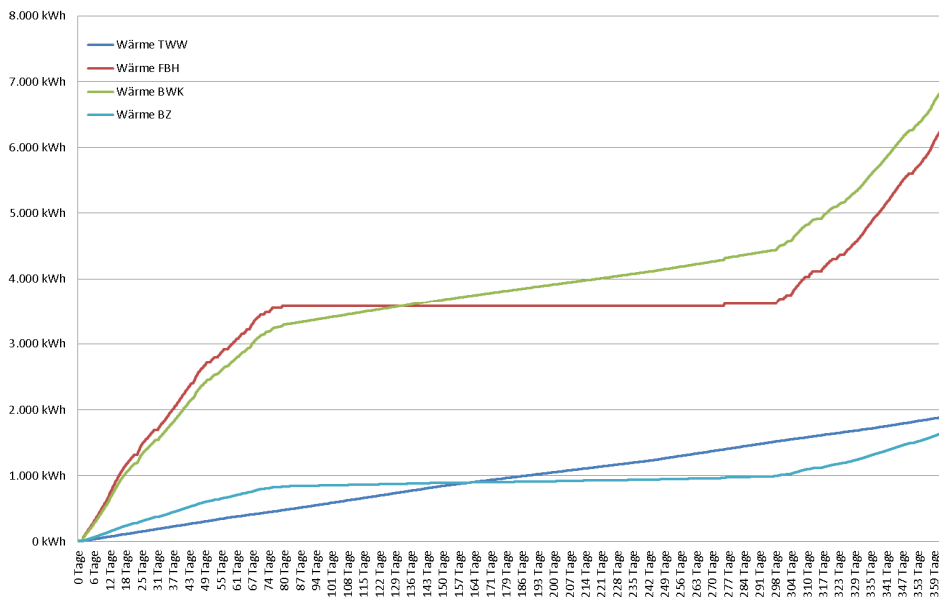


Abbildung 5: Verlauf der Wärmebereitstellung und des -Verbrauchs über ein Jahr

Wird nicht geheizt und keine Wärme aus den mittleren Temperaturschichten entnommen, dann erwärmt die Brennstoffzelle auch die mittleren Schichten so weit, dass sie irgendwann selbst keine Wärme mehr liefern kann. Die geringen Wärmemengen, die die Brennstoffzelle im Sommer liefert, kommen durch das in den Speicher nachfließende kalte Trinkwasser zu Stande. Das Wasser kühlt die unteren Wasserschichten im Speicher und die Brennstoffzelle kann kurzzeitig wieder Wärme liefern.

Strom

Das Haus verbraucht ungefähr die angestrebten 7.000 kWh Strom im Jahr. Die Brennstoffzelle kann sie fast komplett decken, bis auf wenige Kilowattstunden. Dies liegt an zwei Faktoren: Zum einen ist die Brennstoffzelle mit 1,5 kW_{el} Leistung für ein

Einfamilienhaus groß dimensioniert, zum anderen wurde als Lastprofil das Standardlastprofil gewählt.

Tabelle 3: Stromflüsse des Einfamilienhaus

STROM	ENERGIE [kWh]
Bedarf	6.896
Netzbezug	33
Eigenbedarf	6.863
Einspeisung	6.277

Das Standardlastprofil ist aus gemittelten Werten zusammengesetzt und glättet damit Lastspitzen die die Brennstoffzelle unter Umständen nicht mehr hätte decken können.

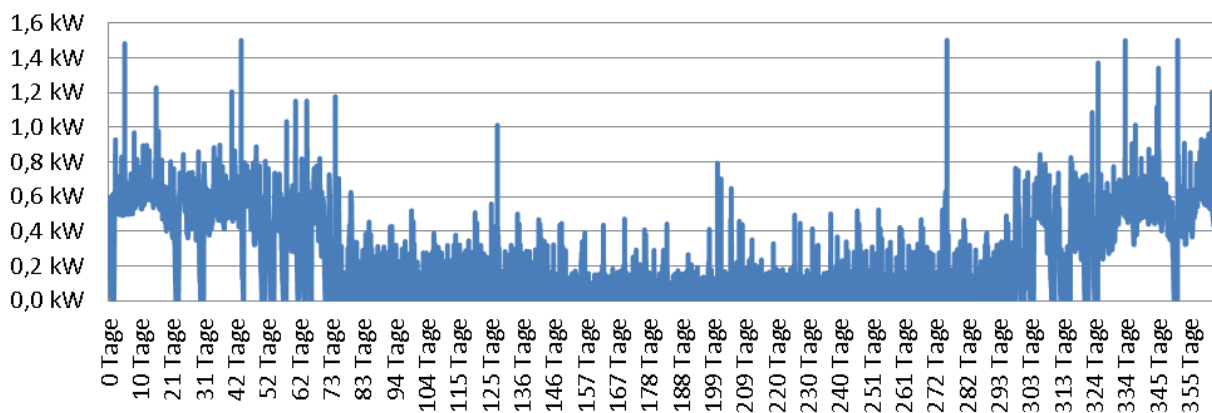


Abbildung 6: Verlauf der Wärmeleistung der SOFC über ein Jahr

Tabelle 4: Stromproduktion der Brennstoffzelle

SOFC	ENERGIE [kWh]	ANTEIL [%]
Eigenverbrauch	6.863	52
Einspeisung	6.277	48
Gesamt	13.140	100

Die von der Brennstoffzelle erzeugte elektrische Energie deckt nicht nur fast den gesamten Strombedarf, sie speist dazu fast noch mal so viel Energie ins Netz ein.

Primärenergetische Betrachtungen

Der Primärenergieverbrauch wurde mit der Formel (2) berechnet. Der Primärenergiefaktor für Strom ist 2,4 und von Gas 1,1 (Bundesregierung, 2013).

$$E_{PE} = f_{GAS} * (E_{GAS, BWK} + E_{GAS, SOFC}) - f_{Strom} * E_{EL, SOFC} \quad (2)$$

Damit errechnet sich ein Primärenergieverbrauch von 2 kWh/m²a. Dies liegt vor allem an hohen Primärfaktor von Strom.

Tabelle 5: Primärenergieverbrauch

VARIANTE	PRIMÄRENERGIE [kWh/(m ² a)]
EFH mit SOFC	2
EFH ohne SOFC	70

Zum Vergleich wurde der Primärenergiefaktor ohne Brennstoffzelle berechnet. Dafür wurde angenommen, dass die gesamte Wärme mit dem Brennwertkessel zur Verfügung gestellt wurde. Dann erhält man einen üblichen Wert.

Ökonomische Betrachtungen

Die ökonomische Betrachtung wurde nach dem Annuitätenverfahren nach VDI 2067 (VDI, 2012) durchgeführt. Um die Kosten in Kontext zu stellen, wurde als Vergleich wieder das Haus nur mit einer Brennwerttherme als Wärmequelle genutzt. Die Investitionskosten für die Brennstoffzelle und Speicher liegen nach (Heuwieser, 2014) bei ca. 35.400 € gegenüber 4.900 € für die Gasbrennwerttherme. Das entspricht etwa 3.388 € bzw. 393 € an jährlichen Kapitalkosten (Heuwieser, 2014). Hinzu kommen jährliche betriebsgebundene Kosten für Wartung, Instandhaltung und Gasgrundpreis von 227 € für die Therme und ca. 970 € für die Brennstoffzelle (Heuwieser, 2014). Schließlich kommen noch die bedarfsgebunden Kosten von 1.573 € und 487 € hin zu. Durch den Stromverkauf und Eigennutzung können 3.009 € erwirtschaftet werden.

Damit ist die Brennstoffzelle derzeit nicht wirtschaftlich.

Tabelle 6: Kosten

JÄHRLICHE KOSTEN	EFH MIT SOFC	EFH OHNE SOFC
Kapital	3.388 €	393 €
Bedarf	1.573 €	487 €
Betrieb	970 €	227 €
Erlöse	3.009 €	0 €
Summe	2.922 €	1.107 €

Selbst durch eine verbesserte Wärmenutzung könnte die Brennstoffzelle nicht wirtschaftlich werden. Der entscheidende Hebel sind offensichtlich die Anschaffungskosten der Brennstoffzelle. Diese müssten um rund 50 % sinken, damit das System eine wirtschaftliche Alternative zum Brennwertgerät wäre.

Zusammenfassung

Abschließend lässt sich sagen, dass die Brennstoffzelle nur einen geringen Anteil zur Wärmeversorgung des Gebäudes beitragen kann. Dies beruht vor allem auf der nur geringen Abwärmenutzung im Sommer. Das Haus weißt einen hohen Eigenversorgungsgrad bei der Stromversorgung auf. Dies ist jedoch auch dem verwendeten Stromlastprofil geschuldet. Primärenergetisch ist die Brennstoffzelle vor allem aufgrund der hohen Stromproduktion gegenüber konventionellen Anlagen deutlich überlegen. Letztlich werden aber die hohen Kosten für die Brennstoffzelle die primärenergetischen Vorteile in den Hintergrund rücken. Eine weitere Verbesserung der Wärmenutzung würde den Primärenergieverbrauch noch weiter reduzieren, die Brennstoffzelle aber nicht wirtschaftlich werden lassen. Dafür müssten die Investitionskosten für die Brennstoffzelle stark sinken.

Ausblick

Die Abwärmenutzung der Brennstoffzelle könnte durch ein angepasstes Heizungssystem weiter verbessert werden. Ein solches System müsste vor allem die Abwärmenutzung im Sommer optimieren. Darüber hinaus sollte die Brennstoffzelle auch im dynamischen Betrieb simuliert werden und festgestellt werden, welche Änderungen sich hinsichtlich Wärmeproduktion durch die Brennstoffzelle und die Eigenstromnutzung ergeben. Außerdem sollte auch die Dimensionierung der Brennstoffzelle untersucht werden. Sie sollte so ausgelegt sein, dass der produzierte Strom zum größten Teil im versorgten Objekt genutzt werden kann. Denn jede selbstgenutzt kWh Strom bringt ein Vielfaches an Erlösen.

LITERATUR

- Bundesregierung, 2013. Nichtamtliche Lesefassung zu der am 16.10.2013 von der Bundesregierung beschlossenen, noch nicht in Kraft getretenen Zweiten Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung, Berlin.
- DVGW, 2004. Arbeitsblatt W551, Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn
- Heuwieser, A., 2014. Techno-ökonomische Techno-ökonomische Studie zur Energieversorgung eines Einfamilienhauses mit Hilfe von Simulation X, Technische Universität München.
- ITI, 2013. Library Manual Simulation X, ITI GmbH Dresden.
- Sommer, K., 2013. Moderne Heiztechnik unter Berücksichtigung der Brennstoffzelle, Vortrag VDI-TGA Veranstaltung, Fachhochschule Köln.
- Stinner, S., Müller, D., 2012. Das Powerhaus - Ein Einfamilien als Kühlturm eines hocheffizientes Stromerzeuger, RWTH Aachen University, E.ON Energy Research Center.
- VDI, 2008. Richtlinie 4655: Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- VDI, 2012. Richtlinie 2067: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Grundlagen und Kostenberechnung, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- Winiewska, B., Oschatz, B., 2012. BlueGen energetisch nach EnEV bewerten ,TGA Fachplaner 08/12, Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH, Dresden.