

Das Projekt H2home

Stationäre Strom- und Wärmeversorgung mit wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen-BHKW

Matthias Block, Steffen Giesel, Andreas Herrmann und Norman Klüber

Wasserstoff, Brennstoffzelle, Wirtschaftlichkeit, BHKW, Effizienz, Odorierung

Das Ziel von „H2home“ war die Entwicklung eines integrativen Systems mit 5 kW elektrischer Leistung zur hocheffizienten Nutzung von elektrischer Energie, Wärme- und Kälteenergie, bereitgestellt auf Basis von 100 % grünem Wasserstoff. Dieses System ist charakterisiert durch:

- ein H₂-BHKW auf Basis von Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellen (NT-PEM-BZ),
 - ein H₂-basiertes Wärmeerzeugermodul inkl. Brennwertnutzung,
 - eine leistungselektronische Verbundlösung zur parallelen Nutzung der elektrischen Energie auf AC und DC Level
- Durch den systemischen Projektansatz wurde die bestmögliche Gebäudeintegration zur Erzielung einer maximalen Effizienz bei der Nutzung der bereitgestellten elektrischen (AC und DC) und thermischen Energie angestrebt. Anwendungsobjekte vor allem im Gewerbe, Handel-, Dienstleistungsbereich wurden intensiv auf Ihren Energiebedarf analysiert und es wurde der Nachweis des wirtschaftlichen Einsatzes dieser Technologie anhand eines Referenzgebäudes erbracht. Weiterhin wurde das Ziel eines elektrischen System-Wirkungsgrades (netto) von 50 % erreicht. Auch über den gesamten Arbeitsbereich ist der System-Wirkungsgrad recht homogen und unterliegt keinen großen Schwankungen. Im dynamischen Betrieb konnten hinreichend hohe Laständerungsgeschwindigkeiten erreicht werden, die für die Gebäudeenergieversorgung mehr als ausreichend sind. Das Systemkonzept und dessen Umsetzung erfüllt die gesetzlichen Anforderungen und ist für eine spätere Produktion auf Grund seines modularen Konzeptes gut geeignet. In Kooperation mit dem Projekt „H₂-Netz“ wurden spezifische Schnittstellenprobleme der Wasserstoffnutzung in Gebäuden projektübergreifend gelöst. Zu den Schnittstellenproblemen zählen vor allem Fragen zum H₂-Gasanschluss (Druckniveau, Qualität, Sicherheit) und die Odorierung von Wasserstoff bzw. die Auswirkungen des odorierten Wasserstoffs auf die PEM-BZ.

The projekt H2home

The approach of “H2home” was the development of an integrative system with 5 kW electrical power for the highly efficient use of electrical energy, heat and cooling energy, provided on the basis of 100 % green hydrogen. This system is characterized by:

- a H₂ CHP system based on low-temperature PEM fuel cells (LT-PEM-Fuel Cell),
- an H₂-based heat generator module including condensing boiler utilization,
- a power electronic composite solution for the parallel use of electrical energy at AC and DC level

The systemic approach to the project sought to achieve the best possible building integration to maximize efficiency in the use of electrical (AC and DC) and thermal energy. Target applications especially commercial and trade objects were intensely studied on their energy demand and economic viability could be proved by means of a reference building. Furthermore, the target of 50 % electrical system efficiency (net) was reached. Also over the entire working range, the system efficiency is quite homogeneous and is not subject to large fluctuations. In dynamic operation, sufficiently high load change speeds could be achieved, which are more than sufficient for building energy supply. The system concept and its implementation meets the legal requirements and is well suited for later serial production due to its modular concept. In cooperation with the project “H₂-Netz”, specific interface problems of hydrogen utilization in buildings were solved across projects. The interface problems mainly include questions about the H₂ gas connection (pressure level, quality, and safety) and the odorization of hydrogen or the effects of the odorized hydrogen on the LT-PEM-Fuel cell.

1. Hintergrund

Wasserstoffversorgte Gebäude sind eine vielversprechende Option für die zukünftige Energieversorgung durch erneuerbare Energieträger (insbesondere PV und Windkraft). Leistungsüberschüsse regenerativer Energien werden genutzt, um durch Elektrolyse Wasserstoff zu erzeugen, welcher über ein vorhandenes Wasserstoffnetz transportiert werden kann. Dieser Wasserstoff soll dann möglichst effizient auch in Gebäuden genutzt werden.

Der Aus- und Aufbau einer „grünen“ Wasserstoffwirtschaft im mittel- und ostdeutschen Raum ist das Hauptziel der Wasserstoff-Initiative Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany (kurz HYPOS), die im Jahr 2013 gegründet wurde. Die Initiative identifizierte unter anderem den Auf- und Ausbau der Infrastruktur als Grundlage für eine flächendeckende grüne Wasserstoffwirtschaft. Dementsprechend sind die Pipelinennutzung zum Wasserstofftransport und der Aufbau von Großspeichern wesentliche Elemente des HYPOS-Ansatzes. Die in der Region bereits vorhandenen Infrastrukturen und Potenziale, wie z. B. Kavernenspeicher, bieten dazu beste Voraussetzungen. So soll, ausgehend von der HYPOS-Roadmap, 2026 die erste Salzkaverne zur dynamischen Wasserstoffspeicherung betriebsbereit zur Verfügung stehen und durch Wasserelektrolyse gespeist werden. Mittlerweile befinden sich über 20 Projekte in der Umsetzung bzw. wurden abgeschlossen. Die Vorhaben verteilen sich entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Wasserstoffproduktion über Transport & Speicherung bis hin zur Wasserstoffverwertung.

Weltweit gibt es mehrere wasserstoffversorgte Gebäude. Allerdings handelt es sich ausschließlich um Inselanlagen. Diese haben den großen Nachteil, dass aufgrund der hohen Wasserstoffgestehungskosten die Energiekosten überdurchschnittlich hoch sind. Im vorliegenden Fall ist durch die Nutzung der vorhandenen Wasserstoffpipeline eine erhebliche Kostenreduktion möglich. Die Gesamtenergiekosten liegen dadurch im Bereich von alternativen Versorgungskonzepten (**Bild 1**).

2. Inhalt des Projekts H2home

Das Ziel des Forschungsprojektes „H2home“ war die Entwicklung eines integrativen Systems zur hocheffizienten Erzeugung und Nutzung von elektrischer Energie, Wärme- und Kälteenergie bereitgestellt auf Basis von 100 % grünem Wasserstoff. Dieses System ist charakterisiert durch:

- ein H₂-BHKW auf Basis von Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellen (NT-PEM-BZ),
- ein H₂-basiertes Wärmeerzeugermodul inkl. Brennwertnutzung (H₂-Spitzenlastbrenner),
- eine leistungselektronische Verbundlösung zur parallelen Nutzung der elektrischen Energie auf AC und DC Level.

In Kooperation mit dem Projekt „H₂-Netz“ wurden spezifische Schnittstellenprobleme der Wasserstoffnutzung in Gebäuden projektübergreifend bearbeitet. Zu den Schnittstellenproblemen zählen vor allem Fragen zum H₂-Gasanschluss (Druckniveau, Qualität, Sicherheit) und

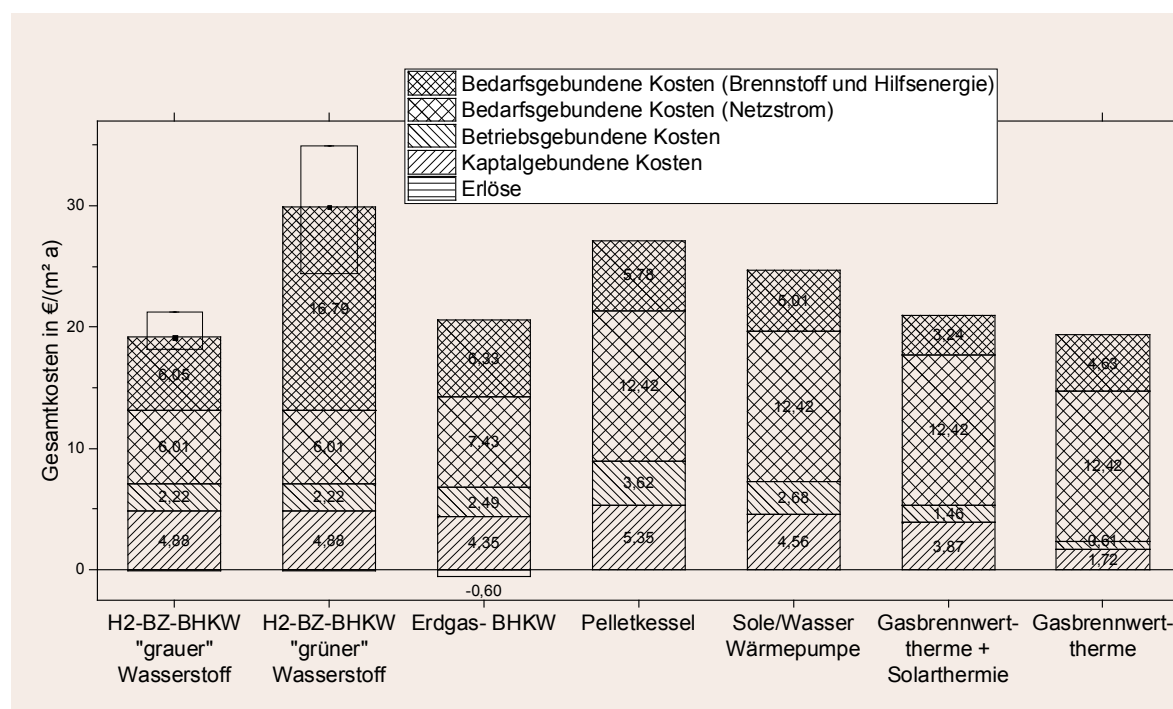


Bild 1: Vergleich des H2-BZ-BHKW mit anderen typischen Energieversorgungskonzepten in Gebäuden

die Odorierung von Wasserstoff bzw. die Auswirkungen des odorierten Wasserstoffs auf die PEM-BZ.

Im ersten Projektteil lag der Schwerpunkt auf der Entwicklung des BHKW und der Realisierung und Validierung eines Funktionsmusters mit 5 kW elektrischer Leistung. Das Projektkonsortium bestand aus folgenden Partnern:

- DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH
- ENASYS GmbH
- Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen (IWMS)
- inhouse engineering GmbH
- Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, Lehrstuhl für Gas- und Wärmetechnische Anlagen

Im anschließenden Evaluierungs- und Optimierungsprojekt H₂-home II, welches am 01.05.2019 gestartet wurde, wird der Nachweis der Praxistauglichkeit des kompletten H₂-BHKW-Systems im zweijährigen Dauerbetrieb im Energiepavillon auf dem H₂-Netz Versuchsgelände im Chemiepark Bitterfeld erbracht.

3. Entwicklung von Referenzlastzyklen und eines Gesamtenergiemodells zur Überprüfung der Wirtschaftlichkeit

Für die Identifizierung geeigneter Referenzgebäude und für die Abschätzung des Marktpotenzials erfolgte eine umfangreiche Analyse des Gebäudebestands, besonders mit Hinblick auf die unterschiedlichen Strom- und Wärmebedarfsprofile von Nichtwohngebäuden im Gewerbe-, Handels-, Dienstleistungssektor (**Bild 2**)

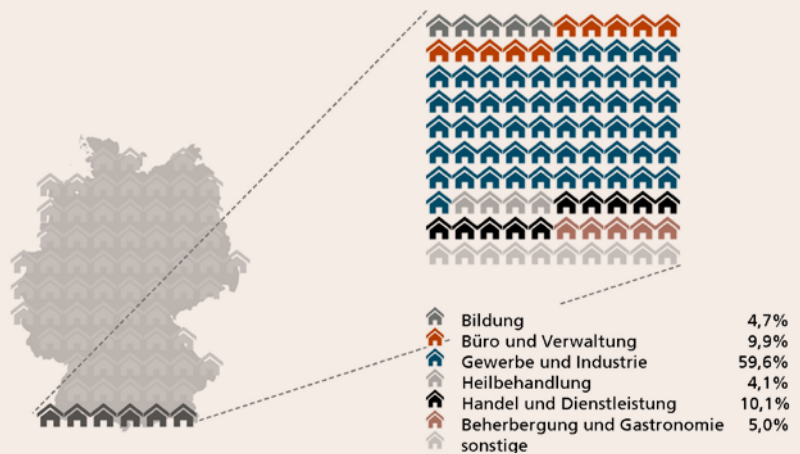
Es wurden für die Definition der Referenzgebäude hauptsächlich die Daten der Studien [1-4] ausgewertet und relevante Informationen systematisch verknüpft.

Die Gewerke wurden in sechs Nutzungsklassen zusammengefasst, wobei jeder Klasse 2-3 Gewerke mit ähnlichen Nutzungsprofilen zugeordnet sind. Jedem Gewerk wurden ein anhand statistischer Auswertung definiertes Referenzgebäude sowie entsprechende Standardlastprofile zugeordnet. Durch Auswertung der statistisch ermittelten mittleren Jahresverbräuche konnten für BHKW geeignete Nutzungsklassen eingegrenzt werden. Als eingrenzende Parameter standen neben der Datenverfügbarkeit, auch die Prognosesicherheit bzw. Eingrenzung der Streuung im Wärme- und Strombedarf, sowie die Relevanz am Markt (Anzahl Betriebe, Anteil am Gesamtverbrauch GHD). Des Weiteren wurde das Verhältnis der Strom- und Wärmeverbräuche ausgewertet (Strom-Wärme-Ratio), um geeignete Gewerke zu identifizieren. Anhand festgelegter Randbedingungen und Zuordnung verschiedener Baualtersklassen können die gebildeten Gebäudemodelle zur Simulation der thermischen Lastgänge herangezogen werden.

Um die elektrischen Lasten berücksichtigen zu können, wurden den Referenzgebäuden geeignete Stromlastprofile zugeordnet. Im Fokus standen dabei die Analyse real gemessener und die mögliche Synthetisierung von praxisnahen Stromlastprofilen. Anhand der Referenzlastprofile der VDI 4655 kann aktuell der Energiebedarf für Ein- und Mehrfamilienhäuser in Bezug auf Heizwärme, Warmwasser und elektrische Energie abgeschätzt werden. Für den Gebäude-, Handels- und Dienstleistungssektor gibt es derzeit noch keine geeigneten Referenzlastprofile.

Neben einer umfangreichen Literaturswertung zu aktuellen Referenzlastmodellen wurden daher die gemessenen Lastgänge (Viertelstundenwerte) von Gewerbekunden der Stadtwerke Halle und Dessau ausgewertet. Insgesamt standen die Jahres-Stromlastgänge von 19 Gewerken mit je drei Betrieben zur Verfügung. Diese wurden typolo-

Bild 2: Schematische Darstellung des Gebäudebestands in Deutschland (schwarz: Wohngebäude; hellgrau: unbeheizte Nichtwohngebäude; braun: beheizte Nichtwohngebäude)



gisiert und den o. g. Nutzungsklassen zugeordnet und mit den Standardlastprofilen abgeglichen. Die viertelstündlich aufgelösten Lastgänge wurden hinsichtlich Schwankungseffekte und abbildbare Regelmäßigkeiten untersucht, um passende Formfunktionen ableiten zu können. Im Ergebnis konnten ungeeignete Datensätze ausgeklammert und für Einzelfälle bereits parametrisierte Tagesprofile abgeleitet werden. Auf Grund der Anonymisierung der Datensätze durch die Stadtwerke lag der Schwerpunkt auf der Entwicklung geeigneter Methoden zur Lastgangprognose. Die Aufbereitung des Datensatzes wurde mithilfe der Scriptsplattform ipython und den Bibliotheken pandas und matplotlib durchgeführt. Dieses Vorgehen erlaubte die Daten aller Gewerbe und Standorte zu mittleren Datensätzen für charakteristische Zeiträume zu aggregieren. Diese sind insbesondere Arbeitswochen in Winter, Sommer und Übergangszeit, aber auch die jeweiligen Wochentage.

Bild 3 zeigt links den Tagesgang (workday, transition) eines großen Bankgebäudes, wobei die blauen Punkte, die über die komplette Jahreszeit gemittelten Viertelstundenwerte der Stromlasten anzeigen und die jeweiligen Streuungen um diese Mittelwerte in grau dargestellt sind. Die rote Linie stellt das daraus gewonnene synthetische Profil dar. Die rechte Grafik zeigt die gemessenen Daten (blaue Linie) im Vergleich zum synthetischen Profil (grüne Linie) exemplarisch für einen Wochenlastgang.

Die Wirtschaftlichkeit wurde zunächst anhand eines repräsentativen Mehrfamilienhauses mit vier Etagen und 16 Wohneinheiten untersucht. Auf jeder Etage befinden sich vier Wohneinheiten. Jede Wohneinheit wird durch eine Zone in der Simulation abgebildet. Daraus ergeben sich 17 simulierte Zonen (16 Wohneinheiten und Dachgeschoss). Die dafür relevanten Randbedingungen sind in **Tabelle 1** dargestellt, welche sich an den Vorgaben der

Tabelle 1: Wichtige Nutzungsbedingungen des Referenzgebäudes gemäß DIN V 18599

Wert	Einheit	MFH
Tägliche Nutzungsdauer	-	00:00 – 24:00
Nutzungstage im Jahr	D	365
Raumtemperatur (Heizen)	°C	20
Raumtemperatur (Kühlen)	°C	25
Tägliche Betriebszeit (Heizung)	-	06:00 – 23:00
Luftwechselrate	1/h	0,6

DIN V 18599 („Energetische Bewertung von Gebäuden“) orientieren.

Die Simulationen der Energie- und Stoffströme im Rahmen dieser Arbeit wurden mit dem Programm TRN-SYS® (Solar Energy Laboratory of the University of Wisconsin) durchgeführt. Die Ergebnisse des energetischen Modells dienen als Grundlage zur ökonomischen Bewertung des Versorgungssystems entsprechend der dynamischen Annuitätenmethoden. Gemäß VDI 2067 („Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen“) wird innerhalb der Investitionsrechnung in Zahlungen und Erlöse unterschieden. Zahlungen bestehen aus einmaligen Zahlungen und regelmäßigen Zahlungen. Es wird weiterhin in kapitalgebundene Kosten, betriebsgebundene Kosten und bedarfsgebundene Kosten unterschieden.

3.1 Einfluss der Wasserstoffkosten

Zur Herstellung von Wasserstoff wird zwischen verschiedenen Erzeugungspfaden unterschieden. Der größte Anteil des genutzten Wasserstoffs wird derzeit durch Dampfreformierung in großen industriellen Anlagen er-

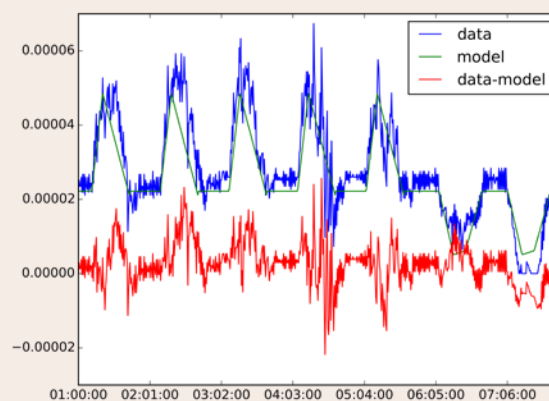
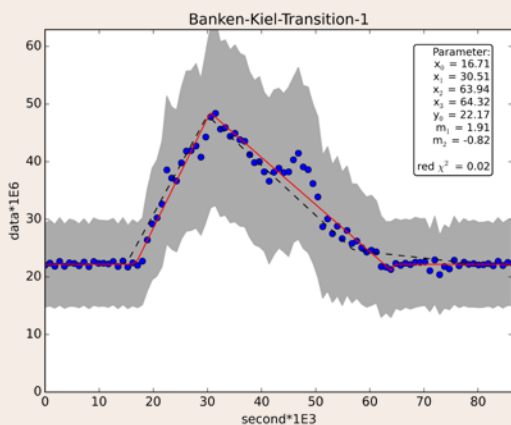


Bild 3: Gemittelter Tagesgang, Streuung und synthetisches Profil / normierter Wochenlastgang und synthetisches Profil

zeugt. Weiterhin sind Elektrolysetechnologien am Markt verfügbar, welche mittels elektrischer Energie aus PV, Windenergieanlagen, Wasserkraftwerken oder fossilen Rohstoffen (Erdgas, Kohle) Wasserstoff generieren.

Die Kosten der verschiedenen Technologien zur Wasserstoffproduktion wurden in der Literatur detailliert untersucht. **Bild 4** zeigt einen zusammenfassenden Vergleich der Kosten der verschiedenen Herstellungspfade aus 14 Literaturquellen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Studien auf unterschiedlichen Annahmen bezüglich der Randbedingungen (z. B. Investitionskosten, betriebsgebundene Kosten, bedarfsgebundene Kosten, Anlagengröße etc.) beruhen.

Im Vergleich mit anderen Energieträgern (Erdgas, Öl, Elektroenergie, Holzpellets) variieren die Produktionskosten für Wasserstoff sehr stark. Deshalb werden für die Ermittlung der Gesamtkosten die zahlreichen unterschiedlichen Literaturwerte statistisch ausgewertet (unteres Quartil, Median, oberes Quartil) und entsprechend weiterverwendet.

Für die folgenden Auswertungen wurden zwei besonders aussichtsreiche Herstellungspfade der Wasserstoffproduktion berücksichtigt:

- Herstellung von Wasserstoff aus Erdgas mittels Dampfreformierung (unteres Quartil Q1: 0,032 €/kWh; Median Q2: 0,042 €/kWh; oberes Quartil Q3: 0,063 €/kWh)
- Herstellung von „grünem“ Wasserstoff mittels Elektrolyse aus Elektroenergie von Windenergieanlagen (un-

teres Quartil Q1: 0,095 €/kWh; Median Q2: 0,150 €/kWh; oberes Quartil Q3: 0,201 €/kWh)

Weiterhin erfolgte ein Vergleich von dem entwickelten H₂-BZ-BHKW mit anderen typischen Heizsystemen (**Bild 1**). Für die Ermittlung der Gesamtkosten werden zusätzliche Nebenkosten (Kosten für den Transport vom Erzeuger zum Gebäude) in Höhe von 0,015 €/kWh berücksichtigt [5]. Die energetische Bilanzierung der alternativen Gebäudeenergieversorgungskonzepte erfolgt nach DIN V 18599 („Energetische Bewertung von Gebäuden“) mit der Software Hottgenroth®. Die Unterschiede zwischen den verwendeten Anlagenkonzepten sind moderat. Die geringsten Gesamtkosten besitzen der Gasbrennwertkessel und das H₂-BZ-BHKW, wenn „grauer“ Wasserstoff (zentrale Dampfreformierung) eingesetzt wird. Bei Verwendung von „grünem“ Wasserstoff sind die Kosten etwas höher als beim Holzpelletkessel oder den Wärmepumpen.

Bild 1 zeigt, dass die Kosten für Elektrizität aus dem Netz (Netzbezugskosten) bei Systemen ohne Eigenstromnutzung 12,42 €/m² a) und damit ca. 50 % der Gesamtkosten betragen. Durch den Einsatz eines H₂-BZ-BHKW lassen sich diese auf 6,01 €/m² a), d. h. um ca. 50 % reduzieren. Aufgrund des geringeren elektrischen Wirkungsgrades ist bei Einsatz eines Erdgas-BHKW eine Reduktion um lediglich 40 % möglich.

Die ermittelten Kosten der verschiedenen Versorgungskonzepte werden durch einen Vergleich mit Werten aus der Literatur prinzipiell bestätigt [6-8]. Derzeit weist das H₂-BZ-BHKW mit „grünem“ Wasserstoff ähnlich hohe Gesamtkosten wie ein Pellet Kessel auf. Unter Berücksichtigung der typischen Kosten für Biomethan (z. B. aus Biogasanlagen) von 0,1 €/kWh [NSH17], würden anderen Energieversorgungssysteme wie das Erdgas-BHKW, der Gasbrennwertkessel in Kombination mit Solarthermie oder der Gasbrennwertkessel ähnlich hohe Gesamtkosten aufweisen wie das H₂-BZ-BHKW mit „grünem“ Wasserstoff.

4. Sicherheitskonzept

Zu Beginn der Entwicklung des H₂-BZ-BHKW mit dem integrierten H₂-Wärmeerzeuger wurden relevante Normen auf Ihre Anwendbarkeit geprüft und im Verlauf mit einer akkreditierten Stelle diskutiert. Daraufhin wurde festgelegt, dass das H₂-BHKW nach den Anforderungen der Norm EN 50465 zu entwickeln und sich dabei auf Brenngase nach Gasfamilie 1 mit hohem H₂-Anteil zu berufen. Weiterhin wurde die Norm DIN EN / IEC 62282-3-100:2012, welche auch 100 % Wasserstoff als Brennstoff berücksichtigt ergänzend hinzugezogen. Beim H₂-Wärmeerzeuger wurden ergänzend die Normen und Richtlinien DIN EN298, DIN EN 15502, Arbeitsblatt G 260 sowie TA Luft berücksichtigt.

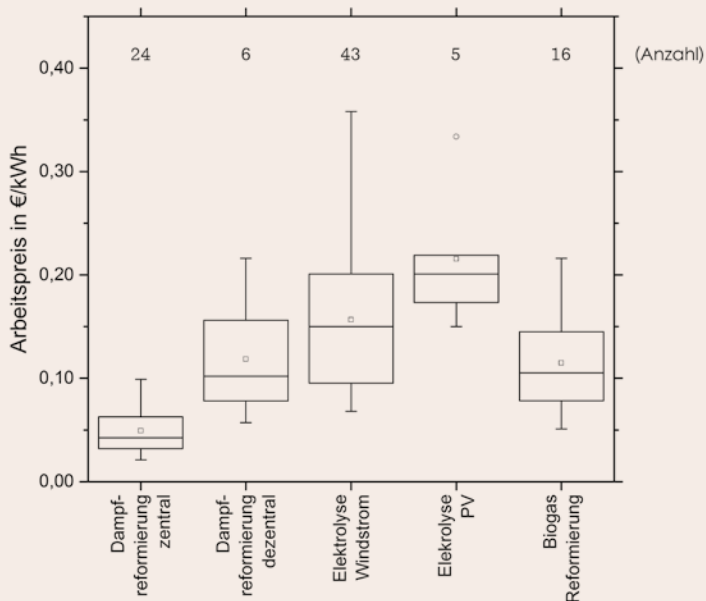


Bild 4: Wasserstoffherstellungskosten verschiedener Technologien (Auswertung von Literaturquellen)

Nach Abschluss der Konzeptentwicklung und ersten Testergebnissen der neu entwickelten Komponenten konnte im zwölften Projektmonat das *Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg DVGW-Prüflaboratorium Energie* mit der Erstellung eines sicherheitstechnischen Gutachtens des Gesamtkonzepts beauftragt werden. Nach dem positiven Prüfbescheid konnte mit der finalen Umsetzung des H₂-BHKW begonnen werden.

Ergänzend und in Vorbereitung des späteren Einsatzes am Wasserstoffversuchsnetz des Projekts H₂-Netz wurden auch Sicherheitsbetrachtungen nach TRBS 2142 gemeinsam mit dem TÜV Süd und weiteren Vertretern aus dem Projekt H₂-Netz durchgeführt.

5. Testung von Schwefelfreien Odormitteln in Wasserstoff für PEM-Brennstoffzellen

Ein weiterer wichtiger Forschungsgegenstand war die Testung von schwefelfreien Odormitteln mit PEM Brennstoffzellen. Odormittel sind in Gasnetzen ein wichtiger Bestandteil des Sicherheitskonzeptes. Schwefelhaltige Odormittel sind allerdings für die gesamte Palette von Brennstoffzellentechnologie hinderlich. Daher wurde als weiterer wichtiger Forschungsgegenstand die Auswirkungen von schwefelfreiem Odormittel auf PEM-Brennstoffzellen untersucht.

Für die BZ-Stack Testung mit odorisiertem H₂ wurde von DBI-GUT speziell hergestelltes Prüfgas bereitgestellt. Dieses bestand aus H₂ mit Qualität 5.0 und 66 ppm Odor-gas Gasodor S-free.

S-free besteht aus einer Mischung von Ethylacrylat >50 %, Methylacrylat 25-49 % und 1-5 % 2-Ethyl-3-Methylpyrazine. S-free wird gewöhnlich in Konzentrationen zwischen 2-4 ppm eingesetzt.

Das Prüfgas wurde im Teststand über einen Mass-Flow Controller in den H₂-Feedkreis für den BZ-Stack parallel zum nicht odorisierten H₂ eingespeist. Dadurch konnte der BZ-Stack (lastabhängig) mit Odormittelkonzentrationen zwischen 0 und 22 ppm beaufschlagt werden.

In **Bild 5 und 6** sind exemplarisch Zellspannungsverläufe des BZ-Stack bei Beaufschlagung mit S-free haltigem H₂ dargestellt. **Bild 5** zeigt die Variation der Konzentration bei konstanter Stromdichte, **Bild 6** zeigt Beaufschlagung mit konstanter Konzentration bei variierender Stromdichte. Die einzelnen Messungen hatten folgenden Ablauf:

- Start BZ-Stack mit Anfahrphase bei nicht odorisiertem H₂
- Beaufschlagung mit Odormittel bis zum eingeschwungenen Zustand der Zellspannungen
- Wechsel auf reinen H₂-Betrieb
- Stopp

Wie aus den Abbildungen zu erkennen ist gibt es einen Konzentrations- und Stromdichte abhängigen Zellspannungsverlust. Je höher die Konzentration bzw. die Stromdichte desto höher der relative Verlust. Dabei zeigt sich eine sehr gut reproduzierbare ca. zweistündige Einschwingphase, nach welcher die Zellspannung nicht weiter durch das Odormittel beeinflusst wird. Bei Rückkehr zu nicht odorisiertem H₂-feed regenerieren sich die Zellspannungen. Der Wirkmechanismus des Odormittels scheint daher durch schwache Adsorptionsbindungen der Komponenten auf den Anoden Katalysator gekennzeichnet zu sein, welche bei reinem H₂ wieder nahezu vollständig desorbieren. Das Verhalten ähnelt einer CO- Beaufschlagung.

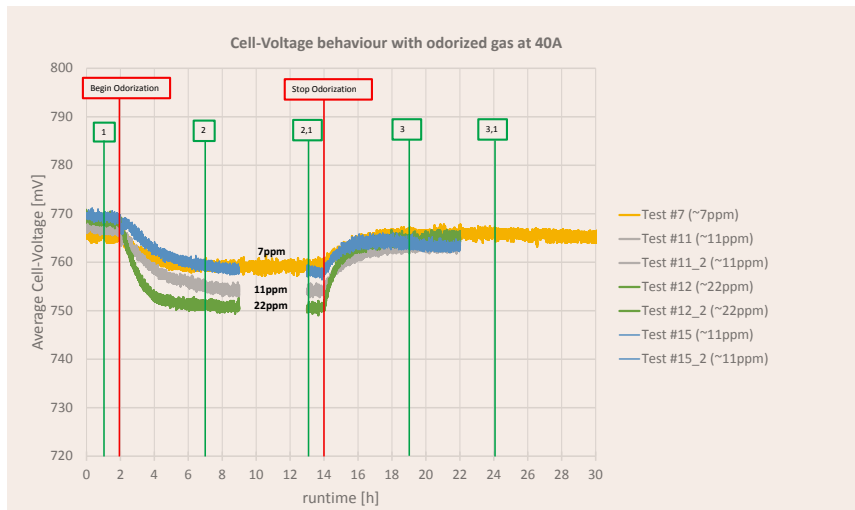


Bild 5: Auswirkung von S-free in verschiedenen Konzentrationen auf Zellspannungen BZ-Stack

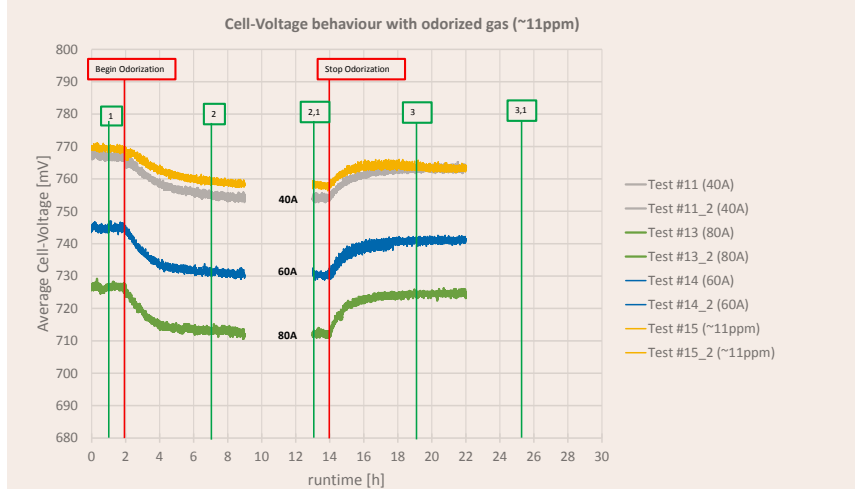


Bild 6: Auswirkung von S-free in Variation Stromdichte auf Zellspannungen BZ-Stack

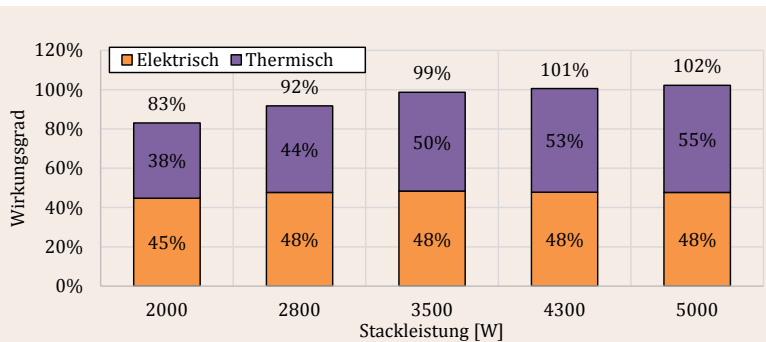


Bild 7: Erreichte Wirkungsgrade über Betriebsbereich

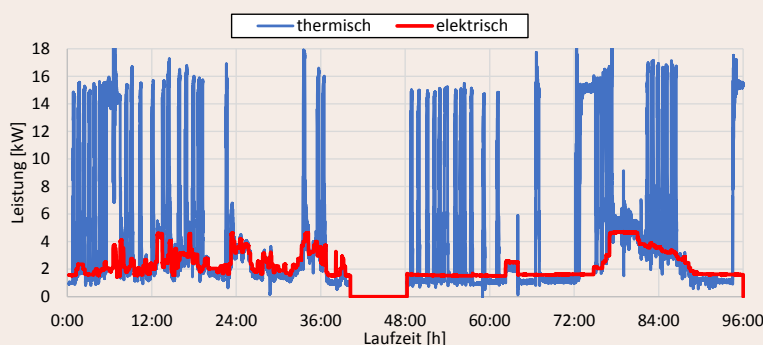


Bild 8: Messdaten synthetisches Lastprofil

Bild 9: Versuchsumgebung auf H₂-Netz Versuchsgelände



Bild 10: H₂-BHKW in Versuchsumgebung auf H₂-Netz Versuchsgelände



Anschließend an die Orientierungsmessungen wurde ein Langzeittest über ca. 180 h mit ca. 8 ppm Odorstoff durchgeführt. Als Ergebnis kam es zu höheren Werten (+55 %) bei der Zellspannungsstabilität (reversibler Leistungsverlust) im Vergleich mit den Referenzmessungen. Allerdings gibt es insgesamt bei der Stabilität eine hohe Schwankungsbreite (+/- 25 %). Da die Langzeitmessungen aufgrund der begrenzten Gasmenge (odorierter H₂) nicht wiederholt werden konnte, ist die Aussagekraft gering. Als vorläufiges Fazit kann aber festgehalten werden, dass bei Einsatz eines schwefelfreien Odormittels, eine NT-PEM Brennstoffzelle direkt mit odoriertem H₂ betrieben werden kann, und Filterlösungen entfallen können. Dies ist ein wesentlicher Beitrag zu reduzierten Wartungskosten auch durch verlängerte Wartungszyklen, sowie eine weitere Erhöhung der Sicherheit.

6. Funktionstest der Komponenten und Validierung des Gesamtmodells

Nach Endmontage und den entsprechenden Funktionsprüfungen wurde das H₂-BHKW auf einem Versuchsstand bei DBI-GUT umfassend getestet. Im Ergebnis konnten sehr gute Messergebnisse erzielt werden. Für die entscheidenden Größen Netto-Gesamtwirkungsgrad und Emissionen konnten die folgenden Werte erzielt werden.

- Leistung H₂-Spitzenlastbrenner: 12 kW
- Gesamtwirkungsgrad mit Spitzenlastbrenner: 104 % (leistungsunabhängig, Rücklauftemperatur: 30°C, Vorlauftemperatur variiert abhängig von Durchfluss und Leistung)
- Gesamtwirkungsgrade ohne Spitzenlastbrenner sind in Bild 7 dargestellt

Emissionsmessungen zu NO_x Emissionen des H₂-Brenners ergaben über den gesamten Betriebsbereich des BHKW Werte < 30 mg/kWh.

Das durch den Projektpartner Fraunhofer IMWS erstellte synthetische komprimierte Lastprofil konnte auf dem Versuchsstand erfolgreich im Dauertest gefahren werden. Dabei konnte das Verhalten der Brennstoffzelle in einem sehr realitätsnahen Betrieb untersucht werden (Bild 8).

7. Zweite Projektphase – Energiepavillon am H₂-Netz

Aktuell läuft die zweite Projektphase des Projekts H2home. Dabei wurde das H₂-BHKW in einer Testumgebung (Bild 9 und 10) auf dem H₂-Netz Versuchsgelände in Bitterfeld-Wolfen mit diesem gekoppelt. In der Versuchsumgebung wurde ein Kapillarrohrsystem zur kombinierten Heizung/Kühlung installiert, durch welches ei-

ne hohe Effizienz des Gesamtversorgungssystems gezeigt werden soll. Als Kälteerzeuger wird dazu im Projektverlauf eine reversible Wärmepumpe auf DC Ebene mit dem H₂-BHKW gekoppelt.

Gemeinsam mit dem Projekt H₂-Netz wird besonders das Thema Wasserstoffodorierung weiter erforscht. Es ist geplant, neben schwefelfreien auch schwefelhaltige Odormittel im H₂-Netz zu testen. Im Projekt H2home wurde dafür ein entsprechender Adsorber-Filter für Schwefelverbindungen entwickelt, welcher im Dauerbetrieb des H₂-BHKW im Energiepavillon im Chemiepark Bitterfeld erprobt wird.

Dank

Das dieser Veröffentlichung zugrundeliegende Verbundvorhaben „H2home - Dezentrale Energieversorgung mit Wasserstoff-Brennstoffzellen“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der „Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany (HYPOS)-Initiative“ unter dem Förderkennzeichen 03ZZ0709 gefördert.



Literatur

- [1] BMVBS-2013- Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude
- [2] BMWi-2015- Energieverbrauch des Sektor GHD in Deutschland 2011-2013
- [3] IWU-2015- Deutsche Wohngebäudetypologie
- [4] Synwoldt-2014 -Versorgungsansätze für Gewerbegebiete
- [5] Nitsch, J.: Potentiale der Wasserstoffwirtschaft. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 2003
- [6] BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: BDEW-Heizkostenvergleich Neubau. 2016
- [7] Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH: EnEV 2017 - Vorbereitende Untersuchungen. Studie im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Kassel. 2016
- [8] Leipziger Institut für Energie GmbH: Vollkostenvergleich von Heizsystemen - Mehrfamilienhaus Bestand. Studie für BHKW-Systeme GmbH. 2011

Autoren



Matthias Block

inhouse engineering GmbH |
Berlin |
Tel.: +49 30 65762581 |
m.block@inhouse-engineering.de



Steffen Giesel

DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH |
Freiberg |
Tel.: +49 3731 4195-323 |
steffen.giesel@dbi-gruppe.de



Andreas Herrmann

Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von
Werkstoffen und Systemen IMWS |
Außenstelle Kohlenstoffkreislauftechnologien |
Freiberg |
Tel.: +49 3731 39-4424 |
andreas.herrmann@imws.fraunhofer.de



Norman Klüber

Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von
Werkstoffen und Systemen IMWS |
Halle |
Tel.: +49 345 5589-249 |
norman.klueber@imws.fraunhofer.de