

Schriften zur Finanzwirtschaft

herausgegeben vom
Fachgebiet Finanzwirtschaft/Investition
der
Technischen Universität Ilmenau

Eine Analyse zur Wirtschaftlichkeit von Brennstoffzellen im Privatbereich

Markus Appelt, B.Sc.
Dr. Alexander Fox

Heft 13





Technische Universität Ilmenau

Schriften zur Finanzwirtschaft

Markus Appelt, B.Sc.
Technische Universität Ilmenau
Fachgebiet Finanzwirtschaft/Investition
Postfach 10 05 65
98684 Ilmenau
Tel: ++49 (0)3677 69 4024
Fax: ++49 (0)3677 69 4218
E-Mail: Markus.Appelt@tu-ilmenau.de

Dr. Alexander Fox
Technische Universität Ilmenau
Fachgebiet Finanzwirtschaft/Investition
Postfach 10 05 65
98684 Ilmenau
Tel: ++49 (0)3677 69 4016
Fax: ++49 (0)3677 69 4218
E-Mail: Alexander.Fox@tu-ilmenau.de

Markus Appelt/Alexander Fox:

Eine Analyse zur Wirtschaftlichkeit von Brennstoffzellen im Privatbereich

Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 13, Technische Universität Ilmenau, 2014

ISSN 1615-7656

Eine Analyse zur Wirtschaftlichkeit von Brennstoffzellen im Privatbereich

von

Markus Appelt, B.Sc.
Dr. Alexander Fox

Zusammenfassung:

Brennstoffzellen ermöglichen es, in Brennstoffzellen-Heizgeräten Strom zu erzeugen und gleichzeitig die anfallende Wärme zu nutzen. Im Rahmen dieses Beitrags soll erarbeitet werden, inwieweit im Privatbereich der Einsatz von Brennstoffzellen eine wirtschaftliche Alternative darstellt und welche Perspektiven sich aufzeigen können. Hierzu erfolgt zunächst eine Erläuterung der technologischen und energiewirtschaftlichen Grundlagen sowie der aktuellen gesetzlichen Rahmenbedingungen. Darauf aufbauend wird anhand der Vermögensendwertmethode die Wirtschaftlichkeit eines Brennstoffzellen-Heizgeräts in der Hausenergieversorgung überprüft. Die Untersuchungen werden zeigen, dass sich diese Technologie zum aktuellen Zeitpunkt für einen durchschnittlichen Privathaushalt unter ökonomischen Gesichtspunkten nicht lohnt. Bei der abschließenden Sensitivitätsanalyse wird jedoch deutlich, dass Brennstoffzellen-Heizgeräte bei sinkenden Produktionskosten durch Massenfertigung die Investitionsausgaben erwirtschaften können und somit das Potenzial besitzen, eine wichtige Technologie in der Energieversorgung zu werden.

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	6
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
1 EINLEITUNG	9
2 ENERGIETECHNISCHE GRUNDLAGEN.....	10
2.1 TECHNOLOGIE DER BRENNSTOFFZELLE	10
2.2 ELEKTROCHEMISCHE VORGÄNGE.....	11
2.3 BRENNSTOFFZELLENARTEN	13
2.4 BRENNSTOFFZELLEN-HEIZGERÄTE.....	15
3 ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN	18
3.1 ENTWICKLUNGEN IN DER ENERGIEVERSORGUNG IN DEUTSCHLAND.....	18
3.2 GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN.....	20
3.2.1 Richtlinien zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kW _{el}	20
3.2.2 Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz - KWKG)	21
3.2.3 Steuerliche Rahmenbedingungen.....	22
4 WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE EINES BRENNSTOFFZELLEN- HEIZGERÄTES.....	23
4.1 ERLÄUTERUNGEN DER AUSGANGSDATEN	23
4.1.1 Allgemeines	23
4.1.2 Anschaffungsauszahlung.....	23
4.1.3 Finanzierung und Kapitalanlage.....	24
4.1.4 Ausgaben	24
4.1.5 Einnahmen	24
4.1.6 Besteuerung.....	25
4.2 BERECHNUNG UND ANALYSE DES BASISZENARIOES	25
5 SENSITIVITÄTSANALYSE	30
5.1 ENERGIEBEDARF UND ENERGIEKOSTEN	31
5.1.1 Strombedarf.....	31
5.1.2 Preissteigerung der Rohstoffe	32
5.2 ZINSSATZ	32
5.3 ANSCHAFFUNGSZAHLUNG.....	33
5.3.1 Senkung der Produktionskosten.....	33

5.3.2	Förderungsszenario.....	35
6	FAZIT	38
	ANHANG	39
	LITERATUR	44

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1:</i>	Aufbau einer PEM-Brennstoffzelle.....	10
<i>Abbildung 2:</i>	Elektrochemische Vorgänge in der PEM-Brennstoffzelle	12
<i>Abbildung 3:</i>	Einteilung von Brennstoffzellen für Heizgeräte nach der Arbeitstemperatur	13
<i>Abbildung 4:</i>	Überblick Brennstoffzellenarten für Heizgeräte	15
<i>Abbildung 5:</i>	Blockschaltbild eines Brennstoffzellen-Heizgerätes	16
<i>Abbildung 6:</i>	Daten des Brennstoffzellen-Heizgerätes der Serie BlueGEN	17
<i>Abbildung 7:</i>	Primärenergieverbrauch in Deutschland 2013	18
<i>Abbildung 8:</i>	Entwicklung der Primärenergiegewinnung in Deutschland	19
<i>Abbildung 9:</i>	Eingangsparameter der Wirtschaftlichkeitsrechnung	26
<i>Abbildung 10:</i>	Wirtschaftlichkeitsrechnung	27
<i>Abbildung 11:</i>	Vergleich steuerliche und reale Gewinne der Ertragsarten (alle Angaben in ct/kWh)	28
<i>Abbildung 12:</i>	Gegenüberstellung der Erträge und Aufwendungen.....	29
<i>Abbildung 13:</i>	Zusammensetzung der Erträge	30
<i>Abbildung 14:</i>	Sensitivität des Endwerts auf den jährlichen Stromeigenverbrauch	31
<i>Abbildung 15:</i>	Sensitivität des Endwerts auf die jährliche Energiepreissteigerung.....	32
<i>Abbildung 16:</i>	Sensitivität des Endwerts auf die Anlage- und Kreditzinsen	33
<i>Abbildung 17:</i>	Sensitivität des Endwerts auf den Nettolistenpreis.....	34
<i>Abbildung 18:</i>	Sensitivität des Endwerts auf den Stromeigenverbrauch unter Berücksichtigung des Verkaufspreises	35
<i>Abbildung 19:</i>	Auswirkungen des Förderungsszenarios 1 bezüglich des Stromeigenverbrauchs	36
<i>Abbildung 20:</i>	Auswirkungen des Förderungsszenarios 2 bezüglich des Stromeigenverbrauchs	37
<i>Abbildung 21:</i>	Auswirkungen des Förderungsszenarios 3 bezüglich des Stromeigenverbrauchs	37

Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz
AfA	Absetzung für Abnutzung
AFC	Alkaline Fuel Cell
AG	Aktiengesellschaft
AusgleichMechV	Ausgleichsmechanismusverordnung
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BFH	Bundesfinanzhof
BMG	Bemessungsgrundlage
ca.	circa
ct	Cent
e ⁻	Elektron
€	Euro
e. V.	eingetragener Verein
el	elektrisch
EEX	European Energy Exchange
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EnergieStG	Energiesteuergesetz
EPEX	European Power Exchange
EStG	Einkommensteuergesetz
EU	Europäische Union
f.	folgende
ff.	folgende
FA	Finanzamt
ges	gesamt
H	Wasserstoff
Hrsg.	Herausgeber
ISIN	International Securities Identification Number
i.V.m.	in Verbindung mit
i.d.R.	in der Regel
inkl.	inklusive
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz

MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell
MW	Megawatt
Nr.	Nummer
O ₂	Sauerstoff
OFD	Oberfinanzdirektion
p.a.	per annum, pro anno
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell
PEM	Proton Exchange Membrane
PEMFC	Proton Exchange MembraneFuel Cell
PJ	Petajoule
S.	Seite
SA	Société anonyme
SE	Societas Europaea
SOFC	Solid Oxid Fuel Cell
TA	Technische Anleitung
th	thermisch
UStG	Umsatzsteuergesetz
vgl.	vergleiche
VN	Vermiedene Netzkosten
WG	Wirkungsgrad
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Die durch die deutsche Bundesregierung vorangetriebene Energiewende und der damit verbundene Atomausstieg haben den Stellenwert der alternativen Energieerzeugung in Deutschland erhöht. Eine Herausforderung stellen hierbei die anspruchsvollen Vorhaben im Bereich der zukünftigen Energieversorgung, insbesondere der Emissionssenkung und der Energieeffizienz, dar.¹ Eine Möglichkeit zur Erreichung dieser Ziele besteht in der Kraft-Wärme-Kopplung² und in diesem Zusammenhang in der Technologie der Brennstoffzellen, mit welcher in Brennstoffzellen-Heizgeräten Strom erzeugt und gleichzeitig die anfallende Wärme genutzt werden kann. Damit verbunden ist eine Energieumwandlung bei hohen Wirkungsgraden (WG).³ Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, zu untersuchen, inwieweit der Einsatz von Brennstoffzellen unter den aktuellen Rahmenbedingungen eine wirtschaftliche Alternative darstellt und welche Perspektiven sich aufzeigen. Zunächst erfolgt dazu eine Erläuterung der technologischen Grundlagen der Brennstoffzelle und ihrer verschiedenen Arten. Danach werden relevante energiewirtschaftliche Zusammenhänge und ihr Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsanalyse beleuchtet. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen erfolgt eine beispielhafte Berechnung der Wirtschaftlichkeit eines Brennstoffzellen-Heizgerätes in der Hausenergieversorgung mit Hilfe der Vermögensendwertmethode, wobei zusätzlich eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt und verschiedene Alternativszenarien untersucht werden, um eine sachgemäße Interpretation der Ergebnisse zu ermöglichen. Abschließend sollen Szenarien entwickelt werden, die Auswirkungen unterschiedlicher Ansätze der Förderung der Brennstoffzellentechnologie aufzeigen. Alle Betrachtungen bezüglich gesetzlicher Regelungen und der Marktpreise beziehen sich, sofern nicht anderweitig angegeben, auf den 01.01.2014.

¹ Vgl. für einen entsprechenden Überblick die Informationsseite zur Energiewende der deutschen Bundesregierung, verfügbar unter: <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/0-Buehne/ma%C3%9Fnahmen-im-ueberblick.html;jsessionid=CE79F43E20F8A98DF0367E3F31F74EED.s2t1> (Abruf am 04.11.2014).

² Gemäß § 3 Abs. 1 KWKG handelt es sich bei der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) um „die gleichzeitige Umwandlung von eingesetzter Energie in elektrische Energie und in Nutzwärme in einer ortsfesten technischen Anlage. Als ortsfest gilt auch eine Anlage, die zur Erzielung einer höheren Auslastung für eine abwechselnde Nutzung an zwei Standorten errichtet worden ist.“ Gemäß § 3 Abs. 2 KWKG stellen KWK-Anlagen „Feuerungsanlagen mit Dampfturbinen-Anlagen (Gegendruckanlagen, Entnahme- und Anzapfkondensationsanlagen) oder Dampfmaschinen, Gasturbinen-Anlagen (mit Abhitzeessel oder mit Abhitzeessel und Dampfturbinen-Anlage), Verbrennungsmotoren-Anlagen, Stirling-Motoren, ORC (Organic Rankine Cycle)-Anlagen sowie Brennstoffzellen-Anlagen, in denen Strom und Nutzwärme erzeugt werden“, dar.

³ Vgl. Krewitt/Pehnt/Fischedick/Temming (2004), S. 16; Kurzwil (2013), S. 13.

2 Energietechnische Grundlagen

2.1 Technologie der Brennstoffzelle

Das Prinzip der Brennstoffzelle ist bereits seit dem 19. Jahrhundert bekannt, als es von Friedrich Schönbein und William R. Grove im Jahr 1840 entdeckt wurde.⁴ Eine Brennstoffzelle stellt einen elektrochemischen Energiewandler dar, welcher die chemische Energie eines stetig zugeführten Brennstoffes und eines Oxidationsmittels direkt in elektrische Energie umwandelt.⁵ Abbildung 1 veranschaulicht den prinzipiellen Aufbau am Beispiel einer Proton Exchange Membrane-Brennstoffzelle (PEM-Brennstoffzelle):

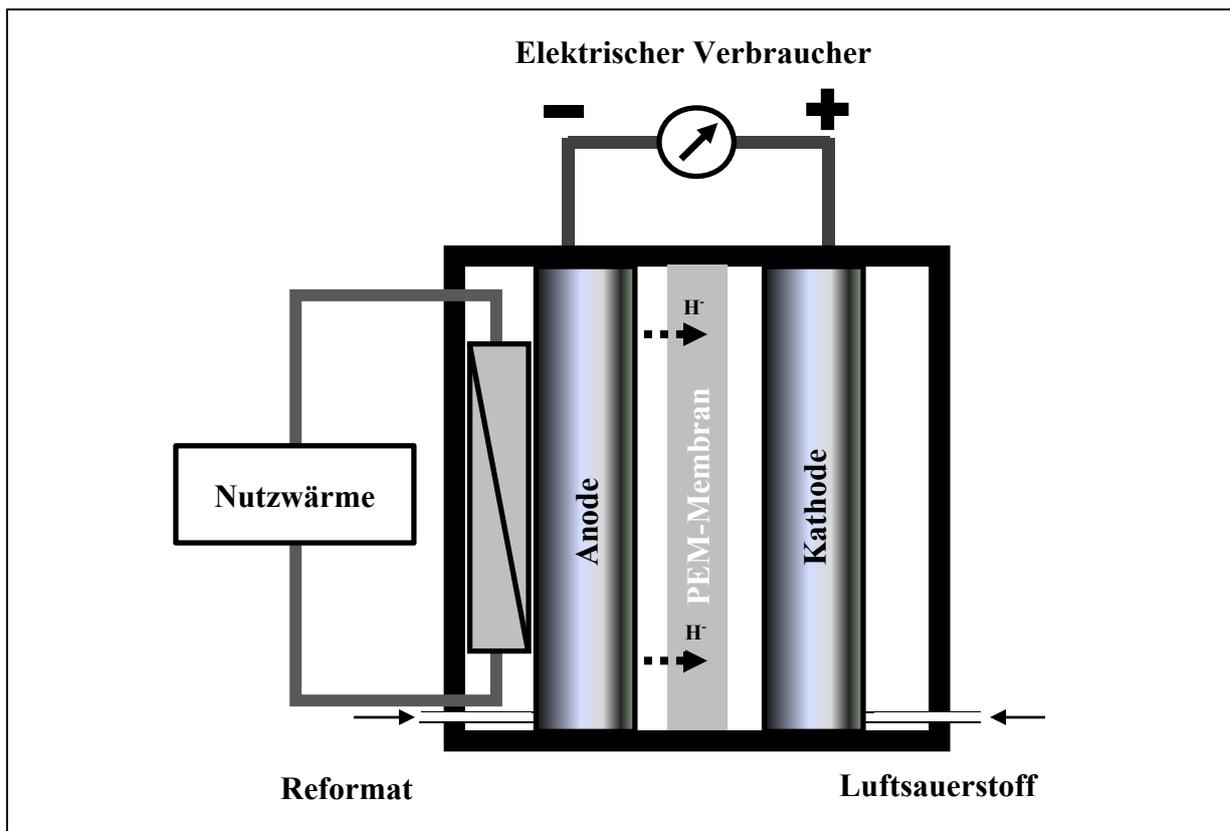


Abbildung 1: Aufbau einer PEM-Brennstoffzelle

Quelle: Thomas (2011), S. 66

Eine PEM-Brennstoffzelle besteht aus zwei Elektroden, welche durch eine Polymermembran als Elektrolyt⁶ voneinander getrennt und elektrisch über einen angeschlossenen Verbraucher miteinander verbunden sind.⁷ Dem Anodenbereich (Pluspol) wird der Brennstoff und dem Kathodenbereich (Minuspol) der Sauerstoff zugeführt, infolgedessen an der Grenzfläche zwischen Elektrode und Elektrolyt (hier: PEM-

⁴ Vgl. Kurzweil (2013), S. 3. Entscheidende Impulse zur Entwicklung der Technologie gab es im Bereich der Rüstung und Raumfahrt zu Beginn der 1960er-Jahre; vgl. dazu z.B. Karamanolis (2003), S. 16 f.

⁵ Vgl. Kurzweil (2013), S. 3; Watter (2013), S. 290.

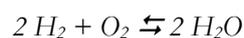
⁶ Ein Elektrolyt ist ein elektrisch leitender Stoff, der sich aus positiven und negativen Ionen zusammensetzt; vgl. Hering/Martin/Stohrer (2012), S. 293.

⁷ Vgl. Winkler (2002), S. 4; Karl (2012), S. 239.

Membran) stromerzeugende Reaktionen ablaufen.⁸ Um diese Reaktionen zu beschleunigen, erfolgt i.d.R. eine Erweiterung der Elektroden um zusätzliche Katalysatoren.⁹ Bei den verschiedenen Anwendungsformen sind die Brennstoffzellen regelmäßig zu Stapeln (Stacks) zusammengesetzt, mit denen Versorgungseinheiten verschiedenster Leistungsstärken umgesetzt werden können. Dabei sind die Zellen entweder in Reihe oder parallel geschaltet, was eine Vergrößerung der Spannung bzw. der Stromstärke zur Folge hat.¹⁰ Aus den genannten Eigenschaften resultieren verschiedene Vorteile, welche im Folgenden kurz beleuchtet werden sollen. So besitzt eine Brennstoffzelle nur wenige bewegliche Teile, wodurch ein geringer Wartungsaufwand nötig ist. Ebenso verlaufen die Prozesse frei von Schadstoffen und Lärm und bei Wasserstoff als Brennstoff auch frei von CO₂-Emissionen.¹¹ Da Brennstoffzellen nicht zu den Kraftmaschinen zählen, sind sie nicht an den Carnot'schen Wirkungsgrad¹² gebunden. Stattdessen ist ihr theoretischer Wirkungsgrad ausschließlich abhängig von der brennstoffspezifischen freien Reaktionsenthalpie.¹³ Diese korreliert mit dem unteren Heizwert, sodass sich bei einer Wasserstoff-Sauerstoff-Zelle ein idealer elektrischer Wirkungsgrad von 94,5 % ergibt.¹⁴ Dieser Wert sinkt mit zunehmender Temperatur.¹⁵ In diversen Anwendungen, wie z.B. dem Brennstoffzellen-Heizgerät, wird zusätzlich die bei der Reaktion anfallende Wärmeenergie genutzt. Der Gesamtwirkungsgrad eines solchen Brennstoffzellensystems setzt sich somit aus einer elektrischen und einer thermischen Komponente zusammen.¹⁶

2.2 Elektrochemische Vorgänge

Um ein umfassendes Verständnis für die Vorgänge innerhalb der Brennstoffzelle zu entwickeln, bedarf es einiger elementarer Kenntnisse der Elektrochemie. Den Ausgangspunkt der Betrachtungen bildet der reversible Brennstoffzellenprozess, welcher durch folgende Gleichung ausgedrückt wird:¹⁷



Die Gleichung beschreibt die Verbrennung von Wasserstoff H_2 , bei der zwei Moleküle Wasserstoff mit einem Molekül Sauerstoff O_2 zu zwei Molekülen Wasser H_2O reagieren. Dieser Vorgang wird auch als „Stille Verbrennung“ bezeichnet, basierend auf der Tatsache, dass die Reaktion weder mit offener Flamme noch explosionsartig erfolgt. Dabei wird die im Wasserstoff gespeicherte chemische Energie direkt in elektrische Energie umgesetzt. Die Reaktionsenergie entspricht dabei der Änderung der freien Enthalpie. In der praktischen Anwendung wird der theoretische Wirkungsgrad von 94,5 % um Wärmeverluste aus

⁸ Vgl. Kurzweil (2013), S. 3.

⁹ Vgl. Kurzweil (2013), S. 7.

¹⁰ Vgl. Karamanolis (2003), S. 30 f.; Lehnert/Wannek/Zeis (2010), S. 66 ff.

¹¹ Vgl. z.B. Eichlseder/Klell (2012), S. 219 f.

¹² Der Carnot'sche Wirkungsgrad ist der höchste theoretisch mögliche Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie. Er ist von den Prozesstemperaturen abhängig und wird somit durch diese begrenzt; vgl. Quaschnig (2013), S. 153.

¹³ Die freie Enthalpie ist die Verbrennungswärme des Brennstoffs; vgl. dazu Kurzweil (2013), S. 19.

¹⁴ Vgl. Hering/Martin/Stohrer (2012), S. 305.

¹⁵ Vgl. Kurzweil (2013), S. 19; Karamanolis (2003), S. 32.

¹⁶ Vgl. Karamanolis (2003), S. 32; Karl (2012), S. 242 ff.

¹⁷ Vgl. Winkler (2002), S. 6 f.; Stan (2012), S. 280.

Überspannungen reduziert.¹⁸ Die Gründe hierfür liegen in langsamen Elektrodenvorgängen, welche den Stromfluss behindern.¹⁹

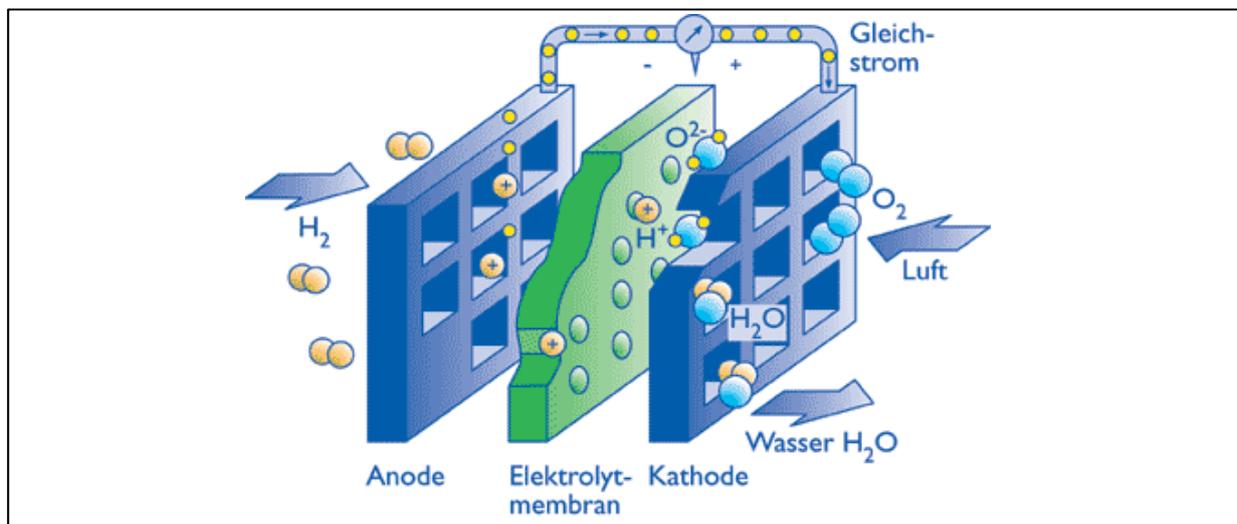


Abbildung 2: Elektrochemische Vorgänge in der PEM-Brennstoffzelle

Quelle: Paulus (2013), S. 30

Abbildung 2 illustriert diesen Vorgang am Beispiel der PEM-Brennstoffzelle. An der Anode wird der zugeführte Wasserstoff unter Abgabe von Elektronen in positiv geladene Wasserstoff-Ionen (Protonen) gespalten. Gleichzeitig wird der Kathode Sauerstoff zugeleitet. Zwischen den beiden Elektroden befindet sich ein Elektrolyt, welcher sowohl für die Gase Wasserstoff und Sauerstoff als auch für die Elektronen e^- hermetisch ist.²⁰ Der verwendete Elektrolyt stellt das Hauptdifferenzierungsmerkmal der verschiedenen Zellenarten dar und kann u. a. durch Polymermembranen, Keramiken oder Phosphorsäure realisiert werden.²¹ Die freigesetzten Elektronen sind somit gezwungen, über den elektrischen Verbraucher einen alternativen äußeren Zweig zu verfolgen. Nachdem die Elektronen die Kathode erreicht haben, entsteht durch verschiedene Reaktionen Wasser.²² Die Reaktionen werden unter Zuhilfenahme eines Katalysators durch Senkung der Aktivierungsenergie erheblich beschleunigt.²³ Aufgrund der stark sauren Umgebung bedarf es hierbei extrem korrosionsbeständiger Werkstoffe. Edelmetalle und deren Legierungen werden diesen Anforderungen gerecht, sind jedoch auch sehr kostenintensiv, sodass in diesem Bereich noch weiterer Forschungsaufwand nötig ist. Ferner ist zu beachten, dass zahlreiche Katalysatoren durch die in den Brennstoffen auftretenden Sulfate, Carbonate und Nitrate stark verunreinigt werden und somit die Leistungsfähigkeit der Brennstoffzelle sinkt. Entsprechende Reformer wirken diesem Prozess entgegen.²⁴ Theoretisch

¹⁸ Vgl. Kurzweil (2013), S. 17; Karl (2012), S. 255.

¹⁹ Vgl. dazu z.B. Kurzweil (2013), S. 27.

²⁰ Vgl. Thomas (2011), S. 65 ff.; Kurzweil (2013), S. 35 ff.

²¹ Vgl. Winkler (2002), S. 4.

²² Vgl. zu den chemischen Reaktionen z.B. Thomas (2011), S. 65 ff.; Eichlseder/Klell (2012), S. 222.

²³ Vgl. z.B. Kurzweil (2013), S. 45.

²⁴ Vgl. Kurzweil (2013), S. 117 f.; Jörissen/Garcke (2014), S. 250 f. sowie zum Reformierungsprozess z.B. Karamanolis (2003), S. 118 ff.

lassen sich mit einer Brennstoffzelle unter idealen Bedingungen Zellspannungen von 1,23 Volt generieren, welche jedoch infolge der Oberflächenprozesse an den Elektroden unter Stromfluss im Bereich von 0,6 - 0,75 Millivolt liegen.²⁵ Um höhere Leistungen zu erzielen, werden die Zellen mittels Bipolarplatten zu Stapeln (Stacks) seriell verschaltet. Diese nehmen dabei den größten Anteil des Gewichts ein, sodass in der Senkung des Materialgewichtes ein hohes Kosteneinsparpotenzial besteht.²⁶

2.3 Brennstoffzellenarten

Brennstoffzellen werden nach der Arbeitstemperatur in Nieder-, Mittel- und Hochtemperaturbrennstoffzellen unterteilt:²⁷

	Niedertemperatur	Mitteltemperatur	Hochtemperatur
Temperaturbereich	60...200°C	ca. 650°C	750...1.000°C
Vertreter	Alkaline Fuel Cells (AFC), Phosphoric Acid Fuel Cells (PAFC), Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC)	Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)	Solid Oxide Fuel Cells (SOFC)

Abbildung 3: Einteilung von Brennstoffzellen für Heizgeräte nach der Arbeitstemperatur

Quelle: Eichlseder/Klell (2012), S. 230

Im folgenden Abschnitt werden Typen von Brennstoffzellen vorgestellt und hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Verwendbarkeit in einem Brennstoffzellen-Heizgerät differenziert.

a) *Alkaline Fuel Cells (AFC)*

Alkalische Brennstoffzellen werden im Niedertemperaturbereich zwischen 60°C und 80°C betrieben und benutzen eine konzentrierte Kalilauge als Elektrolyten. Alkalische Elektrolyten beschleunigen die Sauerstoffreduktion, sodass mit dieser Technologie die größten Wirkungsgrade erzielt werden können.²⁸ Weiterhin sind alkalische Brennstoffzellen einfach aufgebaut und sehr robust. Die AFC sind in hohem Maße anfällig für Verschmutzungen, vor allem durch Kohlenstoffdioxid, wodurch sich Karbonate bilden, welche die Poren der Elektrode verstopfen und die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems senken.²⁹ Aus diesem Grund sind alkalische Brennstoffzellen für eine Verwendung im Brennstoffzellen-Heizgerät ungeeignet, da deren geringe Lebensdauer eine hohe Störanfälligkeit und somit einen enormen Wartungsaufwand zur Folge hätte. Stattdessen werden AFC im Bereich der Raumfahrt und in U-Booten eingesetzt, also dort, wo kein Luftsauerstoff benutzt werden kann.³⁰

²⁵ Vgl. Jörissen/Garche (2014), S. 242.

²⁶ Vgl. auch Eichlseder/Klell (2012), S. 228 f.

²⁷ Vgl. Karl (2012), S. 238 f.; Kurzweil (2013), S. 5.

²⁸ Vgl. Kurzweil (2013), S. 56.

²⁹ Vgl. Eichlseder/Klell (2012), S. 231 f.; Karl (2012), S. 238.

³⁰ Vgl. dazu ausführlich z.B. Kurzweil (2013), S. 65 ff.

b) *Phosphoric Acid Fuel Cells (PAFC)*

Phosphorsaure Brennstoffzellen gehören ebenso zu den Niedertemperaturzellen³¹ und sind technologisch bereits sehr weit entwickelt. Phosphorsäure übernimmt die Aufgabe des Elektrolyten, wodurch hohe Anforderungen an die Materialien gestellt werden. PAFC sind nahezu unempfindlich gegenüber Verunreinigungen.³² Es existieren bereits zahlreiche Kraftwerke, deren Anlagenleistung bis zu 11 MW betragen³³ und deren Entwicklungsstand relativ hoch ist.³⁴ Wahrscheinlich wird sich die Technologie der PAFC im Bereich der Hausenergieversorgung jedoch nicht durchsetzen, da lange Startphasen und hohe Materialkosten verbunden mit nahezu erschöpften Kosteneinsparpotenzialen einen wirtschaftlichen Betrieb solcher Brennstoffzellen-Heizgeräte nur schwer ermöglichen.³⁵

c) *Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC)*

Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen stellen einen weiteren Vertreter im Bereich der Niedertemperaturzellen dar. Sie verwenden dabei eine feste, nicht korrosive Polymermembran als Elektrolyten.³⁶ PEMFC finden sich in den verschiedensten Anwendungen wieder, so etwa in Mobilfunktelefonen, aber auch in Antriebstechnologien in der Automobilbranche.³⁷ Ebenso erweisen sich die PEMFC als eine Schlüsseltechnologie im Bereich der Brennstoffzellen-Heizgeräte. Eine hohe Leistungsdichte, verbunden mit schnellen Start- und Abschaltzeiten sowie eine lange Lebensdauer sprechen für ein großes Markteintrittspotenzial. Jedoch sind die PEMFC anfällig gegenüber Verschmutzungen von Karbonaten und Schwefelverbindungen, sodass es umfangreicher Reformierungsprozesse bedarf, welche wiederum sehr kostenintensiv sind.³⁸

d) *Solid Oxide Fuel Cells (SOFC)*

Oxidkeramische Brennstoffzellen sind Hochtemperaturzellen, welche im Temperaturbereich zwischen 750°C und 1.000°C betrieben werden. Diese Technologie unterscheidet sich von den anderen vor allem durch die Verwendung eines festen keramischen Werkstoffes als Elektrolyten.³⁹ SOFC gelten als zweite Schlüsseltechnologie zur Markteinführung von Brennstoffzellen-Heizgeräten. Ebenso wird ihnen die Chance eingeräumt, eine tragende Rolle bei Kraftwerken mit mittleren und hohen Anlagenleistungen zu spielen. Sie verfügen über den enormen Vorteil, dass das Brenngas zellintern reformiert wird und somit ein aufwendiger Reinigungsprozess erspart bleibt. Zudem besitzen sie einen einfachen Systemaufbau und

³¹ Die Arbeitstemperatur liegt bei ca. 200 °C.

³² Vgl. Watter (2013), S. 297; Kurzweil (2013), S. 143.

³³ Vgl. dazu z.B. Karamanolis (2003), S. 71; Kurzweil (2013), S. 155.

³⁴ Vgl. Krewitt/Pehnt/Fischedick/Temming (2004), S. 41.

³⁵ Vgl. z.B. Eichlseder/Klell (2012), S. 236; Krewitt/Pehnt/Fischedick/Temming (2004), S. 41.

³⁶ Vgl. Krewitt/Pehnt/Fischedick/Temming (2004), S. 40; Eichlseder/Klell (2012), S. 232.

³⁷ Vgl. Eichlseder/Klell (2012), S. 239 ff.; Kurzweil (2013), S. 79.

³⁸ Vgl. Krewitt/Pehnt/Fischedick/Temming (2004), S. 40 f.; Karl (2012), S. 239 f.

³⁹ Vgl. Krewitt/Pehnt/Fischedick/Temming (2004), S. 42; Eichlseder/Klell (2012), S. 238; Kurzweil (2013), S. 175 f.

eine hohe Lebensdauer.⁴⁰ Des Weiteren sind sie äußerst robust. Forschungsbedarf besteht allerdings noch in der Optimierung der Start-Stopp-Zyklen.⁴¹

In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten Erkenntnisse der für ein Brennstoffzellen-Heizgerät sinnvollen Technologien darstellt:

	PAFC	PEMFC	SOFC
Elektrolyt	Phosphorsäure	Polymermembran	Oxidkeramik
Betriebstemperatur	160-220 °C	50-180 °C	750-1.000 °C
Vorteile	unempfindlich gegen Verunreinigungen	kurze Start-Stopp-Zyklen, robust, lange Lebensdauer	unempfindlich gegen Verunreinigungen, einfache Brenngasaufbereitung, sehr robust
Nachteile	kostenintensive Materialien mit geringem Einsparpotenzial	Empfindlichkeit gegen Verunreinigungen	lange Start-Stopp-Zyklen
WK (el)	40 %	25-40 %	55-60 %

Abbildung 4: Überblick Brennstoffzellenarten für Heizgeräte

Quelle: Thomas (2011), S. 68

Der aktuelle Stand der Forschung zeigt, dass SOFC und PEMFC die aussichtsreichsten Technologien zur Markteinführung von Brennstoffzellen-Heizgeräten darstellen. Ein Vergleich der verwendeten Brennstoffzellenart in den Geräten vieler großer deutscher Hersteller bestätigt diese Einschätzung.⁴² Im Rahmen dieser Arbeit soll beispielhaft ein Brennstoffzellen-Heizgerät mit SOFC in seiner Wirtschaftlichkeit analysiert werden.

2.4 Brennstoffzellen-Heizgeräte

Brennstoffzellen-Heizgeräte gehören zu den Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, so dass sie einem Objekt gleichzeitig Strom und Wärme zur Verfügung stellen können.⁴³ Die Abbildung 3 verdeutlicht das Prinzip eines erdgasbasierten Brennstoffzellen-Heizgerätes.

⁴⁰ Vgl. Krewitt/Pehnt/Fischedick/Temming (2004), S. 42 f.; Eichlseder/Klell (2012), S. 238; Kurzweil (2013), S. 177 f.

⁴¹ Vgl. dazu z.B. Paulus (2013), S. 34.

⁴² Vgl. Thomas (2011), S. 71; Krewitt/Pehnt/Fischedick/Temming (2004), S. 44.

⁴³ Vgl. Badenhop (2014), S. 137.

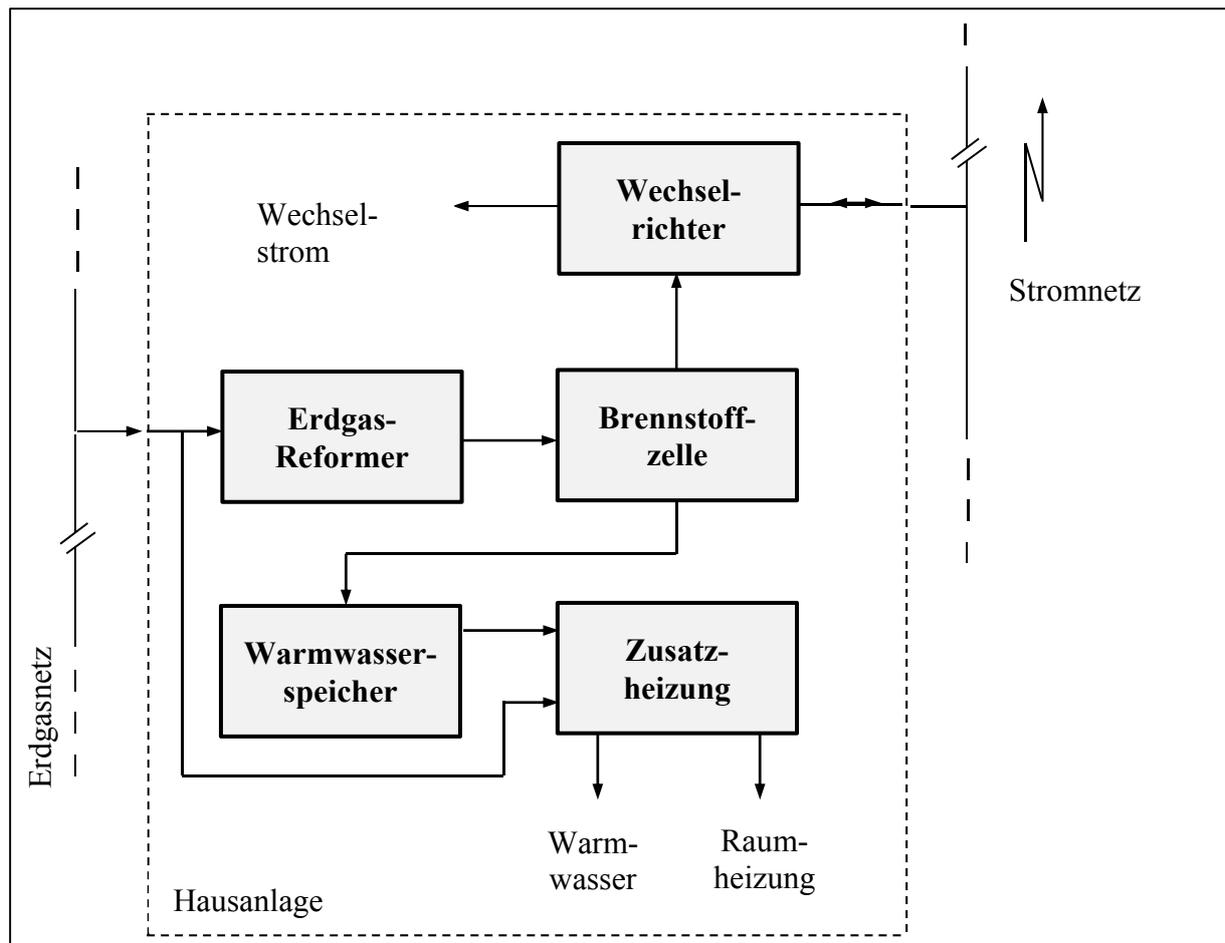


Abbildung 5: Blockschaltbild eines Brennstoffzellen-Heizgerätes

Quelle: Karamanolis (2003), S. 92

Da eine flächendeckende Gebäudeversorgung mit Wasserstoff mittelfristig unrealistisch erscheint, bedarf es zum jetzigen Zeitpunkt eines konventionellen, allgemein zugänglichen Brennstoffes. Aus diesem Grund wird i.d.R. Erdgas genutzt.⁴⁴ In diesem Fall ergibt sich jedoch kein großer ökologischer Vorteil gegenüber anderen fossilen Energiesystemen.⁴⁵ Mittels eines Reformers erfolgt die Umwandlung in wasserstoffreiches Gas, welches durch elektrochemische Vorgänge in der Brennstoffzelle Gleichstrom produziert. Der Gleichstrom wird durch einen Wechselrichter in Wechselstrom konvertiert, welcher dann entweder teilweise oder vollständig selbstverbraucht werden kann. Überschüssig produzierter Strom wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Dazu muss das Brennstoffzellen-Heizgerät netzparallel geschaltet sein, so dass bei Bedarf, wie z.B. Lastspitzen, auch die Möglichkeit besteht, zusätzlichen Strom aus dem Netz zu beziehen.⁴⁶ Bei den Prozessen entsteht zudem Wärmeenergie, die zunächst zwischengespeichert wird, um

⁴⁴ Alternativ kann auch Biogas verwendet werden; vgl. z.B. Quaschnig (2013), S. 363.

⁴⁵ Vgl. z.B. Quaschnig (2013), S. 363. In diesem Zusammenhang darf nicht vernachlässigt werden, dass durch den steigenden Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung und der damit verbundenen sinkenden Bedeutung von Kohlendioxid die hohe Effizienz von Brennstoffzellen beim Betrieb mit fossilen Brennstoffen als umweltpolitisches Argument an Bedeutung verliert. Zukünftig kann es somit nur sinnvoll sein, Brennstoffzellen auch mit Brennstoffen aus erneuerbaren Energien zu betreiben; vgl. dazu Krewitt/Pehnt/Fischedick/Temming (2004), S. 37.

⁴⁶ Vgl. Thomas (2011), S. 70.

sie anschließend zur Warmwasserversorgung und Heizung des Objektes einzusetzen. Um den Wärmebedarf auch unter außergewöhnlichen Umständen sicherzustellen, wird ein Zusatzheizgerät in die Anlage integriert. Dies gilt für alle relevanten Brennstoffzellentypen.⁴⁷

Wie in Abschnitt 2.3 erwähnt, soll der Fokus der Wirtschaftlichkeitsrechnung auf der Technologie der SOFC liegen. Typischerweise bestehen Brennstoffzellen-Stapel (Stacks⁴⁸), die in SOFC-Brennstoffzellen-Heizgeräten Anwendung finden, bei 1 kW elektrischer Leistung aus rund 60 einzelnen Brennstoffzellen.⁴⁹ Der Stack stellt zusammen mit dem Reformier, dem Nachbrenner und dem Heißgaswärmetauscher die Kernkomponente dar, das sogenannte Prozessgasmodul. Eine der wichtigsten Aufgaben ist die Entschwefelung des Erdgases im Reformier. Schwefel wird dem Erdgas aus Gründen der Odorierung (Zuführung von Riechstoffen) zugesetzt, stellt jedoch eine massive Gefahr für die Leistungsfähigkeit der Brennstoffzelle dar. Die Anlage wird i.d.R. über eine Datenschnittstelle mit dem Anbieter verbunden, sodass eine Fernwartung und -steuerung erfolgen kann.⁵⁰ Bei Feldtests erreichten angeschlossene Geräte eine Anlagenverfügbarkeit von über 97 %.⁵¹ Zudem konnte der durchschnittliche elektrische Wirkungsgrad auf 33 % gesteigert werden. Dieser liegt damit höher als jener der Wettbewerbsprodukte in der Kraft-Wärme-Kopplung.⁵² Die aktuelle Gerätegeneration der Serie BlueGEN der Firma Ceramic Fuel Cells GmbH soll das Untersuchungsobjekt der Wirtschaftlichkeitsanalyse darstellen, wobei das Gerät in ein bestehendes Heizungssystem integriert wird.⁵³ Abbildung 6 zeigt die wichtigsten Daten der Anlage:

Eigenschaft	Angabe
Betriebsweise	ganzjährig, stromgeführt
WK _{el.}	60 % (~13.000 kWh _{el.})
WK _{th.}	25 % (~5.220 kWh _{th.})
WK _{ges.}	85 %
Serviceintervall	12 Monate

Abbildung 6: Daten des Brennstoffzellen-Heizgerätes der Serie BlueGEN

Quelle: Ceramic Fuel Cells GmbH (2014)

⁴⁷ Vgl. Badenhop (2014), S. 141 ff.

⁴⁸ Vgl. Abschnitt 2.1.

⁴⁹ Vgl. dazu z.B. das Informationsprogramm des Callux-Projektes, verfügbar unter: <http://www.callux.net/files/basismodul/start.html> (Abruf am 12.11.2014), welches seit 2008 Brennstoffzellen-Heizgeräte unter Alltagsbedingungen erprobt. Praxispartner sind neben dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) auch verschiedene Energieversorger und Hersteller von Heizgeräten.

⁵⁰ Vgl. Paulus (2013), S. 32 ff.

⁵¹ Damit arbeiteten die Brennstoffzellen-Heizgeräte nur zu 3 % der Anlagenzeit nicht planmäßig; vgl. Callux (2014), S. 37.

⁵² Vgl. Callux (2014), S. 38.

⁵³ Vgl. dazu die Aussagen von Dyzak (Ceramic Fuel Cells GmbH), siehe Anhang 1.

3 Energiewirtschaftliche Grundlagen

3.1 Entwicklungen in der Energieversorgung in Deutschland

Am 28.09.2010 beschloss die deutsche Bundesregierung ein Energiekonzept, in dem eine langfristige, bis in das Jahr 2050 reichende Gesamtstrategie zur Umstrukturierung der deutschen Energieversorgung festgesetzt wurde.⁵⁴ Die Umsetzung dieses Konzeptes wurde in der Öffentlichkeit unter dem Schlagwort „Energiewende“ bekannt. Ein elementarer Grundsatz der Energiewende ist das Zieldreieck zwischen Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit.⁵⁵ Die wesentlichen Ziele für das Jahr 2050 sind die Senkung der Treibhausgasemissionen gegenüber dem Jahr 1990 um mindestens 80 %, der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch von mindestens 80 % sowie eine Steigerung der Energieeffizienz durch eine Senkung des Primärenergieverbrauchs um 50 % gegenüber dem Jahr 2008.⁵⁶

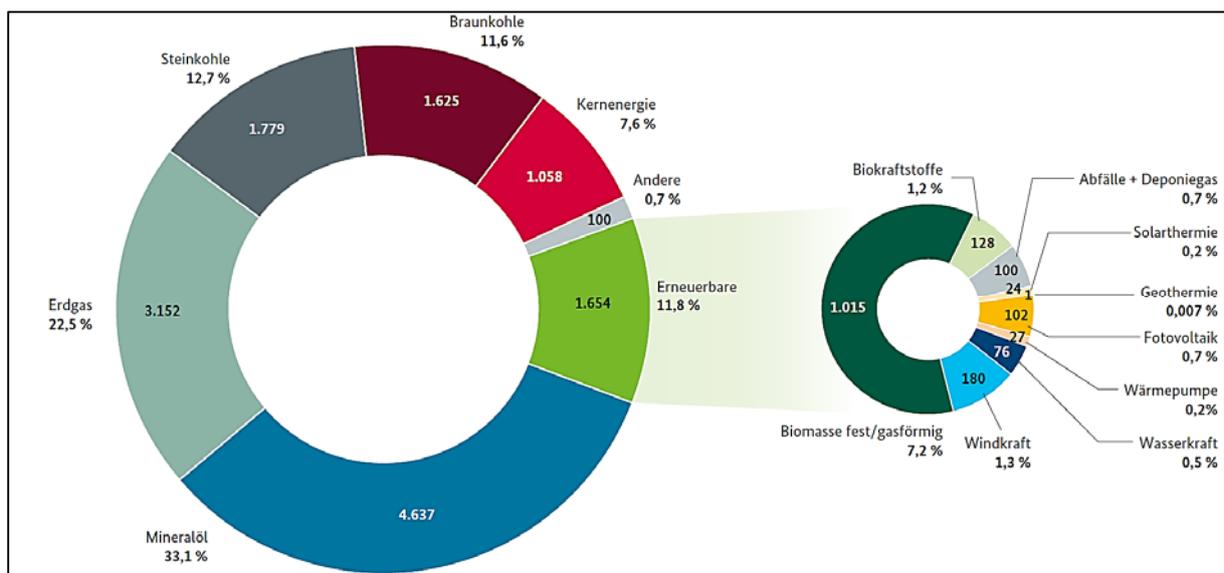


Abbildung 7: Primärenergieverbrauch in Deutschland 2013

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen/Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (2014)

Der Anteil von Kohle und Kernenergie an der Energiegewinnung geht stetig zurück und den erneuerbaren Energien kommt eine immer größere Bedeutung zu, wie die nachfolgende Abbildung zeigt:

⁵⁴ Vgl. Bundesregierung (2010).

⁵⁵ Vgl. Bundesregierung (2010), S. 3.

⁵⁶ Vgl. Bundesregierung (2010), S. 4 f.

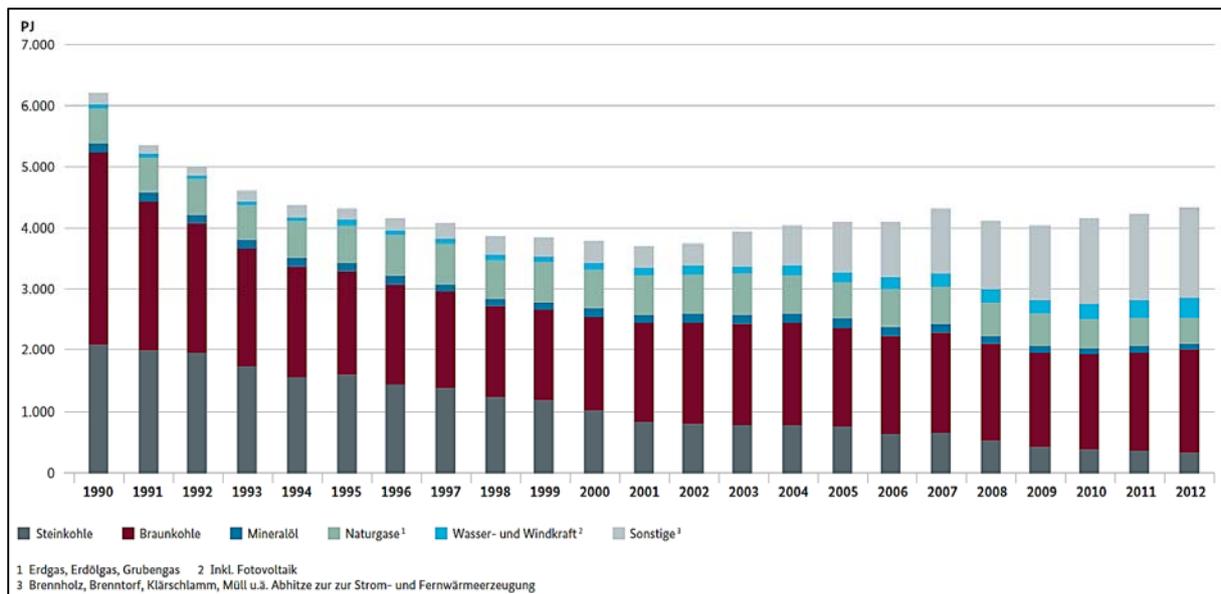


Abbildung 8: Entwicklung der Primärenergiegewinnung in Deutschland

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (2013)

Dabei müssen verschiedene Herausforderungen überwunden werden. Ein Problem besteht darin, dass die Erträge aus Windenergie und Photovoltaik von externen Faktoren abhängig sind, sodass die genannten Technologien keine konstante Strommenge liefern können.⁵⁷ Dieser Problematik kann entweder über Speichertechnologien oder aber über Verfahren der Energieerzeugung begegnet werden, welche eine kontinuierliche Stromerzeugung gewährleisten.⁵⁸ Hierzu zählen auch die Erzeugung von Strom mittels Kraft-Wärme-Kopplung und somit auch Brennstoffzellen-Heizgeräte. Damit haben solche Anlagen nach Ansicht der Bundesregierung das Potenzial, mehrere energiepolitische Ziele, insbesondere die Emissionssenkung und die Effizienzsteigerung, zu verwirklichen.⁵⁹ Durch den Einsatz von KWK-Anlagen in der häuslichen Energieversorgung können nach Badenhop bis zu 32 % an Primärenergie eingespart werden.⁶⁰ In Anbetracht dessen, dass private Haushalte zu 28 % am Endenergieverbrauch beteiligt sind, besteht hier ein enormes Einsparpotenzial an Primärenergie.⁶¹ Eine vermehrte Anzahl von KWK-Anlagen erspart den konventionellen Energieversorgern Ressourcen und erhöht die Zuverlässigkeit des Netzes. Weiterhin können diese Geräte Strom in das öffentliche Netz einspeisen. Durch das Zusammenschalten vieler vernetzter KWK-Anlagen zu virtuellen Kraftwerken⁶² besteht die Möglichkeit, die Netzlastkurve zu Spitzenzeiten zu glätten.⁶³

⁵⁷ Vgl. auch Konstantin (2013), S. 10; Quaschnig (2013), S. 218.

⁵⁸ So auch Ströbele/Pfaffenberger/Heuterkes (2012), S. 203.

⁵⁹ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014), S. 45.

⁶⁰ Vgl. Badenhop (2014), S. 134.

⁶¹ Vgl. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (2014).

⁶² Virtuelle Kraftwerke sind vernetzte und zentral gesteuerte Verbände von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien; vgl. dazu auch Reif/Fox (2014).

⁶³ Vgl. Kurzweil (2013), S. 121.

3.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Es existieren zahlreiche Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und Beschlüsse bezüglich des Netzanschlusses, der Vergütung und Förderung sowie der steuerlichen Behandlung des Betriebes eines Brennstoffzellen-Heizgerätes. Im Folgenden sollen alle diejenigen gesetzlichen Rahmenbedingungen erläutert werden, welche einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit eines Brennstoffzellen-Heizgerätes besitzen.

3.2.1 Richtlinien zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kW_{el}

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) zahlt gemäß der Richtlinie zur Förderung von KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis 20 kW_{el}⁶⁴ vom 17.01.2012 unter der Einhaltung bestimmter Voraussetzungen, welche in Punkt fünf dieser Richtlinie abschließend aufgeführt sind, einen von der Größe der Anlage abhängigen einmaligen Investitionszuschuss an den Anlagenbetreiber aus.⁶⁵ Förderfähig sind demnach strom- und wärmegeführte⁶⁶ KWK-Anlagen in Bestandsbauten, die:⁶⁷

1. im Leistungsbereich bis einschließlich 20 kW_{el} liegen,
2. über einen Wartungsvertrag betreut werden,
3. nicht in Gebieten mit einem Anschluss- und Benutzungsgebot für Fernwärme liegen und
4. Energiezähler zur Bestimmung der Strom- und Wärmeerzeugung im KWK-Prozess haben.

Des Weiteren sind folgende Kriterien zu erfüllen, deren Nachweis gemäß der Richtlinie anhand von Prüfstands- und Referenzmessungen durch sachkundige und unabhängige Dritte zu erfolgen hat:

1. analoge Einhaltung der Anforderungen der jeweils gültigen Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft),
2. Übertreffen der Anforderungen der EU-Richtlinie⁶⁸ für Kleinanlagen:
 - Primärenergieeinsparung (gemäß EU-Richtlinie) mindestens 15 % für Anlagen kleiner als 10 kW_{el}.
 - Primärenergieeinsparung (gemäß EU-Richtlinie) mindestens 20 % für Anlagen von 10 bis einschließlich 20 kW_{el}.
3. Gesamtjahresnutzungsgrad mindestens 85 %.

Abschließend sind noch folgende Anforderungen zu erfüllen:

1. Vorhandensein eines Wärmespeichers mit einem Energiegehalt von mindestens 1,6 kWh pro installierte kW_{th}, jedoch mindestens 6,9 kWh,

⁶⁴ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2012).

⁶⁵ Vgl. zu den Förderhöhen Punkt sechs der Richtlinien zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kW_{el}.

⁶⁶ Beim stromgeführten Betrieb wird davon ausgegangen, dass die KWK-Anlage entsprechend des Bedarfs an elektrischer Energie betrieben und bei zu geringer Wärmeproduktion durch ein Zusatzheizgerät unterstützt wird. Beim wärmegeführten Betrieb erfolgt die Ausrichtung entsprechend der Wärmeanforderungen, so dass zusätzlich benötigte elektrische Energie aus dem Stromnetz bezogen werden kann; vgl. Thomas (2011), S. 36.

⁶⁷ Vgl. Punkt fünf der Richtlinien zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kW_{el}.

⁶⁸ Richtlinie 2004/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Februar 2004 über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG.

2. Vorhandensein einer Steuerung und Regelung für eine wärme- und stromgeführte Betriebsweise inklusive eines intelligenten Wärmespeichermanagements sowie eines Messsystems zur Bestimmung des aktuellen Strombedarfs (Smart Meter) für Anlagen ab 3 kW_{el},
3. Vorhandensein einer definierten Schnittstelle für eine externe Leistungsvorgabe für Anlagen ab 3 kW_{el},
4. Durchführung eines hydraulischen Abgleichs für das Heizungssystem und
5. Einsatz von Umwälzpumpen, die mindestens die Effizienzklasse A erfüllen.

3.2.2 Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz - KWKG)

Das KWKG trat am 01.04.2002 in Kraft und wurde mit Wirkung zum 21.07.2014 zum bislang letzten Mal novelliert. Es regelt neben dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) die Vergütungsmöglichkeiten von Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung. Zweck des Gesetzes ist es gemäß § 1 KWKG, „im Interesse der Energieeinsparung, des Umweltschutzes und der Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung einen Beitrag zur Erhöhung der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung in der Bundesrepublik Deutschland auf 25 % bis zum Jahr 2020 durch die Förderung der Modernisierung und des Neubaus von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen), die Unterstützung der Markteinführung der Brennstoffzelle und die Förderung des Neu- und Ausbaus von Wärme- und Kältenetzen sowie des Neu- und Ausbaus von Wärme- und Kältespeichern, in die Wärme oder Kälte aus KWK-Anlagen eingespeist wird, zu leisten.“ Gemäß § 2 S. 1 KWKG regelt das Gesetz „die Abnahme und die Vergütung von Kraft-Wärme-Kopplungsstrom (KWK-Strom) aus Kraftwerken mit KWK-Anlagen auf Basis von Steinkohle, Braunkohle, Abfall, Abwärme, Biomasse, gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen sowie Zuschläge für den Neu- und Ausbau von Wärme- und Kältenetzen sowie Zuschläge für den Neu- und Ausbau von Wärme- und Kältespeichern, sofern die KWK-Anlagen, die Wärmenetze und die Wärmespeicher sowie die Kältenetze und die Kältespeicher im Geltungsbereich dieses Gesetzes gelegen sind.“ Eine Einschränkung wird durch § 2 S. 2 KWKG gegeben, wonach KWK-Strom, der gemäß § 19 des EEG vergütet wird, nicht in den Anwendungsbereich des KWKG fällt. Gemäß § 4 Abs. 1 KWKG ist der Netzversorger verpflichtet, den in hocheffizienten KWK-Anlagen erzeugten Strom unverzüglich und vorrangig abzunehmen. Ferner ist an den Betreiber der Anlage nach § 4 Abs. 3 KWKG ein Entgelt zu entrichten, welches, sofern nicht anders vereinbart, dem Durchschnittspreis für Grundlaststrom an der Strombörse European Energy Exchange (EEX)⁶⁹ in Leipzig im jeweils vergangenen Quartal zuzüglich vermiedener Netzentgelte entspricht. Für jede erzeugte Kilowattstunde erhält der Besitzer eines Brennstoffzellengerätes gemäß § 7 Abs. 1 i.V.m. § 5 Abs. 1 S. 1 Nr. 2 KWKG vom Netzbetreiber 5,41 ct⁷⁰ für eine Dauer von 10 Jahren. Weiterhin besteht nach § 53a Abs. 1 i.V.m. § 2 Abs. 3 S. 1 Energiesteuergesetz (EnergieStG) die Möglich-

⁶⁹ Der EEX-Spotmarkt für Strom (EEX Power SPOT) wird durch die EPEX SPOT SE mit Sitz in Paris, Wien und Leipzig betrieben und stellt eine Kooperation zwischen der EEX AG und der französischen Powernext SA dar. Damit ist der entsprechende Preis an der EPEX SPOT anzusetzen.

⁷⁰ Alle in diesem Unterpunkt angegebenen Preise sind Nettoangaben.

keit, sich die Energiesteuer⁷¹ für einen Zeitraum von zehn Jahren in Höhe von 0,55 ct/kWh zurückerstat-
ten zu lassen. Ab dem elften Jahr der Inbetriebnahme wird dieser Zuschuss laut § 53b Abs. 2 Nr. 3 auf
0,442 ct/kWh abgesenkt.

3.2.3 Steuerliche Rahmenbedingungen

Gemäß dem Urteil des Bundesfinanzhofs (BFH) vom 18.12.2008 V R 80/07 ist der Betreiber eines
Brennstoffzellen-Heizgerätes unternehmerisch tätig, da er durch die Stromeinspeisung in der Regel nach-
haltig Einnahmen erzielt. Sofern eine Gewinnerzielungsabsicht vorliegt, könnten durch die Anlage Ein-
künfte aus Gewerbebetrieb im Sinne des § 15 Abs. 2 EStG vorliegen. Bei der Gewinnermittlung sind,
gemäß der Verfügung betreffs ertragsteuerliche Behandlung von Photovoltaikanlagen und Blockheiz-
kraftwerken vom 10.07.2012 der OFD Rheinland, als Betriebseinnahmen die Vergütungen für den einge-
speisten Strom inkl. Zuschlägen aus vermiedenen Netzkosten und dem KWKG, die Energiesteuerrücker-
stattung, die Vergütungen für die eigenverbrauchte Energie⁷² und eine eventuelle Umsatzsteuererstattung
anzusetzen. Die Betriebsausgaben setzen sich aus den Aufwendungen für Wartung, Brennstoff, Zinsen,
den Abschreibungen auf die Anlage und eventuellen Umsatzsteuervorauszahlungen zusammen. Falls das
Brennstoffzellen-Heizgerät langfristig keine steuerlichen Gewinne erzielt, liegt eine steuerliche Liebhaberei
vor und eine ertragssteuerliche Behandlung ist nicht zu berücksichtigen. Der Betreiber eines Brennstoff-
zellen-Heizgerätes erzielt darüber hinaus, unabhängig davon, ob es sich um eine Liebhaberei handelt, um-
satzsteuerpflichtige Einnahmen. Die Anwendung der Kleinunternehmerregelung gemäß § 19 Umsatzsteu-
ergesetz (UStG) ist in der Regel möglich, jedoch würde der Betreiber so auf den nicht unbeachtlichen
Vorteil aus dem Vorsteuerabzug der Anlage verzichten. Ebenfalls relevant in diesem Zusammenhang sind
der Strom- und Wärmeeigenbedarf. Sie stellen eine unentgeltliche Wertabgabe im Sinne des § 3 Abs. 1b
S. 1 Nr. 1 UStG i.V.m. § 3f UStG dar, deren Bemessungsgrundlage in § 10 Abs. 4 UStG geregelt wird.
Hinsichtlich des eigenverbrauchten Stromes sind die Bemessungsgrundlage der entsprechende Börsen-
preis an der EPEX SPOT und die vermiedenen Netzkosten. Bezüglich der eigenverbrauchten Wärme
setzt sich die Bemessungsgrundlage aus Mangel eines bestehenden Einkaufspreises aus den anteiligen
Selbstkosten⁷³ zusammen.

⁷¹ Bezüglich des Brennstoffzellen-Heizgerätes kommt hierbei die verbrauchte Erdgasmenge, die zum Betrieb der
Anlage nötig ist, in Betracht.

⁷² Die Höhe dieser Vergütungen wird im Abschnitt 4.1.6 erläutert.

⁷³ Selbstkosten = (jährliche Aufwendungen und Abschreibungen) × thermische Energie/Gesamtenergie; vgl. dazu
BFH, Urteil vom 12.12.12 XI R3/10.

4 Wirtschaftlichkeitsanalyse eines Brennstoffzellen-Heizgerätes

Ziel der Betrachtungen ist es, die Wirtschaftlichkeit eines Brennstoffzellen-Heizgerätes⁷⁴ im Vergleich zur Unterlassungsalternative, also dem Strombezug aus dem Netz und dem Wärmebezug einer an das Erdgasnetz angeschlossenen Gasheizung, zu untersuchen. Dazu wurde ein Basisszenario definiert und berechnet sowie darauf aufbauend mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse die Auswirkungen von Veränderungen der Parameter auf die Wirtschaftlichkeit untersucht. Die Analyse erfolgte mit Hilfe der Vermögensendwertmethode.⁷⁵ Alle Zahlungsströme sind als nachschüssig zu verstehen. Sofern nicht anders angegeben, sind alle Angaben in diesem Kapitel Brutto-Preise.

4.1 Erläuterungen der Ausgangsdaten

4.1.1 Allgemeines

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse soll für einen typischen Vier-Personen-Haushalt in einem Einfamilienhaus mit einem durchschnittlichen jährlichen Strombedarf von 6.150 kWh durchgeführt werden.⁷⁶ Die Nutzungsdauer des Brennstoffzellen-Heizgerätes beträgt 20 Jahre. Für die Berechnungen wird eine jährliche Strompreissteigerung von 3,54 %⁷⁷ und eine jährliche Erdgaspreissteigerung von 0,33 %⁷⁸ angenommen. Ferner soll auf die Kleinunternehmerregelung nach § 19 UStG verzichtet werden.⁷⁹

4.1.2 Anschaffungsauszahlung

Die Anschaffungskosten eines Brennstoffzellen-Heizgerätes der Serie BlueGEN belaufen sich auf 29.750 €. Zusätzlich werden Kosten in Höhe von 2.000 € für die Installation der Anlage angenommen.⁸⁰ Die Anschaffungsauszahlung vermindert sich um den Vorsteuerbetrag und einen einmaligen Förderzuschuss, welcher durch das BAFA in Abhängigkeit von der Anlagengröße und unter bestimmten Voraussetzungen gemäß der Richtlinie zur Förderung von KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis 20 kW_{el} vom 17.01.2012 ausgezahlt wird.⁸¹ Das Gerät BlueGEN erfüllt die Bedingungen der Richtlinie und gehört somit zu den förderfähigen Anlagen gemäß der Übersicht der BAFA.⁸² Sie kann mit einem Betrag

⁷⁴ Es wird die aktuelle Generation des BlueGEN des Unternehmens Ceramic Fuel Cells GmbH betrachtet.

⁷⁵ Vgl. ausführlich zur Vermögensendwertmethode z.B. Blohm/Lüder/Schaefer (2012), S. 72 ff.; Perri-don/Steiner/Rathgeber (2012), S. 89 ff.

⁷⁶ Vgl. dazu die Angaben des Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2014), S. 9.

⁷⁷ Dies lehnt sich an die Entwicklung der Strompreise in Deutschland im Zeitraum 1998-2013 an; vgl. dazu Anhang 2.

⁷⁸ Dies lehnt sich an die Entwicklung der Gaspreise in Deutschland im Zeitraum 2006-2014 an; vgl. <http://www.verivox.de/verbraucherpreisindex-gas/> (Abruf am 19.11.2014).

⁷⁹ Vgl. die Ausführungen in Abschnitt 3.2.3.

⁸⁰ Vgl. dazu die Aussagen von Dyzak (Ceramic Fuel Cells GmbH), siehe Anhang 1.

⁸¹ Vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 3.2.1.

⁸² Vgl. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2014), S. 2.

von 1.568 €⁸³ bezuschusst werden, ohne Möglichkeit der Kombination mit einem anderen Förderprogramm.

4.1.3 Finanzierung und Kapitalanlage

Die Anschaffungsauszahlung wird vollständig über ein KfW-Darlehen im Rahmen des Programms 270 „Erneuerbare Energien – Standard“ fremdfinanziert. Im Rahmen dieses Programmes vergibt die KfW Kredite an natürliche Personen unter anderem auch zur Finanzierung von KWK-Anlagen.⁸⁴ Hierbei erfolgt eine Förderung in Form von vergünstigten Zinsen und Tilgungszuschüssen bei der Kreditvergabe. Für das Basisszenario wird angenommen, dass ein folgender Kredit zu den Zinskonditionen des 01.07.2014 aufgenommen wird:⁸⁵

- Laufzeit und Zinsbindung von 20 Jahren,
- drei tilgungsfreie Anlaufjahre,
- Auszahlung zu 100 %,
- Tilgung in konstanten Periodenraten und
- Effektivzinssatz von 3,14 % (zweithöchste Bonitätsstufe B).

Eventuelle Periodenüberschüsse werden mit Orientierung an die Rendite einer 30-jährigen Bundesanleihe mit 20 Jahren Restlaufzeit Stand Juli 2014 (ISIN: DE000113522 6) zu 2,06 % angelegt.⁸⁶

4.1.4 Ausgaben

Neben den Aufwendungen für die Finanzierung fallen Wartungs- und Brennstoffkosten an. Die Brennstoffkosten zum Betrieb der Anlage belaufen sich auf den jährlichen Verbrauch von 26.000 kWh Erdgas. Die Wartungskosten sind an einen zehnjährigen Vertrag mit dem Hersteller geknüpft, wobei angenommen wird, dass dieser nach Ablauf der Frist dieselben Konditionen beinhaltet. Die jährlichen Aufwendungen betragen 714 €.⁸⁷ Des Weiteren werden eventuelle Ertragssteuern unter der Annahme eines Grenzsteuersatzes von 42 % und Umsatzsteuervorauszahlungen als Ausgaben angesetzt. Bei der Ermittlung des steuerlichen Gewinns werden die Abschreibungen gemäß AfA-Tabelle über 10 Jahre als Ausgabe angesetzt.⁸⁸

4.1.5 Einnahmen

Die Einnahmen ergeben sich insbesondere aus den ersparten Strom- und Wärmeausgaben, welche im Vergleich zu einem vollständigen Bezug aus dem Strom- bzw. Erdgasnetz anfallen würden. Weiterhin ergeben sich Erlöse für den eingespeisten Strom an der Strombörse EPEX SPOT zum jeweiligen Börsen-

⁸³ Der Betrag ist abhängig von der maximalen elektrischen Leistung. Er setzt sich zusammen aus 1.425 € für die Leistungsstufe bis 1 kW_{el} und anteilig für die zusätzlichen 0,5 kW_{el} 143 €; vgl. dazu Punkt sechs der Richtlinien zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kW_{el}.

⁸⁴ Bedingung ist, dass zumindest ein Teil des erzeugten Stroms eingespeist wird; vgl. KfW (2014).

⁸⁵ Vgl. zu den Konditionen des KfW-Programms 270 mit Stand 01.07.2014 Anhang 3.

⁸⁶ Vgl. Deutsche Bundesbank (2014).

⁸⁷ Vgl. dazu die Aussagen von Dyzak (Ceramic Fuel Cells GmbH), siehe Anhang 1.

⁸⁸ Vgl. Bundesministerium der Finanzen (2000).

preis zuzüglich der vermiedenen Netzkosten (VN). Zudem erfolgt die Annahme, dass aufgrund von Lastspitzen 15 % des Strombedarfs aus dem Netz bezogen werden.⁸⁹ Die Menge des eingespeisten Stroms ergibt sich somit als Differenz der von der Anlage erzeugten Einheiten und dem Eigenverbrauch. Die Preise für Strom (28,260 ct/kWh)⁹⁰, Erdgas (6,124 ct/kWh)⁹¹ und der vermiedenen Netzentgelte (1,131 ct/kWh)⁹² beziehen sich auf Tarife der Thüringer Energie AG. Der Durchschnittspreis für den eingespeisten Strom wird in Ermangelung anderer Erkenntnisse mit dem durchschnittlichen Preis für Baseload-Strom an der EPEX SPOT, welcher den üblichen Strompreis gemäß KWK-Gesetz darstellt, des Quartals 4/2013 angesetzt. Er beträgt netto 3,754 ct/kWh.⁹³ Aus Vereinfachungsgründen wird er für die Berechnung als konstant angenommen. Zudem werden sämtliche Zuschläge und Rückerstattungen seitens des Staates sowie eine eventuelle Vorsteuererstattung als Einnahmen aufgeführt.

4.1.6 Besteuerung

Sämtliche Einnahmen, mit Ausnahme der Energiesteuer- und Vorsteuererstattung, sind bei Verzicht auf die Kleinunternehmerregelung umsatzsteuerpflichtig. Die Höhe der Bemessungsgrundlage (BMG) ist jedoch unterschiedlich. Diese Angaben sind auch bei der steuerlichen Gewinnermittlung anzusetzen.

Stromeinspeisung: $BMG = EPEX\ SPOT\text{-Preis} + VN + KWK\text{-Zuschlag}$

Stromeigenverbrauch: $BMG = EPEX\ SPOT + VN$

Wärmeeigenverbrauch: $BMG = \frac{\text{thermische Energie}}{\text{Gesamtenergie}} \cdot \frac{\text{Gesamtaufwendungen}}{\text{Nutzungsdauer}}$

4.2 Berechnung und Analyse des Basisszenarios

Als grundlegende Annahme wird unterstellt, dass die Inbetriebnahme der Anlage am 01.01.2014 erfolgte. Das Basisszenario soll eine aktuell realistische Situation abbilden. Neben dem Vermögensendwert erfolgt zusätzlich der Ausweis einer jährlich endwertbezogenen Rendite. Alle wichtigen Ausgangsdaten werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst:⁹⁴

⁸⁹ Vgl. dazu die Aussagen von Dyzak (Ceramic Fuel Cells GmbH), siehe Anhang 1.

⁹⁰ Vgl. Thüringer Energie AG (2014a).

⁹¹ Vgl. Thüringer Energie AG (2014b).

⁹² Vgl. Thüringer Energie AG (2014c).

⁹³ Vgl. European Energy Exchange AG (2014).

⁹⁴ In der rechten Spalte wird auf den Abschnitt verwiesen, in welchem die Angabe erläutert wird.

Daten	Angaben		Begründung
Anschaffungsauszahlung	Netto	Brutto	
Brennstoffzellen-Heizgerät	25.000,00 €	29.750,00 €	Abschnitt 4.1.2
Montage	1.680,67 €	2.000,00 €	Abschnitt 4.1.2
	26.680,67 €	31.750,00 €	
Förderzuschuss	1.568,00 €		Abschnitt 4.1.2
Vorsteuerabzug	5.069,33 €		Abschnitt 3.2.3
Investitionssumme	25.112,67 €		
Finanzierung			
Nennbetrag (Kredit)		25.112,67 €	Abschnitt 4.1.3
Effektivzinssatz	3,14 %		Abschnitt 4.1.3, Anhang 3
Anlaufjahre	3 Jahre		Abschnitt 4.1.3
Laufzeit	20 Jahre		Abschnitt 4.1.3
Anlagezins	2,06 %		Abschnitt 4.1.3
Ausgaben			
Wartung	600,00 €	714,00 €	Abschnitt 4.1.4
Ratentilgung		1.477,22 €	Abschnitt 4.1.3
steuerliche Abschreibung		2.511,27 €	Abschnitt 4.1.4
Einnahmen			
Strompreis	23,748 ct/kWh	28,260 ct/kWh	Abschnitt 4.1.5
Gaspreis	5,146 ct/kWh	6,124 ct/kWh	Abschnitt 4.1.5
EPEX SPOT-Preis	3,754 ct/kWh	4,467 ct/kWh	Abschnitt 4.1.5
Vermiedene Netzentgelte	0,950 ct/kWh	1,131 ct/kWh	Abschnitt 4.1.5
Preis eingespeister Strom ⁹⁵	4,704 ct/kWh	5,598 ct/kWh	Abschnitt 3.2.2
KWK-Bonus (10 Jahre)	5,410 ct/kWh	6,438 ct/kWh	Abschnitt 3.2.2
Energiesteuer (1.-10. Jahr)	0,550 ct/kWh		Abschnitt 3.2.2
Energiesteuer (ab 11. Jahr)	0,420 ct/kWh		Abschnitt 3.2.2
Allgemeines			
Daten Brennstoffzellen-Heizgerät			
elektrische Energie	13.000 kWh		Abschnitt 2.4
thermische Energie	5.220 kWh		Abschnitt 2.4
Gesamtenergie	18.220 kWh		Abschnitt 2.4
Brennstoffverbrauch	26.000 kWh		Abschnitt 2.4
Nutzungsdauer	20 Jahre		Abschnitt 2.4
steuerliche Nutzungsdauer	10 Jahre		Abschnitt 2.4
Verbrauch			
Strombedarf	6.150 kWh		Abschnitt 4.1.1
Eigenstromverbrauch	5.228 kWh		Abschnitt 2.4, 4.1.1
Stromeinspeisung	7.773 kWh		Abschnitt 2.4, 4.1.5
Eigenwärmeverbrauch	5.220 kWh		Abschnitt 2.4, 4.1.5
Sonstiges			
jährliche Strompreissteigerung	3,54 %		Abschnitt 4.1.1, Anhang 2
jährliche Erdgaspreissteigerung	0,32 %		Abschnitt 4.1.1
Grenzsteuersatz	42 %		Abschnitt 4.1.4

Abbildung 9: Eingangparameter der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die nachfolgende Übersicht zeigt alle Berechnungsschritte für ausgewählte Perioden sowie das Gesamtergebnis der Investitionsrechnung des Basisszenarios.

⁹⁵ Dieser ergibt sich aus der Summe von EPEX SPOT-Preis und vermiedenen Netzkosten.

	2014	2015	2016	2017	2023	2024	2032	2033		
Jahr	1	2	3	4	10	11	19	20		
Aufwendungen	Wartung	714	714	714	714	714	714	714	714	14.280
	Brennstoffverbrauch	1.592	1.597	1.603	1.608	1.640	1.645	1.689	1.695	32.861
	Umsatzsteuer	85	85	84	84	80	-	-	-	827
	Steuer	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zinsen	789	789	789	789	510	464	93	46	9.462
	Tilgung	-	-	-	1.477	1.477	1.477	1.477	1.477	25.113
	Restschuld	25.113	25.113	25.113	23.635	14.772	13.295	1.477	-	-
	Gesamtaufwendungen	3.180 €	3.185 €	3.190 €	4.671 €	4.422 €	4.301 €	3.973 €	3.932 €	82.543 €
Erträge	Ersparte Stromausgaben	1.477	1.530	1.584	1.640	2.021	2.092	2.764	2.862	41.958
	Ersparte Wärmeausgaben	320	321	322	323	329	330	339	340	6.597
	KWK-Bonus	837	837	837	837	837	-	-	-	8.369
	Energiesteuer	167	167	167	167	167	128	128	128	2.947
	Eingespeister Strom	435	435	435	435	435	435	435	435	8.702
	Vorsteuer	-	-	-	-	-	54	59	60	570
	Gesamterträge	3.236 €	3.289 €	3.345 €	3.402 €	3.789 €	3.040 €	3.725 €	3.825 €	69.143 €
Umsatzsteuer	Vorsteuer	368	369	370	371	376	377	384	385	
	USt Stromverbrauch	47	47	47	47	47	47	47	47	
	USt Wärmeverbrauch	204	204	204	205	206	206	208	209	
	USt Stromeinspeisung	203	203	203	203	203	69	69	69	
	Forderung ggüber FA	- 85	- 85	- 84	- 84	- 80	54	59	60	
Ertragsteuer	Eingespeister Strom	1.069	1.069	1.069	1.069	1.069	366	366	366	
	Stromeigenverbrauch	246	246	246	246	246	246	246	246	
	Wärmeeigenverbrauch	1.073	1.074	1.076	1.077	1.084	1.086	1.096	1.098	
	Zuschüsse	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	128	128	128	
	Vorsteuer	-	-	-	-	-	54	59	60	
	Betriebseinnahmen	3.392	3.393	3.394	3.396	3.403	1.825	1.835	1.837	
	Aufwendungen	2.727	2.731	2.735	2.740	2.488	2.447	2.112	2.071	
	Abschreibung	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	-	-	-	
	Umsatzsteuer	85	85	84	84	80	-	-	-	
	Betriebsausgaben	5.155	5.159	5.163	5.167	4.912	2.447	2.112	2.071	
Gewinn aus Gewerbebetrieb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Steueranteil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SALDO	56 €	105 €	155 €	-1.270 €	-632 €	-1.261 €	-248 €	-108 €	-13.400 €	
Endwert	Ausgleichsgebot									
	Auszahlungen	3.180	3.185	3.190	4.671	4.422	4.301	3.973	3.932	
	Einzahlungen	3.236	3.289	3.345	3.402	3.789	3.040	3.725	3.825	
	Einzahlungsüberschüsse	56 €	105 €	155 €	-1.270 €	-632 €	-1.261 €	-248 €	-108 €	
	Guthaben (alt)	-	56	162	320	- 6.240	- 7.068	-16.677	- 17.449	
	Aufzinsung	-	57	165	327	- 6.435	- 7.290	-17.201	- 17.997	
Guthaben (neu)	56 €	162 €	320 €	-943 €	-7.068 €	-8.551 €	-17.449 €	-18.104 €		
							Vermögensendwert	-18.104 €		

Abbildung 10: Wirtschaftlichkeitsrechnung

Zunächst sollen die Ergebnisse der steuerlichen Betrachtung erläutert werden. Dabei ist festzustellen, dass kein steuerlicher Gewerbebetrieb vorliegt, da auch auf lange Sicht keine steuerlichen Gewinne mit dem Brennstoffzellen-Heizgerät erwirtschaftet werden. Dieser Umstand lässt aber nicht auf eine generelle Unvorteilhaftigkeit schließen, da sich die Bemessungsgrundlage bei der steuerlichen Gewinnermittlung und die relevanten Ertragsarten der oben abgebildeten Wirtschaftlichkeitsrechnung unterscheiden. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 11 verdeutlicht.

Ertragsart	Ertrag	BMG des steuerlichen Gewinns	Aufwand	realer Gewinn	steuerlicher Gewinn
Ø ersparte Stromkosten	33,72	4,70	20,36	13,36	-15,66
Ø ersparte Wärmekosten	6,32	20,36	20,36	-14,04	0,00
Ø eingespeister Strom	4,70	4,70	20,36	-15,66	-15,66

Abbildung 11: Vergleich steuerliche und reale Gewinne der Ertragsarten (alle Angaben in ct/kWh)

Die Bemessungsgrundlage des Eigenstromverbrauchs wird durchschnittlich 29,02 ct/kWh niedriger, die des Eigenwärmeverbrauchs dagegen 15,66 ct/kWh höher als die tatsächlich generierten Erlöse angesetzt. Da die durchschnittlichen Aufwendungen für eine erzeugte Einheit Energie der Bemessungsgrundlage des Eigenwärmeverbrauchs gleichgesetzt ist, die des Eigenstromverbrauchs und des eingespeisten Stroms jedoch deutlich übersteigt, werden keine steuerlichen Gewinne erzielt. Sogar wenn die Anschaffungs- und Wartungskosten mit Null angesetzt werden, behält diese Aussage Bestand, da der durchschnittliche Aufwand für eine Erdgaseinheit von 6,32 ct/kWh selbst dann größer als die Bemessungsgrundlage ist. Unter den gegebenen gesetzlichen Rahmenbedingungen ist das Betreiben eines Brennstoffzellen-Heizgeräts von einer natürlichen Person als steuerliche Liebhaberei zu bewerten. Die Vermögensendwertmethode braucht den Einfluss von Ertragsteuern also nicht zu berücksichtigen. Es ergibt sich somit über eine Nutzungsdauer von 20 Jahren für einen durchschnittlichen Vier-Personen-Haushalt ein negativer Vermögensendwert von -18.104,22 €, was einer jährlichen endwertbezogenen Rendite von -6,2 % gleichkommt. Die Investition ist unter den gegebenen Bedingungen somit eindeutig unvorteilhaft. Die folgende Abbildung stellt die Erträge und Aufwendungen überblicksartig gegenüber:

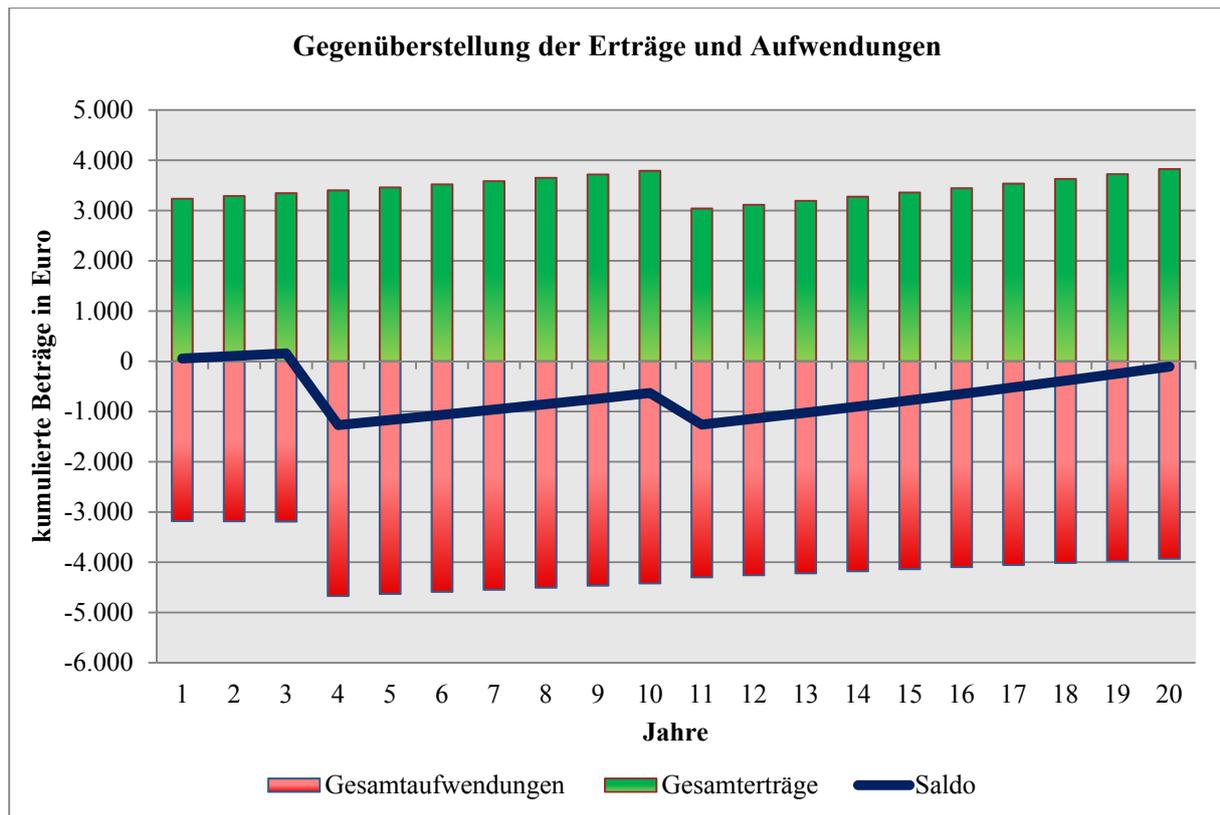


Abbildung 12: Gegenüberstellung der Erträge und Aufwendungen

Geringfügige Zahlungsüberschüsse ergeben sich lediglich in den drei tilgungsfreien Anlaufjahren. Die Kosten für den Betrieb der Anlage unterteilen sich in drei Hauptbestandteile: Finanzierung (Zins und Tilgung), Brennstoff- und Wartungskosten. Die Aufwendungen sind über den Zeitverlauf leicht rückläufig. Diese Bewegung ist fast ausschließlich auf die mit der kleiner werdenden Restschuld verbundenen sinkenden Zinsaufwendungen zurückzuführen. Ansonsten können die Aufwendungen als nahezu konstant betrachtet werden. Damit muss die Anschaffungsauszahlung einen deutlich geringeren Betrag ausweisen, um die Möglichkeit eines wirtschaftlichen Betriebs der Anlage zu schaffen. Eine Reduzierung der Anschaffungsauszahlung ist einerseits durch sinkende Produktionskosten, andererseits durch erhöhte Förderzuschüsse seitens des Staates möglich. Dagegen sind bei den Erträgen deutliche Divergenzen in der Höhe sowie der Zusammensetzung zu beobachten, die in Abbildung 13 noch einmal näher betrachtet werden sollen.

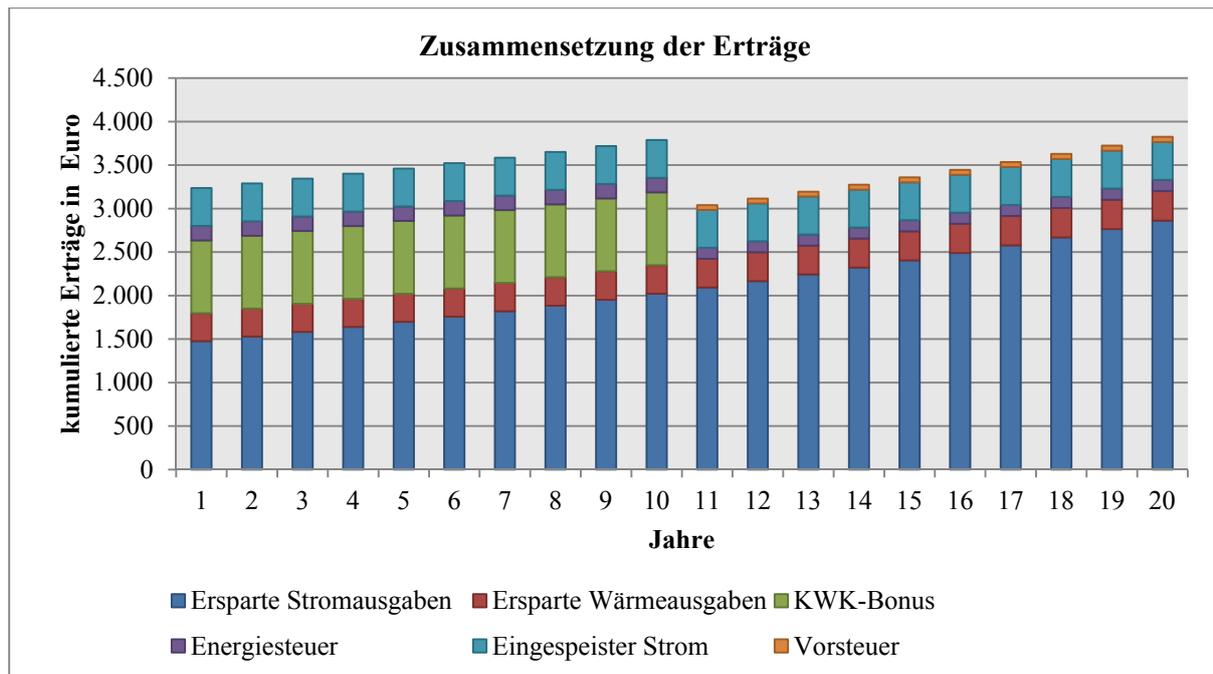


Abbildung 13: Zusammensetzung der Erträge

Zunächst ist festzustellen, dass die Erträge im 11. Jahr der Inbetriebnahme im Vergleich zur Vorperiode um ca. 20 % sinken. Hintergrund ist die auf zehn Jahre begrenzte Förderung durch den KWK-Zuschlag und die Reduzierung der Energiesteuerrückerstattung von 0,55 ct/kWh auf 0,42 ct/kWh. Des Weiteren ist ein stetiger Anstieg der ersparten Strom- und Wärmeausgaben zu beobachten, der aus den unterstellten steigenden Energiepreisen resultiert. Hierbei dominiert der Effekt aus den angenommenen Strompreisänderungen und den damit verbundenen ersparten Stromaushgaben. Ihr Anteil an den jährlichen Erträgen steigert sich über den Zeitverlauf von anfangs 46 % auf letztendlich 75 %. Es ist maßgeblich auf die ersparten Ausgaben für Strom zurückzuführen, dass trotz der geringeren staatlichen Förderung ab dem 11. Jahr im letzten Jahr der Betrachtung der Gesamtbetrag der Erträge aus der zehnten Periode überschritten wird. Insgesamt nehmen die ersparten Stromaushgaben den überwiegenden Anteil an den Erträgen ein. Somit lässt sich die These aufstellen, dass sich ein hoher Stromeigenbedarf vorteilhaft auf die Wirtschaftlichkeit der Investition auswirkt.

5 Sensitivitätsanalyse

Im Folgenden soll eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden, welche die Veränderung des Endwertes in Abhängigkeit einzelner ausgewählter Inputgrößen untersucht.⁹⁶ Hauptaugenmerk liegt auf der Ermittlung des Wertes, ab dem die Investition vorteilhaft wird. Dabei werden jeweils alle nicht betrachteten Pa-

⁹⁶ Vgl. Kruschwitz (2011), S. 304; Blohm/Lüder/Schaefer (2012), S. 230.

parameter als sicher und in Höhe ihres Wertes im Basisszenario angenommen. Aus Vereinfachungsgründen werden Ertragsteuern weiterhin ignoriert.⁹⁷

5.1 Energiebedarf und Energiekosten

5.1.1 Strombedarf

Im Abschnitt 4.2 wurde die These aufgestellt, dass sich ein hoher Stromeigenverbrauch positiv auf die Wirtschaftlichkeit des Untersuchungsobjekts auswirkt.

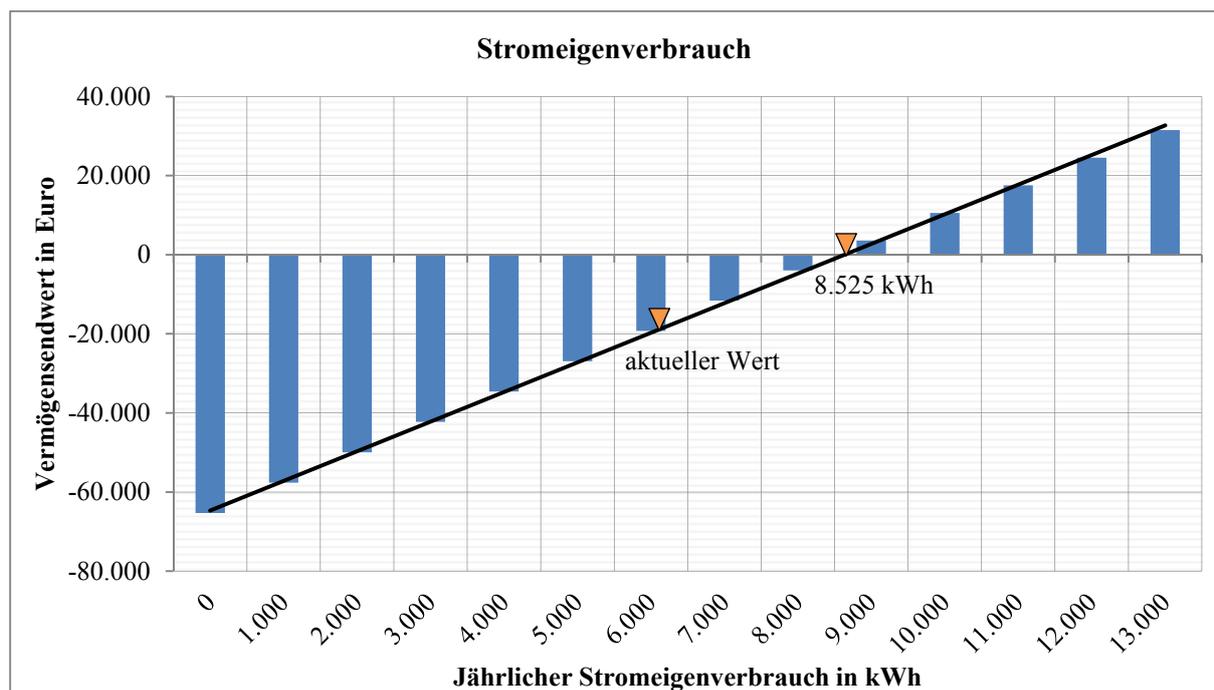


Abbildung 14: Sensitivität des Endwerts auf den jährlichen Stromeigenverbrauch

In Abbildung 14 zeigt sich ein linearer Zusammenhang zwischen den beiden Größen. Die Investition wird also umso rentabler, je höher der Eigenverbrauch am erzeugten Strom ist. Ab einem jährlichen Stromverbrauch von 8.525 kWh, was einer Steigerung von 39 % zum Ausgangswert entspricht, ist die Nutzung der Anlage rentabel. Somit ist auch unter den aktuellen Rahmenbedingungen ein wirtschaftlicher Betrieb möglich, sofern man einen überdurchschnittlichen Stromeigenverbrauch aufweist. Bei vollständigem Eigenverbrauch kann ein Endwert von 31.516,26 € erzielt werden, was einer jährlichen Rendite von 4,1 % entspricht.

⁹⁷ Dies stellt natürlich nur eine grobe Näherung dar, da bei Vorliegen eines steuerlichen Gewinns durch den Betrieb des Brennstoffzellen-Heizgeräts Ertragsteuern die Vermögensendwerte verringern.

5.1.2 Preissteigerung der Rohstoffe

Weiterhin soll untersucht werden, welchen Einfluss Energiepreissteigerungen ausüben.

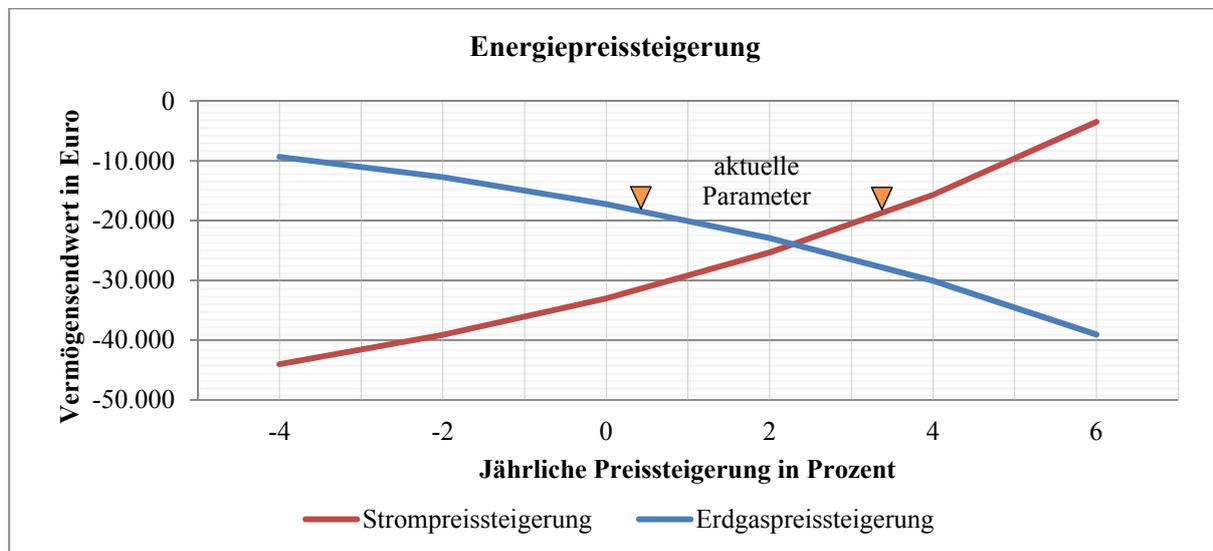


Abbildung 15: Sensitivität des Endwerts auf die jährliche Energiepreissteigerung

In Abbildung 15 ist einerseits zu sehen, dass der Endwert bei einer stärkeren jährlichen Strompreissteigerung ansteigt. Dieser Zusammenhang resultiert daraus, dass ein höherer Strompreis die Ersparnisse erhöht und sich damit positiv auf die Ertragsseite auswirkt. Andererseits sinkt der Endwert bei einer stärkeren Erdgaspreissteigerung. Zwar steigen infolge eines erhöhten Erdgaspreises ebenso die Ersparnisse, jedoch werden diese von den Mehrausgaben für die Brennstoffkosten übertroffen. Um die Rentabilitätsgrenze zu erreichen, bedarf es einer jährlichen Strompreissteigerung von 6,5 % (entspricht einer Erhöhung um 83 % zum Ausgangswert), die Erdgaspreise müssten jährlich um 15 % sinken.

5.2 Zinssatz

Der Vermögensendwert soll ebenso auf seine Sensitivität gegenüber den Zinssätzen geprüft werden. Das allgemeine Zinsniveau in Deutschland orientiert sich insbesondere am Leitzinssatz der Europäischen Zentralbank. Dieser befindet sich aktuell auf einem Rekordtief.⁹⁸ Es ist somit durchaus realistisch, dass sich die Zinsen in den kommenden Jahren wieder erhöhen.

⁹⁸ Vgl. dazu den historischen Überblick zu den Leitzinsen im Euro-Raum, verfügbar unter: <https://www.ecb.europa.eu/stats/monetary/rates/html/index.en.html> (Abruf am 24.11.2014).

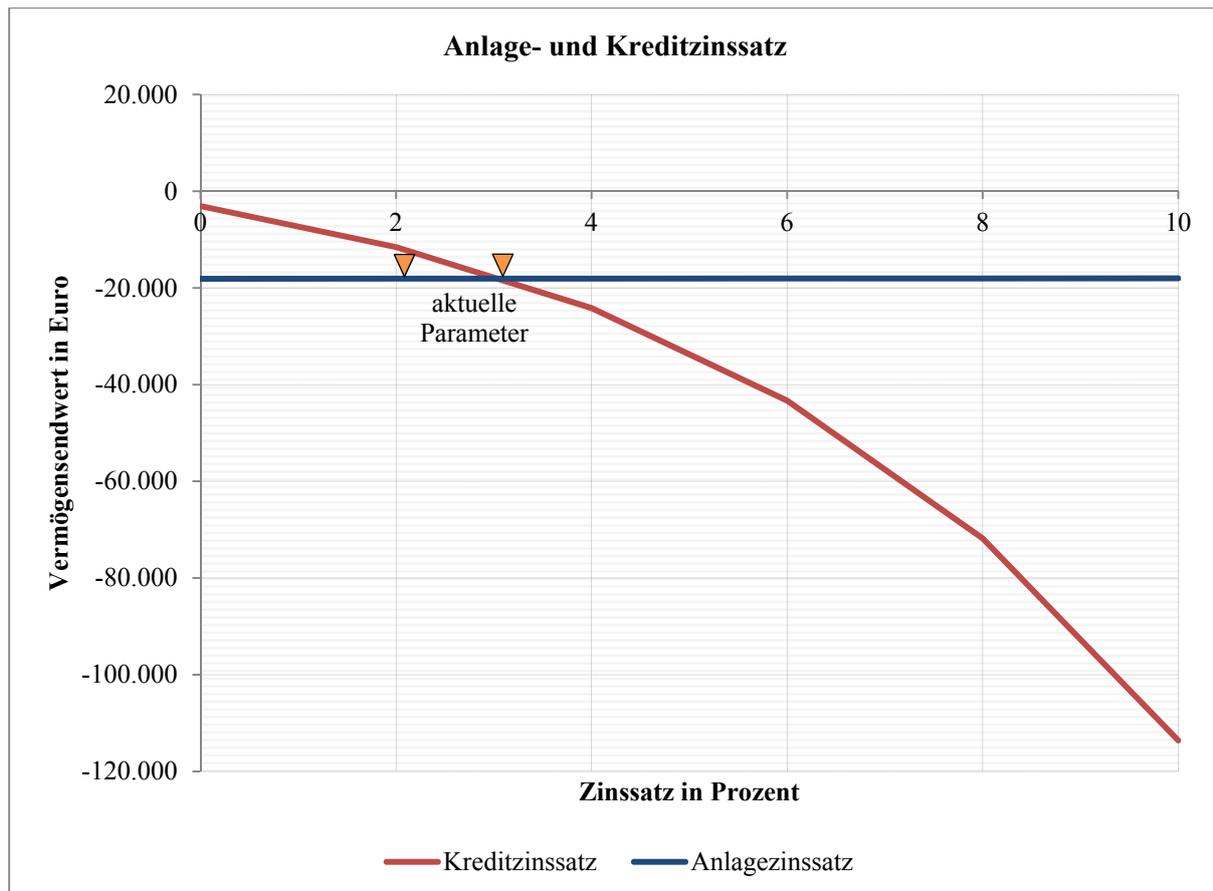


Abbildung 16: Sensitivität des Endwerts auf die Anlage- und Kreditzinsen

Abbildung 16 zeigt, dass beide Zinssätze einen progressiven Verlauf annehmen, was sich aus der Tatsache erklärt, dass mit steigendem Zins der Anteil der Zinseszinsen überproportional zunimmt. Es ist zu erkennen, dass der Vermögensendwert auf die Kreditzinsen empfindlicher reagiert. Zudem wird deutlich, dass keine (ökonomisch sinnvollen) kritischen Werte für die Zinssätze existieren und somit die Unvorteilhaftigkeit der Investition nicht allein auf die Zinssätze zurückzuführen ist.

5.3 Anschaffungsauszahlung

5.3.1 Senkung der Produktionskosten

Eine geringere Anschaffungsauszahlung ist auf verschiedenen Wegen möglich. Ein entscheidendes Kriterium ist die Senkung der Produktionskosten, verbunden mit einem reduzierten Verkaufspreis.⁹⁹ Ein enormes Potenzial besteht neben der stetigen technischen Optimierung in der Massenfertigung.¹⁰⁰ So kann ein Unternehmen gemäß dem Modell der Erfahrungskurve bei Erhöhung der kumulierten Produktionsmenge

⁹⁹ Eine Prognose zu den Wartungskosten ist mittelfristig nicht möglich.

¹⁰⁰ Beispielsweise besaß die Firma Ceramic Fuel Cells GmbH, Hersteller des in dieser Arbeit betrachteten Brennstoffzellen-Heizgerätes, in Deutschland im Geschäftsjahr 2013/14 die Kapazitäten, 1.500 Einheiten pro Jahr herzustellen; vgl. Ceramic Fuel Cells Limited (2013), S. 38. Hierbei wurden 210 Einheiten verkauft; Ceramic Fuel Cells Limited (2014), S. 1.

die durchschnittlichen Stückkosten senken.¹⁰¹ Dies ist zum einen durch Lerneffekte der Mitarbeiter möglich, zum anderen aber auch durch unternehmensübergreifende Erfahrungswerte hinsichtlich Prozessoptimierungen.¹⁰² Des Weiteren können durch Massenproduktion Größenvorteile erzielt werden, nach denen die durchschnittlichen Fixkosten je Produkteinheit mit zunehmender Produktionsmenge sinken.¹⁰³ Es bestehen somit begründete Annahmen, dass Brennstoffzellen-Heizgeräte in den nächsten Jahren enormes Kosteneinsparpotenzial besitzen, sodass der Verkaufs- bzw. Nettolistenpreis der Hersteller deutlich nach unten korrigiert werden kann. Gestützt wird diese These im Geschäftsbericht 2013 der Ceramic Fuel Cells Limited, in dem eine Kostenreduktion der Serie BlueGEN im Vergleich zum Vorjahr um 25 %¹⁰⁴ angegeben wird. Die Auswirkungen veranschaulicht die folgende Abbildung:

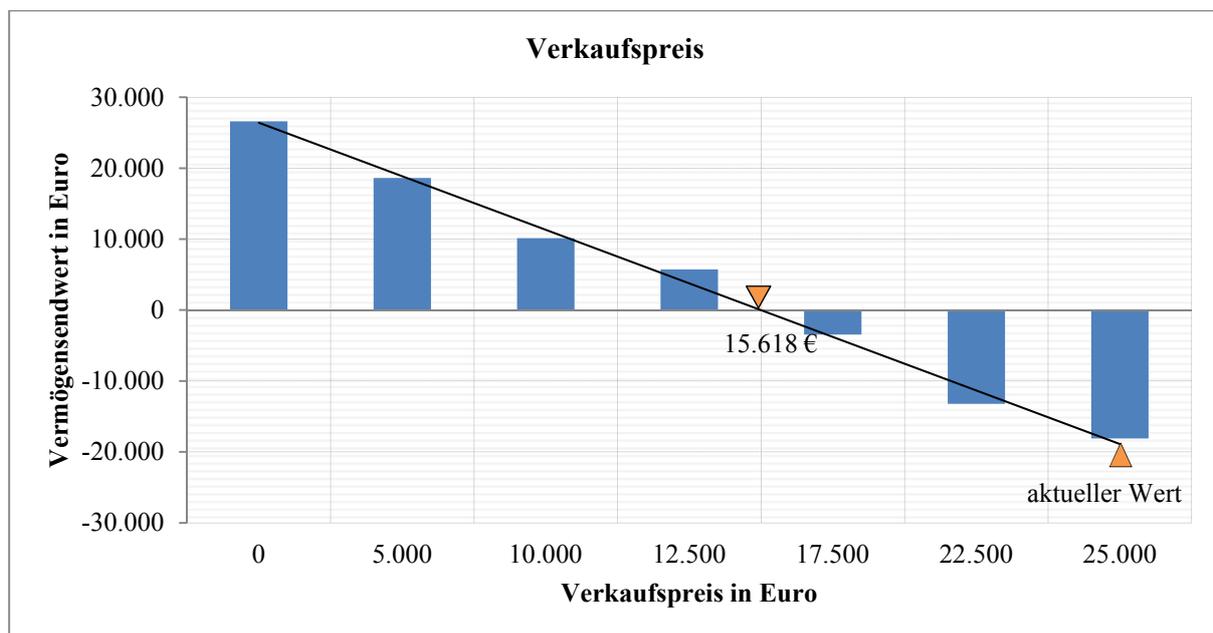


Abbildung 17: Sensitivität des Endwerts auf den Nettolistenpreis

Der Verlauf zeigt, dass der Vermögensendwert bei sinkendem Verkaufspreis annähernd linear steigt. Die Investition rentiert sich ab einem Nettolistenpreis von 15.618 €. Dies entspricht einer Reduktion um 37,5 % zum aktuellen Wert. In der folgenden Abbildung wird zusätzlich der Stromeigenbedarf berücksichtigt, wobei eine Festsetzung des Verkaufspreises auf 17.500 € (Senkung um 30 % gegenüber dem Ausgangswert) und 12.500 € (Senkung um 50 % gegenüber dem Ausgangswert) erfolgt.

¹⁰¹ Vgl. grundlegend z.B. Pindyck/Rubinfeld (2013), S. 358 ff.

¹⁰² Vgl. Dyckhoff/Spengler (2010), S. 94.

¹⁰³ Vgl. z.B. Pindyck/Rubinfeld (2013), S. 350 f.

¹⁰⁴ Vgl. Ceramic Fuel Cells Limited (2013), S. 6.

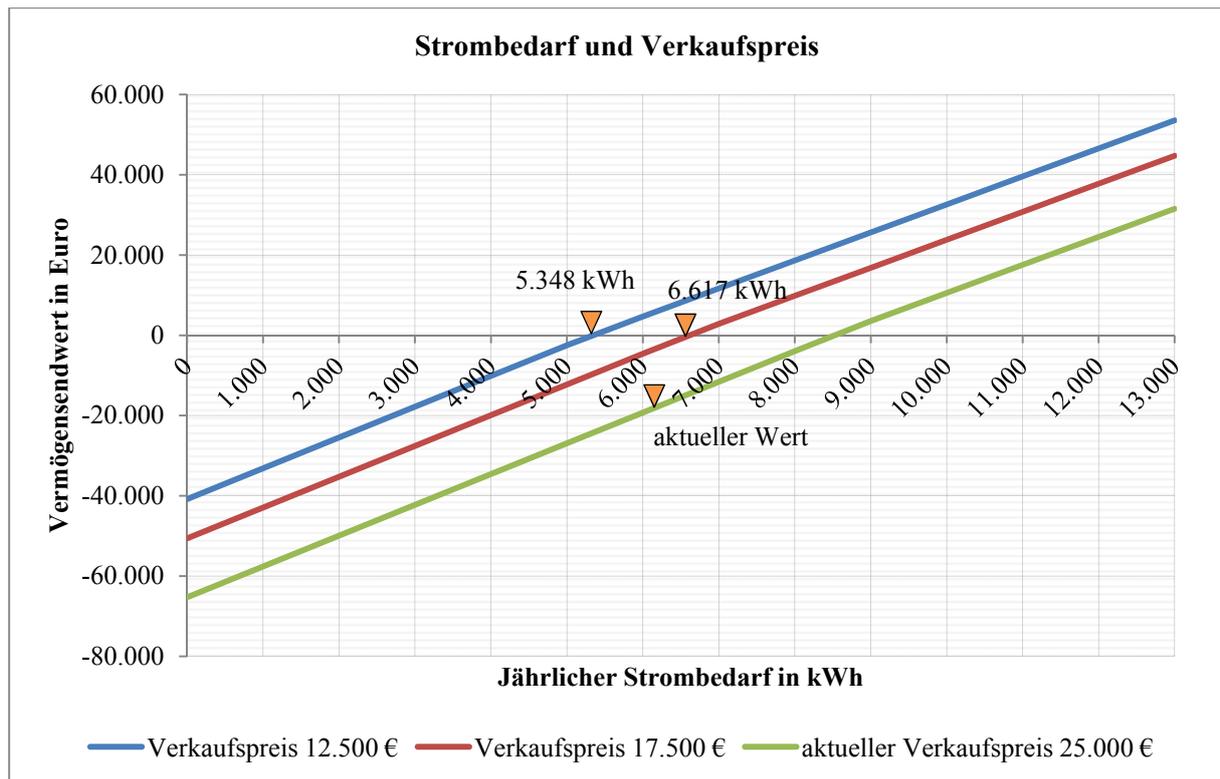


Abbildung 18: Sensitivität des Endwerts auf den Stromeigenverbrauch unter Berücksichtigung des Verkaufspreises

Es ist zu sehen, dass die Anlage bei einer Preissenkung um 50 % einen positiven Vermögensendwert von 5.734 € generiert. Weiterhin wird ersichtlich, dass das betrachtete Brennstoffzellen-Heizgerät bei einem Preis von 17.500 € bereits ab einem Stromeigenverbrauch von 6.617 kWh und bei einem Preis von 12.500 € ab einem Stromeigenverbrauch von 5.348 kWh rentabel arbeitet.¹⁰⁵ Durch Preissenkungen ist es also möglich, Brennstoffzellen-Heizgeräte einem breiten Markt als wirtschaftliche Alternative anzubieten.

5.3.2 Förderungsszenario

Damit produzierende Unternehmen eine Massenfertigung rechtfertigen können, bedarf es einer entsprechenden Anzahl an sicheren Aufträgen. Kurzfristig wird dies nur über ein effektives, zielführendes Förderprogramm möglich sein. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es, hierzu verschiedene Ansätze zu diskutieren. Es sollen drei Szenarien untersucht werden, wobei das erste eine reine öffentliche Förderung, das zweite eine ausschließliche Förderung von Seiten der Wirtschaft und das dritte eine kombinierte Variante darstellt. Die Idee des ersten Szenarios besteht in einem 50-prozentigen Zuschuss zum Verkaufspreis aus öffentlichen Mitteln. Ein durchschnittlicher Haushalt würde dabei einen Vermögensendwert von 5.734 € erzielen. Ferner wäre die Anlage bereits ab einem Stromeigenverbrauch von 5.348 kWh rentabel. Das entspricht den Ergebnissen zur Senkung des Verkaufspreises in Abschnitt 5.3.1. Die Förderung könnte

¹⁰⁵ Ein typischer Vier-Personen-Haushalt in einem Einfamilienhaus besitzt einen durchschnittlichen jährlichen Strombedarf von 6.150 kWh; vgl. Abschnitt 4.1.1.

jährlich auf ein maximales Volumen begrenzt werden und zeitlich befristet sein. Zudem wäre eine Kürzung der jährlichen Fördersumme entsprechend des Preisabfalls denkbar.

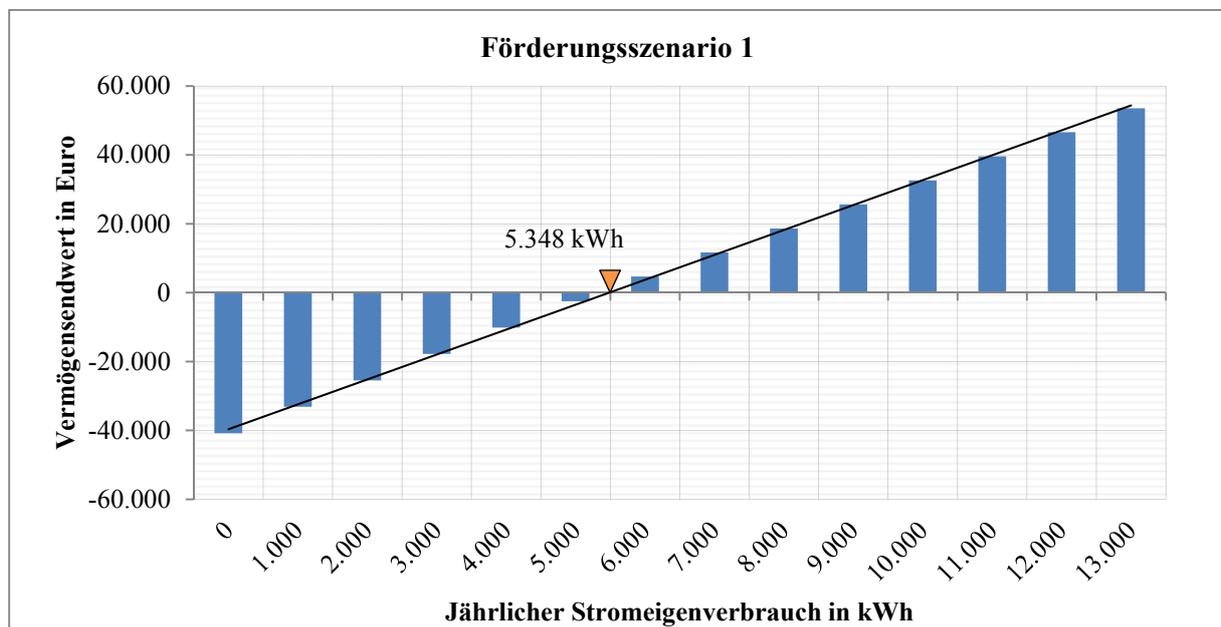


Abbildung 19: Auswirkungen des Förderungsszenarios 1 bezüglich des Stromeigenverbrauchs

Szenario zwei unterstellt eine ausschließliche Förderung seitens der Energieversorgungsunternehmen. Die Förderung besteht in einer höheren Vergütung des eingespeisten Stroms. Die Vorgehensweise ist an die des EEG angelehnt, wobei der Vergütungssatz 12 ct/kWh begrenzt auf eine Dauer von 20 Jahren betragen soll. Dieser Wert orientiert sich zum einen an den aktuellen tatsächlichen Herstellkosten¹⁰⁶ der Betreiber und zum anderen an den Fördersätzen des EEG. Dieses Szenario erzeugt einen negativen Vermögensendwert von -6.556 €. Die Anlage wäre unter diesen Umständen erst ab einem Stromeigenverbrauch von 7.333 kWh rentabel.

¹⁰⁶ Vgl. Abbildung 11.

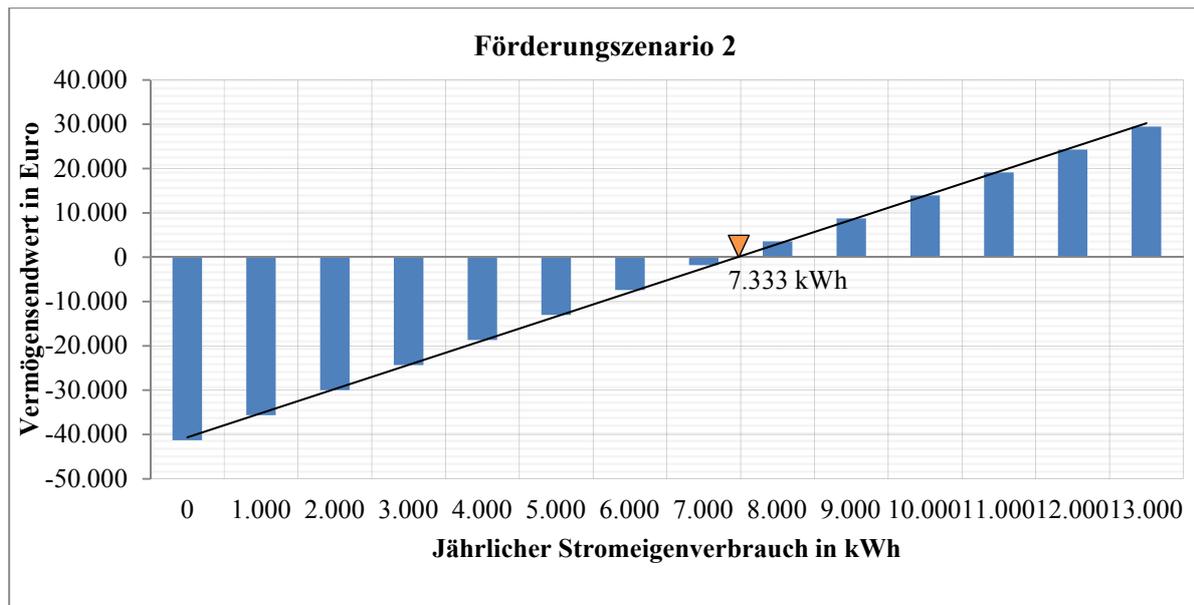


Abbildung 20: Auswirkungen des Förderungsszenarios 2 bezüglich des Stromeigenverbrauchs

Das dritte Szenario stellt eine kombinierte Förderung aus den ersten beiden Varianten dar. Der Grundgedanke der beiden Szenarien bleibt erhalten, jedoch sinkt der anteilige Zuschuss zum Nettoverkaufspreis aus öffentlichen Mitteln auf 30 % und die fixe Einspeisevergütung erfolgt nur für 10 Jahre. Dies entspricht dem Gedanken einer gerechten Verteilung auf alle Beteiligten, insbesondere vor dem Hintergrund, dass alle Seiten langfristig profitieren sollen. Abbildung 21 veranschaulicht das Ergebnis. Danach wird ein Vermögensendwert von 4.553 € erreicht, so dass sich das Brennstoffzellen-Heizgerät ab einem Stromeigenverbrauch von 5.418 kWh rentieren würde.

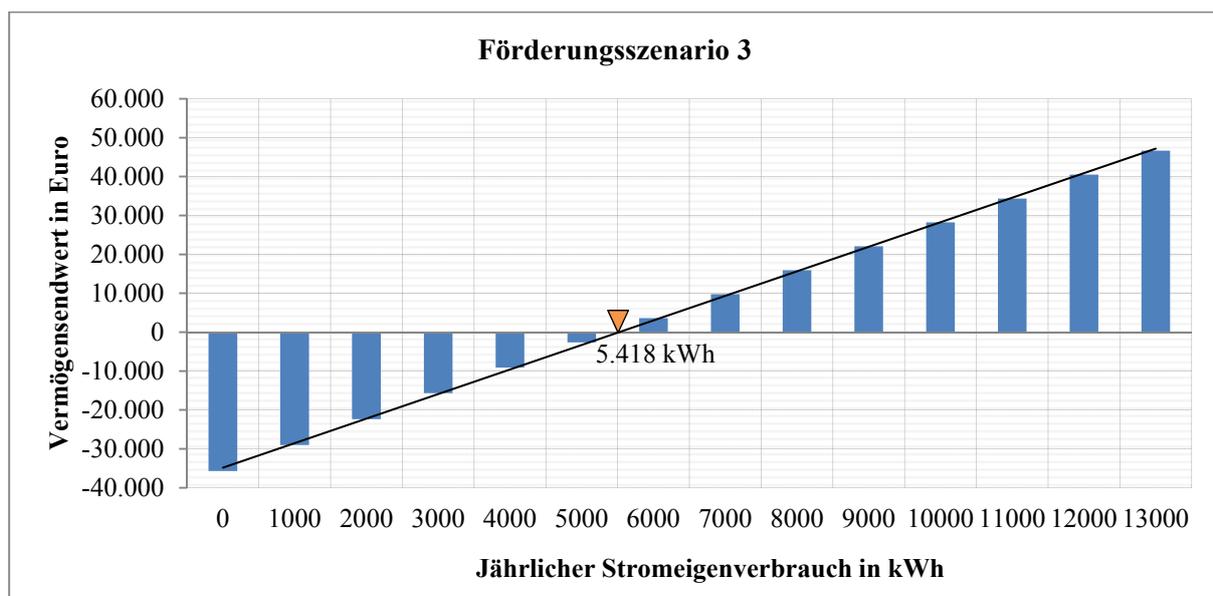


Abbildung 21: Auswirkungen des Förderungsszenarios 3 bezüglich des Stromeigenverbrauchs

Betrachtet man alle drei Szenarien, dann ist festzuhalten, dass das dritte Szenario das zielführendste Konzept darstellt. Zwar erzeugt das erste Szenario einen etwas höheren Vermögensendwert, viel interessanter ist jedoch die Zielgröße des kritischen Stromeigenbedarfs. Dieser fällt in Szenario drei nur 1,3 % höher aus als in Szenario eins. Die kombinierte Variante überzeugt zudem durch den Aspekt, dass die Gesamtinvestitionssumme nur geringfügig größer ist als bei ausschließlicher Förderung durch eine Seite, jedoch deutlich gerechter verteilt wird.

6 Fazit

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, zu beleuchten, inwieweit der Einsatz von Brennstoffzellen unter den aktuellen Rahmenbedingungen eine wirtschaftliche Alternative darstellt und welche Perspektiven sich aufzeigen. Es zeigte sich, dass die Investition in ein Brennstoffzellen-Heizgerät zur Nutzung in einem Einfamilienhaus bei einem durchschnittlichen Vier-Personen-Haushalt derzeit noch deutlich unvorteilhaft ist. Jedoch wurde im Rahmen der Sensitivitätsanalyse festgestellt, dass sich die Geräte bei einem überdurchschnittlichen Strombedarf auch unter den aktuellen Umständen rentieren können. Die zentrale Erkenntnis der Arbeit besteht allerdings darin, dass das größte Potenzial für die Öffnung eines breiten Marktes in der Senkung der Anschaffungsauszahlung besteht. Es ist absolut realistisch, dass bei einer Massenproduktion die Herstellkosten deutlich reduziert werden und damit auch der Verkaufspreis. Damit diese Produktion in großen Serien möglich wird, bedarf es eines Förderprogramms. Im Rahmen dieser Arbeit wurden hierzu verschiedene Ansätze vorgestellt und gezeigt, dass eine kombinierte Förderung aus öffentlicher Hand und von Seiten der Wirtschaft am zielführendsten für alle Beteiligten sein kann. Ohne Förderung dagegen werden Brennstoffzellen-Heizgeräte vermutlich mittelfristig den Status eines Nischenprodukts für Haushalte mit erhöhtem Strombedarf erlangen.

Allerdings sind die Ergebnisse auch einer kritischen Analyse hinsichtlich ihrer Aussagekraft und möglicher Schwächen zu unterziehen. Zum einen müssen hierbei die unterstellten Annahmen hinsichtlich des Untersuchungsobjekts aufgeführt werden. So handelt es sich bei dem Brennstoffzellen-Heizgerät der Serie BlueGEN um ein Gerät, das auf kleine Gewerbetreibende ausgelegt ist, die in der Regel einen hohen Strombedarf aufweisen. Die Anlage ist somit für die meisten Haushalte hinsichtlich ihrer elektrischen Leistung überdimensioniert. Alternative Brennstoffzellen-Heizgeräte können hier durchaus andere Ergebnisse erzeugen. Neben rein wirtschaftlichen Beweggründen existiert eine Vielzahl weiterer Motive, welche zur Anschaffung eines Brennstoffzellen-Heizgeräts führen könnten. Hierbei ist vor allem der mögliche Beitrag zum Erfolg der Energiewende zu nennen.

Anhang

Anhang 1 - Schriftliches Interview mit Herrn Saxo Dyzak, Ceramic Fuel Cells GmbH

Interviewpartner: Saxo Dyzak
Position: Key Account Manager
Institution: Ceramic Fuel Cells GmbH
Borsigstrasse 80
52525 Heinsberg
E-Mail: saxo.dyzak@cfcl.com.au
Eingang der Antworten: 10.07.2014, 11:37 Uhr

Auf welchen Betrag belaufen sich die Anschaffungskosten inkl. Montage?

Nettolistenpreis 25.000 €; Montage ist abhängig von den Objektbedingungen; bei Sanierung der gesamten Heizanlage ist von Zusatzkosten für die Installation des BlueGEN von ca. € 2.000 auszugehen

Wie hoch sind die jährlichen Wartungskosten?

Vollwartungskosten inkl. Austausch aller Verbrauchsteile inkl. Stack € 600 netto p.a. 10 Jahre

Welcher jährliche Brennstoffverbrauch ist zu erwarten?

Da der Stack über die Lebensdauer einem Wirkungsgradverlust unterliegt, ist derzeit von einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 55% auszugehen, dieser bezieht sich auf den unteren Heizwert, bezogen auf den abrechnungsrelevanten Brennwert (bzw. obere Heizwert, H_u , früher: H_o), ergibt sich bei 13.000 kWh el p.a. ein durchschnittlicher Verbrauch von ca. 26.000 kWh

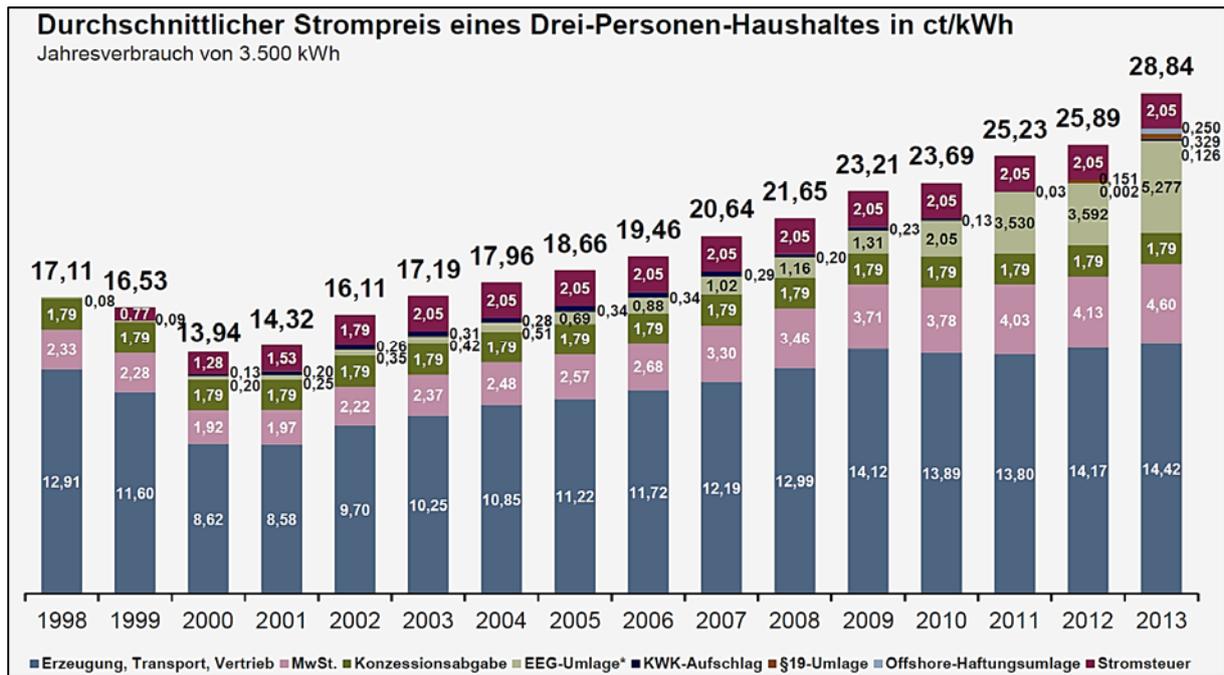
Welche Erträge müssen steuerlich berücksichtigt werden?

KWK-Zuschlag, Energiesteuererstattung, Einspeisevergütung, bei Privatverbrauch ggf. Privatentnahmen. Die Beträge der Energiesteuererstattung sowie der KWK-Zuschlag sind netto zu berücksichtigen.

Aus welchen Gründen muss bei einem BlueGEN Strom zusätzlich aus dem Netz eingespeist werden? Welcher Anteil ist hierbei anzunehmen?

Bedarfspitzen über 1,5 kW beim Kochen, Föhnen, Staubsaugen etc. müssen noch aus dem Netz bezogen werden. Wir haben einmal verschiedene Standardlastprofile von Einfamilienhäusern mit einem Jahresbedarf von 3-5.000 kWh zu Grunde gelegt und kamen auf eine Bedarfsabdeckung von ca. 85%.

Anhang 2 – Strompreisentwicklung von 1998 bis 2013



* ab 2010 Anwendung AusgleichMechV

Quelle: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2013), S. 6

Anhang 3 – Konditionenübersicht KfW-Programm 270 (Stand: 01.07.2014)**Konditionenübersicht für Endkreditnehmer**

in den Förderprogrammen der KfW Bankengruppe (Stand: 01.07.2014)

- die Festlegung des Zinssatzes erfolgt grundsätzlich bei Zusage durch die KfW -

Unser Service für Sie: Konditionen-Faxabruf unter +49 69 7431 4214

Programm Laufzeit/tilgungsfreie Anlaufjahre/Zinsbindung	KP- Nr.	Anmerkung	Maximaler Zinssatz EKN%									Aus- zah- lung %	Bereit- stellungs- provision p.M. % 2)	Zinssätze- gültig ab
			Sollzins (Effektivzins) ¹⁾											
			Bei Programmen mit risikogerechtem Zinssystem gelten die Preisklassen											
			A	B	C	D	E	F	G	H	I			

Finanzierung von Umweltinvestitionen															
KfW - Programm Erneuerbare Energien - Programmteil "Standard" 5/ 1/ 5	270	§)		1,20 (1,21)	1,45 (1,46)	1,85 (1,86)	2,15 (2,17)	2,65 (2,68)	3,25 (3,29)	3,95 (4,01)	4,45 (4,52)	5,55 (5,67)	100	0,25	01.07.2014
KfW - Programm Erneuerbare Energien - Programmteil "Standard" 10/ 2/ 10	270	§)		1,80 (1,81)	2,05 (2,07)	2,45 (2,47)	2,75 (2,78)	3,25 (3,29)	3,85 (3,91)	4,55 (4,63)	5,05 (5,15)	6,15 (6,29)	100	0,25	01.07.2014
KfW - Programm Erneuerbare Energien - Programmteil "Standard" 20/ 3/ 10	270	§)		2,20 (2,22)	2,45 (2,47)	2,85 (2,88)	3,15 (3,19)	3,65 (3,70)	4,25 (4,32)	4,95 (5,04)	5,45 (5,56)	6,55 (6,71)	100	0,25	01.07.2014
KfW - Programm Erneuerbare Energien - Programmteil "Standard" 20/ 3/ 20	270	§)		2,85 (2,88)	3,10 (3,14)	3,50 (3,55)	3,80 (3,85)	4,30 (4,37)	4,90 (4,99)	5,60 (5,72)	6,10 (6,24)	7,20 (7,40)	100	0,25	01.07.2014
KfW - Programm Erneuerbare Energien - Programmteil "Standard" - Photovoltaik 5/ 1/ 5	274	§)		1,20 (1,21)	1,45 (1,46)	1,85 (1,86)	2,15 (2,17)	2,65 (2,68)	3,25 (3,29)	3,95 (4,01)	4,45 (4,52)	5,55 (5,67)	100	0,25	01.07.2014
KfW - Programm Erneuerbare Energien - Programmteil "Standard" - Photovoltaik 10/ 2/ 10	274	§)		1,80 (1,81)	2,05 (2,07)	2,45 (2,47)	2,75 (2,78)	3,25 (3,29)	3,85 (3,91)	4,55 (4,63)	5,05 (5,15)	6,15 (6,29)	100	0,25	01.07.2014
KfW - Programm Erneuerbare Energien - Programmteil "Standard" - Photovoltaik 20/ 3/ 10	274	§)		2,20 (2,22)	2,45 (2,47)	2,85 (2,88)	3,15 (3,19)	3,65 (3,70)	4,25 (4,32)	4,95 (5,04)	5,45 (5,56)	6,55 (6,71)	100	0,25	01.07.2014
KfW - Programm Erneuerbare Energien - Programmteil "Standard" - Photovoltaik 20/ 3/ 20	274	§)		2,85 (2,88)	3,10 (3,14)	3,50 (3,55)	3,80 (3,85)	4,30 (4,37)	4,90 (4,99)	5,60 (5,72)	6,10 (6,24)	7,20 (7,40)	100	0,25	01.07.2014

1) Effektivzinssatz für die Dauer der Zinsbindungsfrist. Soweit in der Darlehenszusage nicht anders angegeben, wurden die ausgewiesenen Effektivzinssätze unter programmspezifischen Annahmen berechnet; sie gelten jeweils für den Fall, dass in dem jeweiligen Kreditprogramm taggenau die maximal möglichen Laufzeitjahre ab dem 30.12. des laufenden Kalenderjahres, die maximal mögliche Anzahl tilgungsfreier Anlaufjahre und der maximal mögliche Zinsbindungszeitraum in Anspruch genommen werden. Diese Daten sind dem Merkblatt des jeweiligen Kreditprogramms zu entnehmen. Von diesen Annahmen abweichende Darlehensbedingungen können im Einzelfall zu einem abweichenden Effektivzinssatz in der Darlehenszusage führen.

2) beginnend zwei Bankarbeitstage und einen Monat (vier Monate in den Programmen Wohneigentum, Altersgerecht Umbauen (159) und Wohnraum Modernisieren) nach Zusagedatum für noch nicht ausgezahlte Kreditbeträge.

3) die Ermittlung der Preisklassen ist in der Anlage zur Konditionenübersicht für den Endkreditnehmer zum Risikogerechten Zinssystem erläutert.

Quelle: <https://www.kfw-formularsammlung.de/KonditionenanzeigerINet/KonditionenAnzeiger?ProgrammNameNr=270%20274>
(Abruf am 04.07.2014)

Anhang 4 – Vollständige Wirtschaftlichkeitsrechnung

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Jahr	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aufwendungen	Wartung	714	714	714	714	714	714	714	714
	Brennstoffverbrauch	1.592	1.597	1.603	1.608	1.613	1.619	1.624	1.629
	Umsatzsteuer	85	85	84	84	83	82	82	81
	Steuer	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zinsen	789	789	789	789	742	696	649	603
	Tilgung	-	-	-	1.477	1.477	1.477	1.477	1.477
	Restschuld	25.113	25.113	25.113	23.635	22.158	20.681	19.204	17.727
	Gesamtaufwendungen	3.180 €	3.185 €	3.190 €	4.671 €	4.630 €	4.588 €	4.546 €	4.505 €
Erträge	Ersparte Stromausgaben	1.477	1.530	1.584	1.640	1.698	1.758	1.820	1.885
	Ersparte Wärmeausgaben	320	321	322	323	324	325	326	327
	KWK-Bonus	837	837	837	837	837	837	837	837
	Energiesteuer	167	167	167	167	167	167	167	167
	Eingespeister Strom	435	435	435	435	435	435	435	435
	Vorsteuer	-	-	-	-	-	-	-	-
	Gesamterträge	3.236 €	3.289 €	3.345 €	3.402 €	3.461 €	3.522 €	3.586 €	3.651 €
Umsatzsteuer	Vorsteuer	368	369	370	371	372	372	373	374
	USt Stromverbrauch	47	47	47	47	47	47	47	47
	USt Wärmeverbrauch	204	204	204	205	205	205	205	206
	USt Stromeinspeisung	203	203	203	203	203	203	203	203
	Forderung ggüber FA	- 85	- 85	- 84	- 84	- 83	- 82	- 82	- 81
Ertragsteuer	Eingespeister Strom	1.069	1.069	1.069	1.069	1.069	1.069	1.069	1.069
	Stromeigenverbrauch	246	246	246	246	246	246	246	246
	Wärmeeigenverbrauch	1.073	1.074	1.076	1.077	1.078	1.079	1.081	1.082
	Zuschüsse	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
	Vorsteuer	-	-	-	-	-	-	-	-
	Betriebseinnahmen	3.392	3.393	3.394	3.396	3.397	3.398	3.399	3.401
	Aufwendungen	2.727	2.731	2.735	2.740	2.698	2.656	2.614	2.572
	Abschreibung	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343	2.343
	Umsatzsteuer	85	85	84	84	83	82	82	81
	Betriebsausgaben	5.155	5.159	5.163	5.167	5.124	5.082	5.039	4.997
	Gewinn aus Gewerbebetrieb	-	-	-	-	-	-	-	-
Steueranteil	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SALDO	56 €	105 €	155 €	-1.270 €	-1.169 €	-1.066 €	-961 €	-854 €	-744 €
Endwert	Ausgleichsgebot								
	Auszahlungen	3.180	3.185	3.190	4.671	4.630	4.588	4.546	4.505
	Einzahlungen	3.236	3.289	3.345	3.402	3.461	3.522	3.586	3.651
	Einzahlungsüberschüsse	56 €	105 €	155 €	-1.270 €	-1.169 €	-1.066 €	-961 €	-854 €
	Guthaben (alt)	-	56	162	320	- 943	- 2.141	- 3.274	- 4.338
	Aufzinsung	-	57	165	327	- 973	- 2.209	- 3.377	- 4.474
	Guthaben (neu)	56 €	162 €	320 €	-943 €	-2.141 €	-3.274 €	-4.338 €	-5.328 €

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
714	714	714	714	714	714	714	714	714	714	714	14.280
1.640	1.645	1.651	1.656	1.662	1.667	1.673	1.678	1.684	1.689	1.695	32.861
80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	827
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
510	464	417	371	325	278	232	186	139	93	46	9.462
1.477	1.477	1.477	1.477	1.477	1.477	1.477	1.477	1.477	1.477	1.477	25.113
14.772	13.295	11.818	10.341	8.863	7.386	5.909	4.432	2.954	1.477	-	
4.422 €	4.301 €	4.260 €	4.219 €	4.178 €	4.137 €	4.096 €	4.055 €	4.014 €	3.973 €	3.932 €	82.543 €
2.021	2.092	2.166	2.243	2.323	2.405	2.490	2.578	2.670	2.764	2.862	41.958
329	330	331	333	334	335	336	337	338	339	340	6.597
837	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.369
167	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	2.947
435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	435	8.702
-	54	55	55	56	57	57	58	59	59	60	570
3.789 €	3.040 €	3.115 €	3.194 €	3.275 €	3.359 €	3.446 €	3.536 €	3.629 €	3.725 €	3.825 €	69.143 €
376	377	378	378	379	380	381	382	383	384	385	
47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	
206	206	207	207	207	207	208	208	208	208	209	
203	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	
- 80	54	55	55	56	57	57	58	59	59	60	
1.069	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	
246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	246	
1.084	1.086	1.087	1.088	1.090	1.091	1.092	1.094	1.095	1.096	1.098	
1.004	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	
-	54	55	55	56	57	57	58	59	59	60	
3.403	1.825	1.826	1.828	1.829	1.830	1.831	1.833	1.834	1.835	1.837	
2.488	2.447	2.405	2.363	2.321	2.279	2.238	2.196	2.154	2.112	2.071	
2.343	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4.912	2.447	2.405	2.363	2.321	2.279	2.238	2.196	2.154	2.112	2.071	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-632 €	-1.261 €	-1.144 €	-1.025 €	-903 €	-778 €	-650 €	-519 €	-385 €	-248 €	-108 €	-13.400 €
4.422	4.301	4.260	4.219	4.178	4.137	4.096	4.055	4.014	3.973	3.932	
3.789	3.040	3.115	3.194	3.275	3.359	3.446	3.536	3.629	3.725	3.825	
-632 €	-1.261 €	-1.144 €	-1.025 €	-903 €	-778 €	-650 €	-519 €	-385 €	-248 €	-108 €	
- 6.240	- 7.068	- 8.551	- 9.963	-11.301	-12.558	-13.731	-14.812	-15.796	-16.677	- 17.449	
- 6.435	- 7.290	- 8.819	-10.276	-11.656	-12.953	-14.162	-15.277	-16.292	-17.201	- 17.997	
-7.068 €	-8.551 €	-9.963 €	-11.301 €	-12.558 €	-13.731 €	-14.812 €	-15.796 €	-16.677 €	-17.449 €	-18.104 €	
						Rendite	-6,18%			Vermögensendwert	-18.104 €

Literatur

ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN e. V. (2013): Primärenergiegewinnung in Deutschland, verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiestatistiken-energiegewinnung-energieverbrauch,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf> (Abruf am 13.11.2014)

ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN e. V. (2014): Auswertungstabellen zur Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 1990-2013, Berlin, verfügbar unter: <http://www.ag-energiebilanzen.de/10-0-Auswertungstabellen.html> (Abruf am 14.11.2014)

ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN/ARBEITSGRUPPE ERNEUERBARE ENERGIEN-STATISTIK (2014): Primärenergieverbrauch in Deutschland 2013, Berlin, verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiestatistiken-energiegewinnung-energieverbrauch,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf> (Abruf am 13.11.2014)

BADENHOP, THOMAS (2014): Brennstoffzellen in der Hausenergieversorgung, in: Töpler, Johannes/Lehmann, Jochen (Hrsg.): Wasserstoff und Brennstoffzelle, Technologien und Marktperspektiven, Berlin/Heidelberg, S. 133-146

BLOHM, HANS/LÜDER, KLAUS/SCHAEFER, CHRISTINA (2012): Investition. Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und Investitionsrechnung, München

BUNDESAMT FÜR WIRTSCHAFT UND AUSFUHRKONTROLLE (2014): Mini-KWK-Anlagen: Liste der förderfähigen KWK-Anlagen bis einschließlich 20 kW_{el}, Eschborn, verfügbar unter: http://www.bafa.de/bafa/de/energie/kraft_waerme_kopplung/mini_kwk_anlagen/publikationen/liste_mini_kwk_anlagen_01_01_2014.pdf (Abruf am 19.11.2014)

BUNDESMINISTERIUM DER FINANZEN (2000): AfA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter (AfA-Tabelle „AV“), Fassung vom 15.12.2000, verfügbar unter: http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/2000-12-15-afa-103.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Abruf am 19.11.2014)

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2012): Richtlinien zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kW_{el}, verfügbar unter: http://www.bafa.de/bafa/de/energie/kraft_waerme_kopplung/mini_kwk_anlagen/vorschriften/rili_minikwk.pdf (Abruf am 17.11.2014)

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2014): Zweiter Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“, Berlin, verfügbar unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/zweiter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (Abruf am 13.11.2014)

BUNDESREGIERUNG (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, verfügbar unter: http://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (Abruf am 13.11.2014)

BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT e. V. (2013): BDEW-Strompreisanalyse November 2013: Haushalte und Industrie, Berlin, verfügbar unter: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/123176ABDD9ECE5DC1257AA20040E368/\\$file/131120_BDEW_Strompreisanalyse_November%202013.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/123176ABDD9ECE5DC1257AA20040E368/$file/131120_BDEW_Strompreisanalyse_November%202013.pdf) (Abruf am 19.11.2014)

BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT e. V. (2014): Energie-Info: Stromverbrauch im Haushalt, Berlin, verfügbar unter: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/6966C7CB65D8D8FAC1257D5E0043D565/\\$file/705_BDEW_Stromverbrauch%20im%20Haushalt_Stand_September%202014.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/6966C7CB65D8D8FAC1257D5E0043D565/$file/705_BDEW_Stromverbrauch%20im%20Haushalt_Stand_September%202014.pdf) (Abruf am 19.11.2014)

CALLUX (2014): Callux, Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim: Hintergründe und Aktivitäten, verfügbar unter: http://www.callux.net/files/medien/Callux_Standard_14-10-09.pdf (Abruf am 12.11.2014)

CERAMIC FUEL CELLS GMBH (2014): BlueGEN, das effizienteste Mikrokraftwerk der Welt, Datenblatt, Heinsberg, verfügbar unter: <http://www.ibz-info.de/modelle/ceramic-fuel-cells> (Abruf am 30.06.2014)

CERAMIC FUEL CELLS LIMITED (2013): Annual Report 2013, verfügbar unter: <http://www.ceramicfuelcells.de/fileadmin/Dokumente/Finanzberichte/20130927-CFCL-Annual-Report-202013-WEB.pdf> (Abruf am 20.06.2014)

CERAMIC FUEL CELLS LIMITED (2014): Cashflow Report for the June Quarter, verfügbar unter: http://www.ceramicfuelcells.de/fileadmin/Dokumente/Announcements/2014/20140730_-_ASX_Appendix_4C_Quarter_ended_30_June_2014__including_Commentary_.pdf (Abruf am 24.11.2014)

DEUTSCHE BUNDESBANK (2014): Kurse und Renditen börsennotierter Bundeswertpapiere, verfügbar unter: http://www.bundesbank.de/Redaktion/DE/Downloads/Service/Bundeswertpapiere/Rendite/kurse_renditen_bundeswertpapiere_2014_07.pdf?__blob=publicationFile (Abruf am 19.11.2014)

DYCKHOFF, HARALD/SPENGLER, THOMAS S. (2010): Produktionswirtschaft, Eine Einführung, 3. Auflage, Berlin

EICHLSEDER, HELMUT/KLELL, MANFRED (2012): Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik, Erzeugung, Speicherung, Anwendung, 3. Auflage, Wiesbaden

EUROPEAN ENERGY EXCHANGE AG (2014): Üblicher Strompreis gemäß KWKG-Gesetz, verfügbar unter: <http://www.eex.com/de/marktdaten/strom/spotmarkt/kwk-index/kwk-index-download> (Abruf am 19.11.2014)

HERING, EKBERT/MARTIN, ROLF/STOHRER, MARTIN (2012): Physik für Ingenieure, 11. Auflage, Heidelberg

JÖRISSSEN, LUDWIG/GARCHE, JÜRGEN (2014): Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen (PEFC): Stand und Perspektiven, in: Töpler, Johannes/Lehmann, Jochen (Hrsg.): Wasserstoff und Brennstoffzelle, Technologien und Marktperspektiven, Berlin/Heidelberg, S. 241-282

KARL, JÜRGEN (2012): Dezentrale Energiesysteme: Neue Technologien im liberalisierten Energiemarkt, 3. Auflage, München

KARAMANOLIS, STRATIS (2003): Brennstoffzellen, Schlüsselemente der Wasserstofftechnologie, Würzburg

KFW (2014): Merkblatt Erneuerbare Energien. KfW - Programm Erneuerbare Energien "Standard", verfügbar unter: <https://www.kfw.de/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-%28Inlandsf%C3%B6rderung%29/PDF-Dokumente/6000000178-Merkblatt-270-274.pdf> (Abruf am 30.06.2014)

KONSTANTIN, PANOS (2013): Praxisbuch Energiewirtschaft: Energieumwandlung, -transport und -beschaffung im liberalisierten Markt, 3. Auflage, Berlin

KREWITT, WOLFRAM/PEHNT, MARTIN/FISCHEDICK, MANFRED/TEMMING, HEINER V. (2004): Brennstoffzellen in der Kraft-Wärme-Kopplung: Ökobilanzen, Szenarien, Marktpotenziale, Berlin

KRUSCHWITZ, LUTZ (2011): Investitionsrechnung, 13. Auflage, München/Wien

KURZWEIL, PETER (2013): Brennstoffzellentechnik: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen, 2. Auflage, Wiesbaden

LEHNERT, WERNER/WANNEK, CHRISTOPH,/ZEIS, ROSWITHA (2010): Chapter 3: Trends in High-Temperature Polymer Electrolyte Fuel Cells, in: Steinberger-Wilckens, Robert/Lehnert, Werner (Hrsg.): Innovations in Fuel Cell Technologies, Cambridge (UK), S. 45-75

PAULUS, JOCHEN (2013): Brennstoffzellen-Heizgeräte vor der Serienreife, in: HLH – Heizung, Lüftung, Klima, Haustechnik, 10/2013, 64. Jg., S. 30-35

PERRIDON, LOUIS/STEINER, MANFRED/RATHGEBER, ANDREAS W. (2012): Finanzwirtschaft der Unternehmung, 16. Auflage, München

QUASCHNING, VOLKER (2013): Regenerative Energiesysteme. Technologie – Berechnung – Simulation, 8. Auflage, München

PINDYCK, ROBERT/RUBINFELD, DANIEL (2012): Mikroökonomie, 8. Auflage, München u.a.

REIF, BENJAMIN/ FOX, ALEXANDER (2014): Eine Analyse zur Wirtschaftlichkeit von virtuellen Kraftwerken, in: Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 12, TU Ilmenau

STAN, CORNEL (2012): Alternative Antriebe für Automobile: Hybridsysteme, Brennstoffzellen, alternative Energieträger, 3. Auflage, Berlin/Heidelberg

STRÖBELE, WOLFGANG/PFAFFENBERGER, WOLFGANG/HEUTERKES, MICHAEL (2012): Energiewirtschaft: Einführung in Theorie und Politik, 3. Auflage, München

THOMAS, BERND (2011): Mini-Blockheizkraftwerke: Grundlagen, Gerätetechnik, Betriebsdaten, 2. Auflage, Würzburg

THÜRINGER ENERGIE AG (2014a): ThüringenStrom.constant, Preisblatt, verfügbar unter: http://www.thueringerenergie.de/Dateien/Dokumente/the_vm36_ts_constant_1105_web.pdf, (Abruf am 20.06.2014)

THÜRINGER ENERGIE AG (2014b): ThüringenGas.24, Preisblatt Ausgabe 3. Quartal 2014 (3/14), verfügbar unter: http://www.thueringerenergie.de/Dateien/Dokumente/the_vm75_tg24_q3_2014_0325.pdf (Abruf am 20.06.2014)

THÜRINGER ENERGIE AG (2014c): Preisblatt für vermiedene Netzentgelte, verfügbar unter: http://www.thueringer-energienetze.com/Dateien/Dokumente/TEN_Preisblatt_VN_010114_endgueltig.pdf (Abruf am 20.06.2014)

WATTER, HOLGER (2013): Regenerative Energiesysteme: Systemtechnik und Beispiele nachhaltiger Energiesysteme aus der Praxis, 3. Auflage, Wiesbaden

WINKLER, WOLFGANG (2002): Brennstoffzellenanlagen, Berlin u.a.

Bisher in der Reihe „Schriften zur Finanzwirtschaft“ erschienene Arbeitspapiere:

Niederöcker, B.: Die Bedeutung von Business Angels für die Innovationsfinanzierung deutscher Unternehmen. Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 1, TU Ilmenau, 2000.

Trost, R.; Stelzer, D.; Dechant, H.: Ein Bewertungsansatz für Geschäftsmodelle der digitalen Ökonomie – dargestellt am Beispiel Application Service Providing (ASP). Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 2, TU Ilmenau, 2003.

Schonert, B.: Das europäische Emissionshandelssystem aus Anlegerperspektive. Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 3, TU Ilmenau, 2006.

Trost, R.: Berechnungsformeln für den Unternehmenswert unter der Annahme der Teilausschüttung. Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 4, TU Ilmenau, 2006.

Fox, A.; Hocker, R.-M.; Peetz, S.: Alternativen bei der Spielfilmfinanzierung in Deutschland. Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 5, TU Ilmenau, 2007.

von Heßling, W.: Finanzinstrumente des Devisenmarktes. Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 6, TU Ilmenau, 2009.

Weimar, D.; Fox, A.: Die Bewertung deutscher Fußballunternehmen mit Hilfe der Multiplikatormethode. Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 7, TU Ilmenau, 2010.

von Heßling, W.: Konzepte der traditionellen Wechselkursstheorie. Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 8, TU Ilmenau, 2010.

Fox, A.: Wie viel Mittelstand steckt in Mittelstandsanleihen?. Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 9, TU Ilmenau, 2012.

Heim, S.: Erklärungsansätze für die Finanzkrise aus dem Bereich der Behavioral Finance. Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 10, TU Ilmenau, 2013.

Fox, A.; Heim, S.: Nicht-Finanzmultiplikatoren in der Unternehmensbewertung – Eine Alternative zu Finanzmultiplikatoren?. Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 11, TU Ilmenau, 2013.

Reif, B.; Fox, A.: Eine Analyse zur Wirtschaftlichkeit von virtuellen Kraftwerken. Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 12, TU Ilmenau, 2014.

Appelt, M.; Fox, A.: Eine Analyse zur Wirtschaftlichkeit von Brennstoffzellen im Privatbereich. Schriften zur Finanzwirtschaft, Heft 13, TU Ilmenau, 2014.

Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften und Medien
Finanzwirtschaft/Investition
PF 10 05 65
98684 Ilmenau