



**Auf Brennstoffzellen-Heizgeräte vorbereiten!**  
Leitfaden für die Ausbildung in Berufsschulen und  
überbetrieblichen Berufsbildungsstätten für das  
SHK- und Elektrotechnik-Handwerk

**Auf Brennstoffzellen-Heizgeräte  
vorbereiten!**

wurde im Auftrag Marktpartner im  
Callux-Projekt entwickelt und verfaßt durch:

Manfred Hoppe,  
Forschungsgruppe Praxisnahe Berufsbildung

Klaus Schulz und Frank Weimann,  
Max-Taut-Schule, Berlin

Die Gestaltung der Broschüre erfolgte durch  
die ModernLearning GmbH Berlin.

**Bildnachweis**

Callux: Abbildung 1-5, 7/8, 11-20  
Weidner, Lutz: CC-BY-SA-2.0-DE; GNU Free  
Documentation License: Abbildung 6  
pixelio, Rainer Sturm: Abbildung 9  
pixelio, JMG: Abbildung 10  
Max-Taut-Schule: Abbildung 21/22

Stand: 14.03.2012

# Inhalt

1. Vorbemerkungen
2. Mit Brennstoffzellen-Heizgeräten energieeffizient Strom und Wärme bereitstellen
3. Arbeits- und Geschäftsprozesse bei Brennstoffzellen-Heizgeräten
4. Auslegung und Installation von Brennstoffzellen-Heizgeräten – am Beispiel eines Musterhauses
5. SOL-basierter Ansatz für die Callux-Ausbildungsangebote
  - 5.1. SOL-Ansatz und -Elemente
  - 5.2. Advance Organizer
  - 5.3. Kann-Listen
  - 5.4. Gruppenpuzzle
  - 5.5. Strukturlegen
6. Die Lern- und Ausbildungssituationen zu Brennstoffzellen-Heizgeräten
  - 6.1. Brennstoffzellen-Heizgeräte als Thema der Ordnungsmittel in der schulischen Berufsausbildung
  - 6.2. Das Callux-Informationsprogramm „Zukunftsfähige Energieversorgung mit Brennstoffzellen-Heizgeräten“
  - 6.3. Die Lern- und Ausbildungssituationen im Überblick
  - 6.4. Zum Einsatz der Lern- und Ausbildungssituationen in der Ausbildung
  - 6.5. Der Aufbau der Lern- und Ausbildungssituationen
7. Resümee



## 1. Vorbemerkungen

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist gefragt. Sie gilt als hocheffiziente Form der Nutzung von Brennstoffen. Als Blockheizkraftwerke (BHKW) für größere Gebäudekomplexe und für gewerbliche Zwecke ist diese Technologie seit Längerem bekannt; sie führt bisher allerdings ein Nischendasein. Damit dürfte es aber bald vorbei sein.

Zum einen haben Hersteller dezentrale KWK-Anlagen für Ein- bis Zweifamilienhäuser entwickelt, die sowohl für den Bestand als auch Neubau bestens zur Grundversorgung mit Wärme und Strom geeignet sind.

Zum anderen sind Brennstoffzellen-Heizgeräte (BZH) für Häuser mit geringem Energiebedarf – für den Bestand und Neubau gleichermaßen geeignet – im Kommen. Hersteller kündigen den Markteintritt ab 2013 an. Die BZH sind aufgrund ihrer Funktionsweise (elektrochemische Wandlung statt Verbrennung) noch effizienter als Motor-BHKW.

Die berufliche Erstausbildung hat auf diese Entwicklungen einzugehen und dafür zu qualifizieren.

## 2. Mit Brennstoffzellen-Heizgeräten energieeffizient Strom und Wärme bereitstellen

In den vergangenen Jahren haben sich die Begriffe Energieeffizienz und Erneuerbare Energien in der Diskussion um eine zukunftsfähige Energieversorgung etabliert. Dabei ist die KWK-Technik besonders gut aufgestellt, da die Vorteile der gekoppelten Energieumwandlung energiepolitisch unbestritten sind. Brennstoffzellen-Heizgeräte als besonders energieeffiziente KWK-Anlagen werden von namhaften Herstellern entwickelt und am Markt angeboten.

KWK-Anlagen erweitern die Vielfalt der heute bereits etablierten Geräte und Anlagen. Beispielhaft seien genannt:

- ▶ Brennwertechnik-Heizkessel (Erdgas/Heizöl)
- ▶ Sonnenkollektoren
- ▶ Elektrische Wärmepumpe
- ▶ Holzpellet-Heizkessel.

Verbunden damit geht ein Trend zu polyvalenten Systemen einher – immer öfter werden unterschiedliche Geräte und Anlagen kombiniert, um bestimmten Anforderungen oder Anliegen zu genügen bzw. zu entsprechen.

Dabei geht es dann nicht mehr allein um Technik, auch Information und Beratung, Service und Wartung, Akquisition und Kundenbetreuung gewinnen an Gewicht. Kundenorientierung gilt als das dienstleistungsfähigste Element des Handwerks schlechthin und ist für gestaltende und beratungsintensive Berufe des Handwerks von tragender Bedeutung. Neben fachbezogenen Qualifikationen sind daher auch soziale Kompetenzen für die Erbringung einer Dienstleistung zu berücksichtigen.

### Kraft-Wärme-Kopplung

Zunächst ist auf gute Gründe für die Verwendung von KWK-Anlagen zu verweisen. Die herkömmliche Energieversorgung kann in ihrer jetzigen Form dauerhaft nicht aufrecht erhalten werden. Dafür sprechen:

- ▶ Schwindende Rohstoffe
- ▶ Weltweit wachsender Energiebedarf
- ▶ Steigende Energiekosten
- ▶ Globaler Klimawandel.

Gefragt ist eine andere Energieversorgung. KWK-Anlagen weisen eine hohe Energieeffizienz durch dezentrale und gekoppelte Erzeugung mit Nutzung von Wärme und Strom auf. Der Energieverbrauch wird deutlich reduziert und gleichzeitig der CO<sub>2</sub>-Ausstoß verringert.

KWK steht für Kraft-Wärme-Kopplung und liegt vor, wenn aus einem Energieträger sowohl Wärme als auch Kraft (Bewegung, Strom) erzeugt und genutzt werden.

Das Kürzel BHKW steht für Block-Heiz-Kraft-Werk und bezeichnet eine KWK-Anlage in kompakter Bauweise.

Der Begriff Mikro-BHKW wird verwendet, wenn es sich um Anlagen mit Leistungen handelt, die für Einfamilienhäuser und kleine Wohnblöcke – also Objekte mit geringem Wärmebedarf – geeignet sind.

Werden Strom und Wärme in den entsprechenden KWK-Anlagen nicht konventionell, sondern durch elektrochemische Wandlung zur Verfügung gestellt, dann sprechen wir von Brennstoffzellen-Heizgeräten.

Mit Brennstoffzellen-Heizgeräten (BZH) wird in den kommenden Jahren ein neues Mikro-KWK-Angebot entstehen, das aufgrund seiner technologischen Eigenschaften insbesondere für den Gebäudebestand von Interesse ist.

### Prinzip KWK

Strom und Wärme treten bei der Stromerzeugung in konventionellen Kraftwerken physikalisch bedingt zusammen auf. Von der eingesetzten Energie wird die Wärme im Mittel mit ca. 60 % über Kühltürme an die Umgebung abgegeben und somit einer Nutzung entzogen. Bei dieser Art der Stromerzeugung wird in der BRD mehr Wärme ungenutzt abgegeben als sämtliche Haushalte als Heizwärme benötigen.

Eine ökologisch sinnvolle Möglichkeit zur rationellen Bereitstellung von Strom und Wärme stellt die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) mittels Blockheizkraftwerken (BHKW) dar. Im Gegensatz zur konventionellen

Stromerzeugung in einem Kraftwerk ohne KWK wird hier der zugeführte Brennstoff gleichzeitig für Strom und Wärme genutzt. BHKWs speisen die Abwärme als Nutzwärme in Heizungssysteme, so dass nur ca. 10 % der zugeführten Energie als Verlustwärme anfallen.

Die Aufstellung des BHKWs in Nähe des Verbrauchers führt zu einer Minimierung von Leitungs- und Transportverlusten. Durch den Einsatz eines BHKW kann der CO<sub>2</sub>-Ausstoß stark verringert werden.

Vor diesem Hintergrund soll im Folgenden aufgezeigt werden, was die Pluspunkte für den Einsatz und die Verwendung von KWK-Anlagen und insbesondere der Brennstoffzellen-Heizgeräte sind.

### Brennstoffzellen-Heizgeräte

Es ist davon auszugehen, dass bei Marktreife der Brennstoffzellen-Heizgeräte sich diese aufgrund ihrer hohen Effizienz im Einfamilienhaus-Markt gut etablieren werden. Die Funktionsweise gegenüber konventionellen BHKWs ist grundlegend

anders. Strom und Wärme werden hier durch eine elektrochemische Wandlung erzeugt. In der Brennstoffzelle reagieren elektrochemisch Wasserstoff H<sub>2</sub> und Sauerstoff O<sub>2</sub> zu reinem Wasser H<sub>2</sub>O. Der elektrochemische Prozess ist bei den Brennstoffzellentypen unterschiedlich; grundsätzlich entstehen aber immer Strom und Wärme.

Ein Inverter wandelt den Gleichstrom in hausüblichen Wechselstrom um. Die frei werdende Wärme kann zur Wassererwärmung und zu Heizzwecken genutzt werden.

Derzeit finden vorrangig folgende Brennstoffzellentypen Verwendung:

- ▶ SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)
- ▶ PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell).

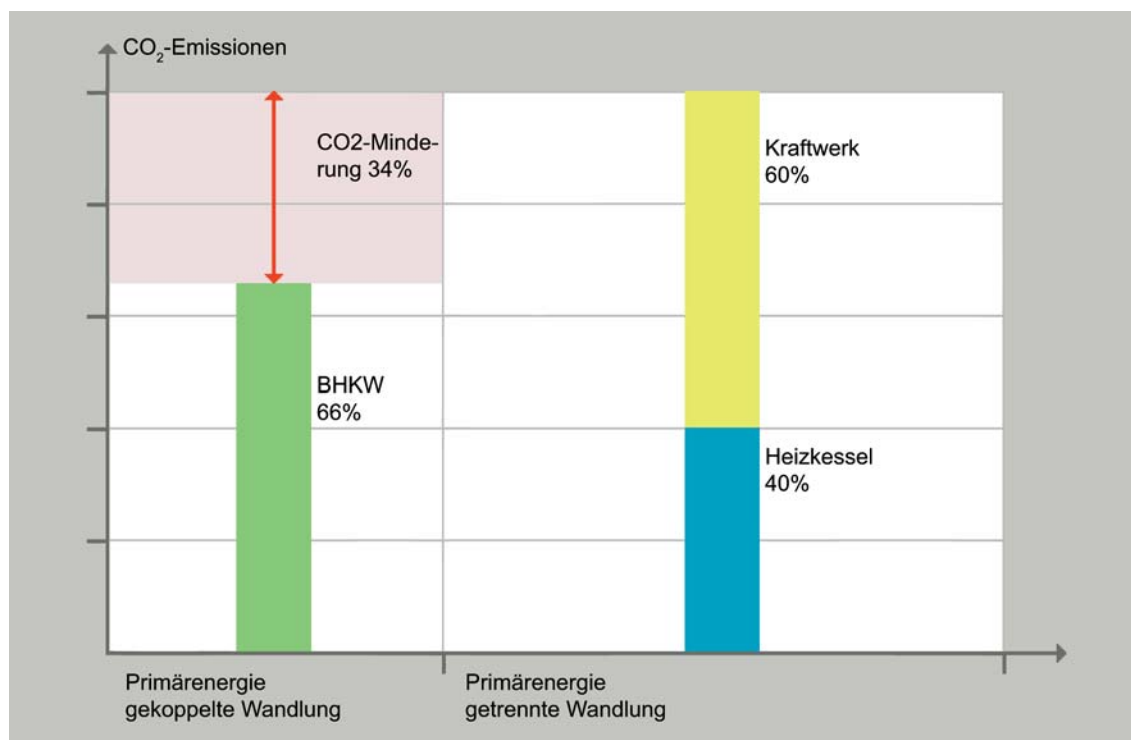


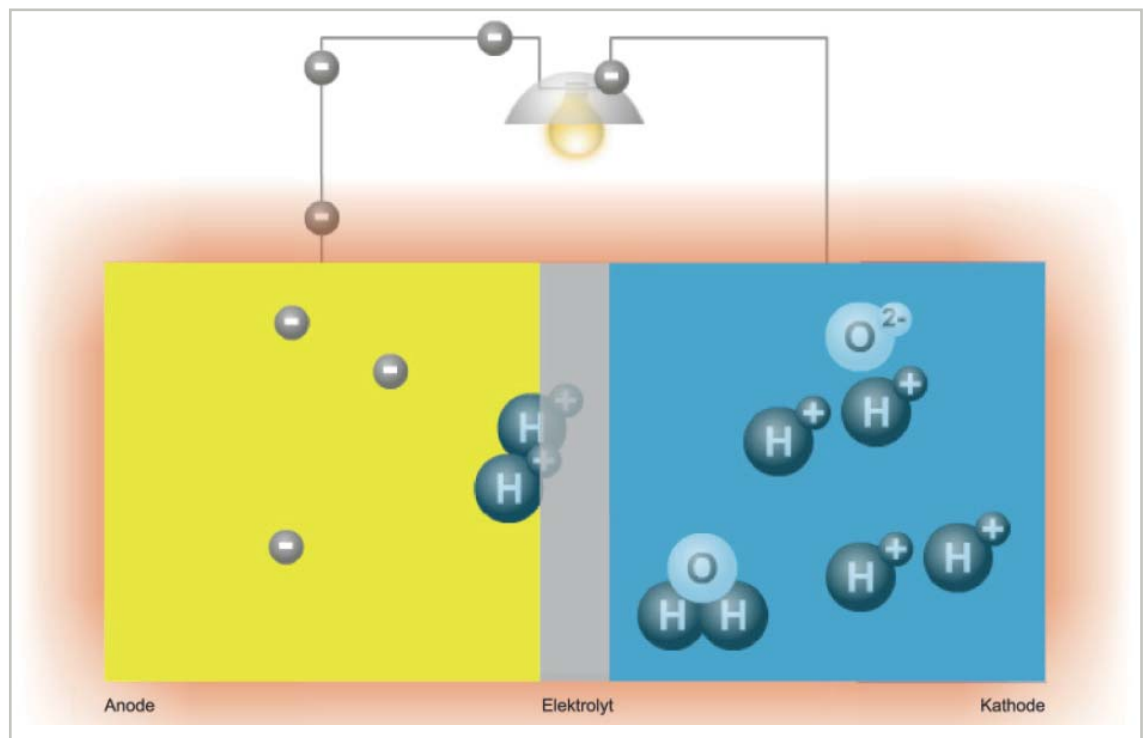
Abbildung 1: CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Nutzenergie von 34 Einheiten Strom und 56 Einheiten Wärme

Als Einsatzgebiete für Brennstoffzellen-Heizgeräte eignen sich insbesondere Ein- und Zweifamilienhäuser. Wie bei konventionellen BHKW kann auch das Brennstoffzellen-Heizgerät im Betrieb bivalent bzw. monovalent betrieben werden. In der Regel wird durch ein Zusatzheizgerät der Spitzenwärmebedarf für Heizung und Warmwasser abgedeckt, also eine bivalente Betriebsweise zu Grunde gelegt. Die thermische Einbindung kann i. d. R. in die Heizkreise einer bestehenden Heizungsanlage erfolgen. Da die Brennstoffzelle modulationsfähig ist, wird ein ganzjähriger Betrieb möglich.

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen und Förderungen wie z. B. das Kraft-Wärme-Kopplung-Gesetz, KfW-60 Programm, EnEV usw. gelten auch für Brennstoffzellen-Heizgeräte, da diese ebenfalls unter den Begriff Kraft-Wärme-Kopplung fallen.

Brennstoffzellen-Heizgeräte verschiedener Hersteller werden in Deutschland im Callux-Projekt intensiv in der Praxis getestet ([www.callux.net](http://www.callux.net)). Da die Geräte noch in der Optimierung sind, wird diese Technologie – nach derzeitigen Angaben der Hersteller – ab Ende 2013 zur Marktreife gelangen.

Abbildung 2:  
Prinzip der elektrochemischen Wandlung





### Virtuelle Kraftwerke

Kraftwerke erzeugen elektrischen Strom. Der wurde bisher überwiegend zentral mit großen Anlagen erzeugt. Seit einigen Jahren wird mit Windkraft-, Photovoltaik- und KWK-Anlagen dezentral Strom erzeugt und in das öffentliche Netz eingespeist. Viele kleine dezentrale Energieanlagen können einen wesentlichen Beitrag zur Verringerung großer, konventioneller und zentraler Kraftwerke leisten. Solche Kleinerzeuger werden zukünftig insbesondere in Wohngebäuden durch die Nutzung regenerativer Energien und energieeffizienter KWK-Anlagen erwartet.

Bei der dezentralen Stromerzeugung kann der produzierte Strom für den Eigenbedarf genutzt werden, sodass weniger oder überhaupt kein Strom mehr aus dem Netz bezogen werden muss. Es kann aber auch der erzeugte Strom in das Netz eingespeist werden, sodass er dem Energiemarkt zur Nutzung zur Verfügung steht. Um das Zusammenspiel vieler dezentraler Anlagen mit dem Stromnetz zu gewährleisten und zu beherrschen, ist eine informationstechnische Bündelung der verteilten Anlagen zu einem steuerbaren Verbund denkbar. Ein solcher Verbund wird als „Virtuelles Kraftwerk“ bezeichnet, der dann wiederum wie einzelne, konventionelle Kraftwerke betrachtet werden kann. Für Virtuelle Kraftwerke findet man beispielsweise folgende Definition: „Ein Virtuelles Kraftwerk ist ein Netzwerk, bestehend aus einer Anzahl von kleineren dezentralen Stromerzeugungsanlagen, die miteinander verbunden ... und in der Lage sind, zentrale disponible Kraftwerksleistungen zu ersetzen“ (Droste-Franke u. a. 2009).

In Hinblick auf die heutige Betriebs- und Nutzungsweise der Mikro-KWK-Anlagen sind drei Fahrweisen für diese Anlagen zu erfassen und zu regeln:

#### ► Wärmegeführte Betriebsweise

Die Wärmeführung orientiert sich an dem Wärmebedarf im Versorgungsobjekt. Bei der Dimensionierung der Geräte nach dem Wärmebedarf lässt sich eine gute Ausnutzung erzielen. Durch den Einsatz eines Heizwasser-Pufferspeichers kann der Betriebszeitpunkt der Geräte vom Bedarfszeitpunkt im Gebäude entkoppelt werden.

Der erzeugte Strom wird entweder im Objekt verbraucht oder ins elektrische Netz eingespeist.

#### ► Stromoptimierte Betriebsweise

Die stromoptimierte Betriebsweise der Brennstoffzellen-Heizgeräte versucht, dem lokalen Strombedarf des Versorgungsobjekts gerecht zu werden. Aufgrund begrenzter Laständerungsgeschwindigkeiten und der Maximallast der Anlagen sind Stromspitzen bei Bedarf aus dem Netz abzudecken. Mit der stromoptimierten Betriebsweise ist eine Minimierung des Netzbezuges möglich. Eine rein stromgeführte Betriebsweise wird es im Gebäudebestand nicht geben, da sie der KWK-Anforderung der Wärmenutzung widerspricht.

#### ► Extern geführte Betriebsweise

Diese Betriebsweise der Mikro-KWK-Anlage wird durch externe Vorgaben beeinflusst. Dies kann ein fester Fahrplan sein, oder die Vorgaben werden bedarfsgerecht variiert. Dabei gibt es die Möglichkeiten einer direkten Steuerung der Anlagen durch ein externes und dezentrales Managementsystem, das aufgrund von extern vorgegebenen Daten eine optimale Betriebsweise vor Ort ermittelt und umsetzt.

Alle drei Betriebsweisen sind dadurch, dass die Nutzung der Wärme außerhalb des Objekts nicht vorgesehen ist, durch den Verbrauch im Objekt „wärmebedarfsgedeckelt“. Es ist erkennbar, dass für die Steuerung von Virtuellen Kraftwerken ein intelligentes und wirksames Instrument vorhanden sein muss. Die Entwicklung dementsprechender technischer Lösungen wird derzeit verfolgt.

### Zum Wandel der Energiewirtschaft durch Virtuelle Kraftwerke

Wer sich mit Themen wie

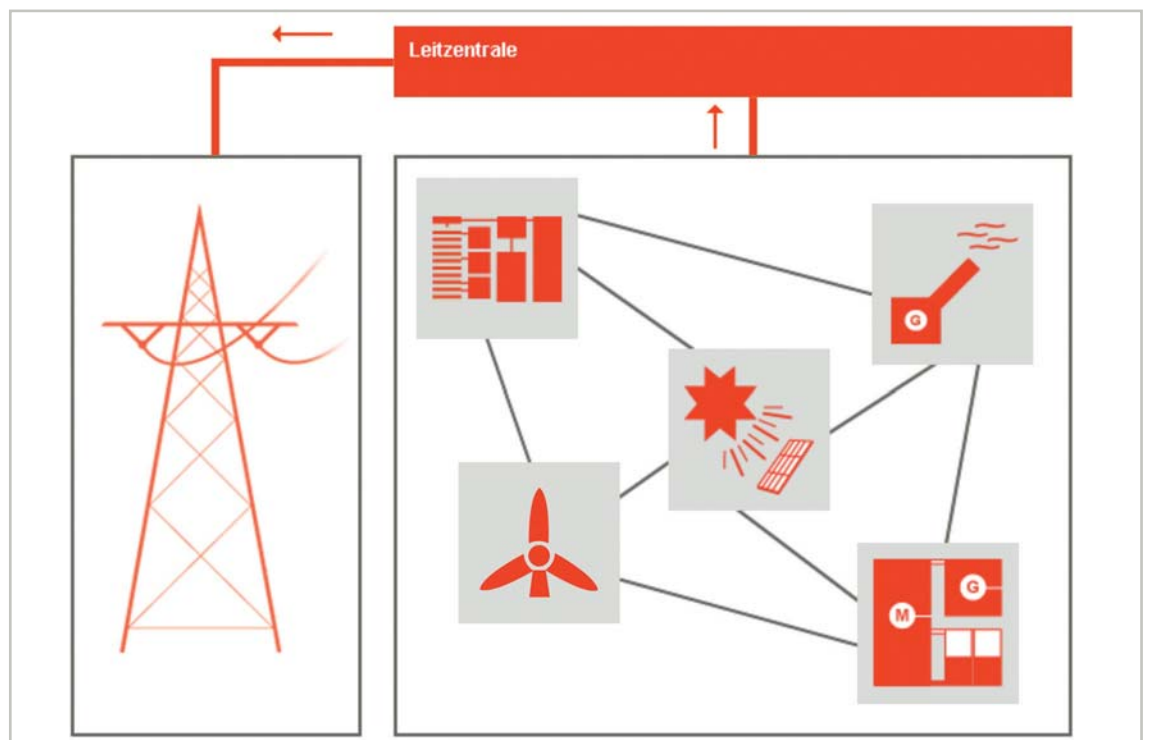
- ▶ Ressourcenverfügbarkeit
- ▶ Versorgungssicherheit
- ▶ Umweltbelastung
- ▶ Klimawandel

befasst, kommt sehr schnell zur Erkenntnis, dass eine zukünftige Energieversorgung andere Lösungen als bisher anbieten muss. Vor dem Hintergrund, dass Zielsetzungen hinsichtlich der Minderung von Emissionen der Treibhausgase einerseits und der Investitionsentscheidungen in der Energiewirtschaft andererseits zu treffen sind, können diese Bedingungen auch als Chance zur Findung einer angemessenen Lösung auf die Anforderungen von Gegenwart und Zukunft begriffen werden. Dabei kann eine Energieversorgung entstehen, die sowohl dezentrale Formen als auch den Mix verschiedener Energieumwandlungssysteme aufweist.

Zur zeitlichen Entkopplung der Wärme- und Stromlieferung der Mikro-KWK-Anlagen wird das Versorgungssystem üblicherweise mit ei-

nem Wärmespeicher ausgestattet. So können die im Tagesverlauf schwankenden Wärmebedarfe ausgeglichen und zugleich lange Laufzeiten für die Anlage erreicht werden. Die Anlage kann dann so lange in Betrieb bleiben, bis der Wärmespeicher gefüllt ist und im Haus kein weiterer Wärmebedarf besteht. Über die Stromkennzahl der Anlage ergibt sich aus dem täglichen Wärmebedarf des Objekts die elektrische Tagesproduktion. Wärmespeicher ermöglichen also, die Wärmeproduktion sowohl zeitlich vom Bedarf an Wärme als auch die Stromproduktion vom Wärmebedarf teilweise abzukoppeln. Speicher sind insbesondere bei der extern geführten Betriebsweise erforderlich, da von außen vorgegeben wird, wie die Anlage gefahren werden soll.

Abbildung 3:  
Prinzip eines  
virtuellen Kraftwerks



### Brennstoffzellen-Heizgeräte und die Energieversorgung der Zukunft

Mikro-KWK-Anlagen in Virtuellen Kraftwerken bringen Vorteile bei der Nutzung erneuerbarer Energien im Strombereich. Sie sind als Ergänzung zentraler Kraftwerke zu sehen, bei denen Leistung eingespart werden kann. Zusammen mit ihrem besseren Abschneiden im Bereich der Treibhausgasemissionen im Vergleich zu zentralen Kraftwerken, stellen Mikro-KWK-Anlagen auf der Basis von Brennstoffzellen einen Beitrag zum Klimaschutz dar.

Die Optionsoffenheit eines Netzes von dezentralen Anlagen, die zentral steuerbar sind, muss für die Zukunftssicherheit als großer Vorteil gewertet werden. Bezüglich der Bündelung verschiedenster Anlagen besitzt ein System dezentraler Anlagen große Gestaltungsmöglichkeiten. Dies drückt sich vor allem dadurch aus, mit den eingesetzten Technologien sukzessive den Anforderungen an das gesamte Energieversorgungssystem zu entsprechen.

Es ist davon auszugehen, dass die Integration dezentraler Einspeiser wie Mikro-KWK, Photovoltaik etc. in das System der leitungsgebundenen Elektrizitätsversorgung weiter voran schreitet. Eine Durchdringung des Markts mit kleinen dezentralen Anlagen ist auch aus Gründen der Netzsicherheit vorteilhaft. Aufgrund der Steuerbarkeit und Prognostizierbarkeit der – kombinierten – Einspeisung mit Hilfe Virtueller Kraftwerke steigt der elektrizitätswirtschaftliche Wert des so bereit gestellten Stroms. Auch können durch die Bündelung zu Virtuellen Kraftwerken die erfassten Anlagen in die Strukturen des bestehenden Elektrizitätsmarkts (u. a. Beteiligung am Bilanzkreis-

management, Großhandelsmarkt etc.) eingefügt werden, was dem Kunden in Zukunft weitere Vorteile bringen kann. Darüber hinaus ist es ein langfristiges Ziel, die Vorteile der dezentralen Erzeugung in vollem Umfang durch einen lastnahen Verbrauch des erzeugten Stroms und durch die lokale Optimierung von Erzeugung und Verbrauch zu nutzen.

BZH stellen also eine Ergänzung der bereits verfügbaren Gebäude-Energiotechnologien dar. Wie auch andere KWK-Technologien bringt die lokale Stromerzeugung sowohl Vorteile für den Nutzer, als auch für das energiewirtschaftliche Gesamtsystem mit sich. Gegenüber anderen KWK-Technologien arbeiten BZH besonders effizient, geräuscharm und vibrationsfrei.

*Quelle für Kapitel 3:*

*Droste-Franke u.a.: Brennstoffzellen und Virtuelle Kraftwerke, Berlin Heidelberg: Springer 2009*

### 3. Arbeits- und Geschäftsprozesse bei Brennstoffzellen-Heizgeräten

Die derzeit für handwerkliche Berufe gültigen Ordnungsmittel legen nahe, dass die Ausbildung in Orientierung an Arbeits- und Geschäftsprozessen der Branche erfolgt. Analysen dazu im Callux-Projekt einerseits sowie Analogien zum Umgang mit Mikro-BHKWs haben gezeigt, wovon für die Ausbildung in den Berufen Anlagenmechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik und für Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik auszugehen ist. Vor diesem Hintergrund soll

ein Szenario aufgezeigt werden, wie in einer absehbaren Zukunft der Einbau und Betrieb von Brennstoffzellen-Heizgeräten verlaufen könnte und wer vorrangig damit zu tun hat.

Abbildung 4:  
Haus mit BZH aus der  
Callux-Website



- I. Herr Weiß hat seit Beginn des Callux-Projekts 2008 immer wieder mal auf die Projekt-Website gesehen, um sich ein Bild von der Entwicklung der Brennstoffzellen-Heizgeräte zu machen. Er muss in der nächsten Zeit in seinem Einfamilienhaus den alten, in die Jahre gekommenen Wärmeerzeuger erneuern; er ist auf der Suche nach einer zukunftsgerechten Lösung. Da er an Technik und Energieeffizienz interessiert ist, denkt er an Brennstoffzellen-Heizgeräte, die aber in dieser frühen Phase der Geräteentwicklung nur an einen ausgewählten Personenkreis vergeben werden. Herr Weiß nimmt Kontakt zum Energieversorger in seinem Einzugsbereich auf. Nach einem Telefonat mit der Abklärung einiger grundsätzlicher Voraussetzungen kommt es zu einem Gesprächstermin mit dem Erdgasanbieter.

II. Herr Weiß und seine Frau sind auf den Besuch des Vertreters des Energieversorgers gespannt. Bei diesem Termin soll es zunächst nur darum gehen, einerseits vor Ort die Eignung des Hauses für den Einbau des Brennstoffzellen-Heizgerätes grundsätzlich einzuschätzen und andererseits alles zu besprechen, was zum Thema Brennstoffzellen-Heizgerät beiderseits gewünscht wird bzw. gesagt werden soll. Am Ende des Gesprächs, das zur Zufriedenheit beider Seiten verläuft, wird vereinbart, dass alsbald ein gründlicher Check des Hauses, der alten Heizungsanlage und weiterer Gegebenheiten erfolgen wird. Der Anbieter empfiehlt, zur Durchführung des Checks einen ausgewiesenen und erfahrenen Fachbetrieb einzubeziehen.



Abbildung 5:  
Telefonat zur Termin-  
abstimmung

III. Der vom Erdgasanbieter vermittelte Fachbetrieb, die Fa. Behrend, kann alsbald einen Termin bei der Familie Weiß wahrnehmen. Vom Fachmann wird erwartet, dass er nicht nur die Erfolgsaussichten der angedachten Maßnahme „Einbau und Betrieb eines Brennstoffzellen-Heizgerätes“ untersucht und bewertet, sondern dass er ausführlich und ergiebig die Bedingungen und Voraussetzungen dafür abschließend klärt. Und schließlich geht es auch darum, aufzuzeigen, wie es bei einer Entscheidung für ein Brennstoffzellen-Heizgerät weitergeht.



Abbildung 6:  
Wärmebild eines  
Hauses

Der Betriebsinhaber der Fa. Behrend stellt nach seinem Check und der vorläufigen Auswertung fest, dass ein Brennstoffzellen-Heizgerätgut für das Haus von Familie Weiß ist: Bedarf und Angebot passen, die Gebäudehülle ist auf dem Stand der Technik, geeignete Aufstellmöglichkeiten sind gegeben und auch die elektrische Ausstattung sowie die Wärmeverteilung und die raumseitige Heizungsanlage sind grundsätzlich in Ordnung.



Abbildung 7:  
Beratungsgespräch

Abbildung 8:  
Angebotserstellung



Abbildung 9:  
Schornsteinfeger



Abbildung 10:  
Terminplanung



IV. Nun wird es konkret und entscheidungsreif. Die Fa. Behrend hat ein Angebot ausgearbeitet, welches die Investitionskosten für Geräte und Komponenten, die aufzuwendenden Arbeiten, aber auch die möglichen und gegenzurechnenden Förderungen und Erlöse umfasst. Außerdem wird die Option angeboten, den Einbau und Betrieb des Brennstoffzellen-Heizgerätes als Contracting umzusetzen. Ein Vorschlag, den die Familie Weiß beim Umfang des Gesamtvorhabens durchaus prüfen möchte.

V. Als nächstes gilt es, mit dem zuständigen Schornsteinfeger das Vorhaben zu besprechen und die Zustimmung einzuholen. Dieses geschieht ebenfalls durch die Fa. Behrend.

VI. Die Entscheidung ist gefallen. Die Familie Weiß hat den Auftrag an die Fa. Behrend erteilt, die nun die gesamte Planung hinsichtlich Lieferfristen, Arbeitszeiten etc. vornimmt. Der Zeitplan wird mit der Familie Weiß abgestimmt und vereinbart. Vorbereitende Arbeiten werden – in Abstimmung mit der Familie Weiß – durchgeführt und erforderliche Anträge auf Genehmigung und Anmeldung gestellt und eingeholt.

VII. Der Einbau des Brennstoffzellen-Heizgeräts und die Anpassung der Haustechnik sind im vollen Gange. Die Fachhandwerker und Auszubildenden der Fa. Behrend sind termin- und absprachegemäß im Haus. Zunächst steht die Demontage und Entsorgung des alten Wärmereizers an. Im Rahmen des Einbaus des Brennstoffzellen-Heizgerätes fallen (als wichtigste Arbeiten) an:

- ▶ Aufstellung des Brennstoffzellen-Heizgerätes
- ▶ Aufstellung des Wärmespeichers
- ▶ Gas- und abgastechische Einbindung
- ▶ Anschluss des Zusatzheizgerätes
- ▶ Elektrische Einbindung
- ▶ Hydraulische Einbindung der Geräte
- ▶ Optimierungen an der Heizungsanlage (z. B. neue Hocheffizienzpumpe, hydraulischer Abgleich).



Abbildung 11:  
Aufstellung BZH

VIII. Mit der Inbetriebnahme der neuen Anlage ist ein Höhepunkt des Einbaus und Betriebs des Brennstoffzellen-Heizgerätes erreicht.



Abbildung 12:  
Monteur bei  
Einstellarbeiten

IIX. Über die Installation hinaus begleitet die Fa. Behrend den Betrieb der Anlage und wird bei Bedarf erforderliche Optimierungen vornehmen. Der gerätespezifische Energiemanager wird mit entsprechenden Daten programmiert; seine Arbeit wird überwacht.



Abbildung 13:  
Energiemanager BZH

Abbildung 14:  
Stromzähler BZH



Abbildung 15:  
Checkliste für  
Wartungsarbeiten

Checkliste Wartung von Heizungsanlagen		
Stempel SEK-Fachbetriebs		Auftraggeber Straße PLZ/Ort Ansprechpartner Standort der Anlage Kunden-/Anlagen Nr.
Komponenten	Einzelheiten	Bemerkungen/Notizen
<input type="checkbox"/> Ölwanne	Baujahr	kW
<input type="checkbox"/> Konstanttemperaturkessel	Leistung	W/m²
<input type="checkbox"/> Niedertemperaturkessel	Leistung Wärmeerzeuger/Wohlfäche	
<input type="checkbox"/> Brennwertkessel	Verbrennungswerte	W/m²
Gaßbrenner	Verbrauchsmerkmale	%
<input type="checkbox"/> Konstanttemperaturkessel	Fabrikat	
<input type="checkbox"/> Niedertemperaturkessel	Wirkungsgrad	
<input type="checkbox"/> Brennwertkessel	letzte Prüfung	
Heizkessel		
<input type="checkbox"/> Pellets		
<input type="checkbox"/> Hackschnitzel		
<input type="checkbox"/> Stückholz		

X. Der Betrieb hat sich wie geplant eingestellt. Das Brennstoffzellen-Heizgerät liefert kontinuierlich Strom und Wärme. Herr Weiß wirft gerne ab und zu einen Blick auf den Stromzähler, der ihm zeigt, zu welchen Erlösen es bereits gekommen ist. Die Wärme wird über den Speicher gesammelt und bedarfs- und zeitgerecht genutzt. Die Anlage arbeitet, wie es sein soll. Die Fa. Behrend kann den Auftrag abschließen.

XI. Zur Überprüfung des Betriebs und der Gerätekomponenten führt die Fa. Behrend in üblichen Abständen eine Wartung aus. Damit steht einem zuverlässigen und effizienten Heizbetrieb mit Stromerzeugung nichts mehr im Wege.

So – oder so ähnlich – wird demnächst der Alltag aussehen, wenn Brennstoffzellen-Heizgeräte auf dem Markt sind und Standard werden. Dabei ist der Verlauf des Prozesses weitgehend mit dem bei konventioneller Heiztechnik vergleichbar. Und auch die beteiligten Personengruppen sind identisch:

- ▶ Der Kunde als Interessent und Nutzer
- ▶ Der Anbieter bzw. Vermittler des Brennstoffzellen-Heizgerätes
- ▶ Beratende und planende Berufe
- ▶ Geschäftsinhaber und Meister
- ▶ Schornsteinfeger
- ▶ Fachhandwerker
- ▶ Auszubildende.

Neu sind dagegen einige konkrete Inhalte der einzelnen Arbeitsschritte. Für Auszubildende der Berufe Anlagenmechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik und Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik sind Lernsituationen in Orientierung an dem dargestellten Arbeits- und Geschäftsprozess vorhanden, mit denen sie für den Umgang mit Brennstoffzellen-Heizgeräten qualifiziert werden. Diese Lernsituationen werden weiter unten noch ausführlich vorgestellt.



## 4. Auslegung und Installation von Brennstoffzellen-Heizgeräten – am Beispiel eines Musterhauses

Die im Callux-Projekt zur Marktreife gebrachten BZH sind vorrangig für Einfamilienhäuser, kleine Mehrfamilienhäuser und Gewerbebetriebe geeignet. Auch wenn sich die Haustechnik in fast jedem Gebäude als Unikat darstellt, ist der Bezug auf ein Musterhaus in Planung und Auslegung eine anschauliche Hilfe. Für die Callux-Aus- und Weiterbildungsangebote werden die Daten und Fakten eines realen Hauses mit seinen Bewohnern dargestellt.

Im Callux-Projekt werden mehrere Hundert Brennstoffzellen-Heizgeräte in der Praxis eingesetzt, um ihre Eignung für eine energieeffiziente und wirtschaftliche Energieversorgung im Hause zu erproben und zu sichern. Über den Verlauf des Praxistests „Brennstoffzellen für's Eigenheim“ kann man sich auf der Website „[www.callux.net](http://www.callux.net)“ anhand der interaktiven Projektkarte informieren. Dort sind Häuser eingestellt, die aktuell mit Brennstoffzellen-Heizgeräten ausgestattet werden.

Wie ist dabei vorzugehen?

Die Leistung des Brennstoffzellen-Heizgerätes muss zu dem Wärme- und Strombedarf eines Hauses passen. Dabei sind einige Vorgaben zu beachten sowie Festlegungen zu treffen, die neben dem Verhältnis von Bedarf und Angebot an Wärme und Strom auch die Aufstellungsmöglichkeiten, den Status der vorhandenen Heizungsanlage sowie der elektrischen Ausstattung u. a. betreffen. Das soll im Folgenden an einem Haus aus dem Callux-Projekt aufgezeigt werden.

### Das Musterhaus

Ausgewählt wurde ein freistehendes Einfamilienhaus in Norddeutschland, wie es ähnlich überall in Deutschland vorkommen könnte. Es wurde 1953 erstellt. Das Haus verfügt über 5 Zimmer, Küche, Bad, WC, Hauswirtschaftsraum und Teilkeller. Der Spitzboden ist nicht ausgebaut. Die beheizte Fläche beträgt 146 m<sup>2</sup>.

Das Haus wird von einer 4-köpfigen Familie (2 Erwachsene, 2 Kinder) bewohnt.



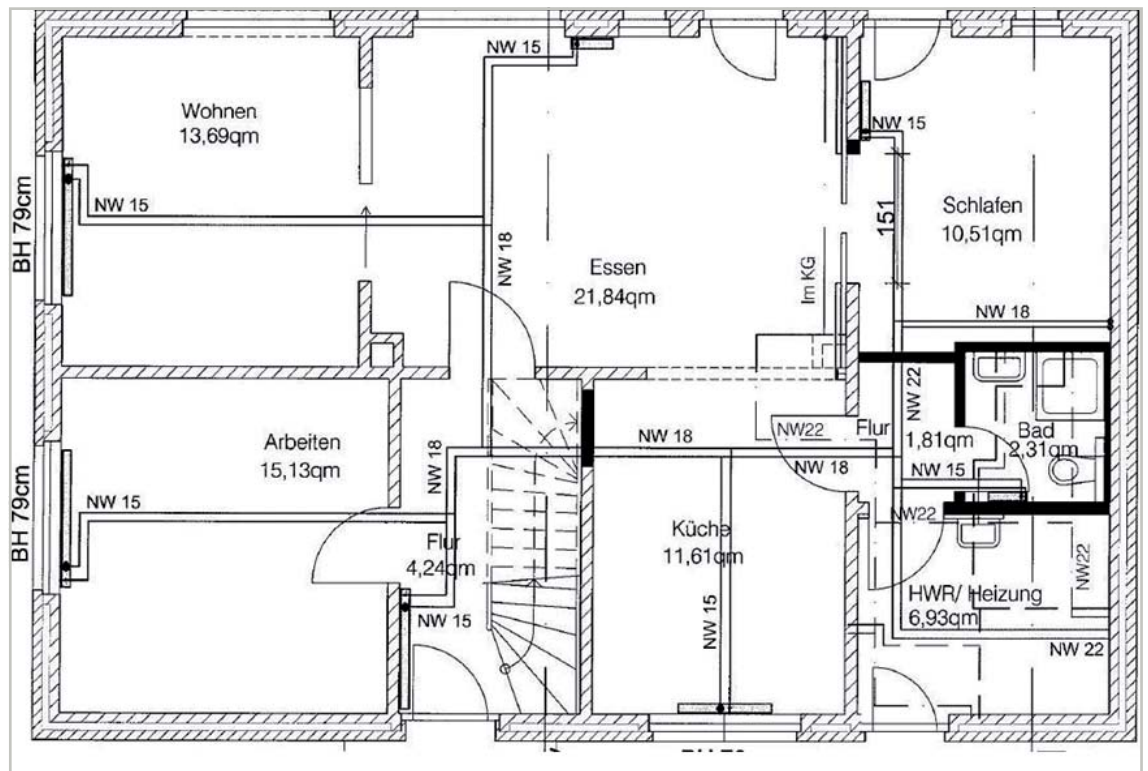
Abbildung 16:  
Straßenansicht des  
Musterhauses

### Bauliche Besonderheiten

Das Haus verfügt über ein zweischaliges Mauerwerk. Zwischen 1980 und 1995 wurde es teilweise umgebaut und wärmetechnisch modernisiert. Dabei erfolgten die Dämmung des Daches, die Erweiterung des Wohnraums um den ursprünglich als Wirtschaftsteil (Kleintierhaltung) konzipierten nördlichen Teil des Gebäudes sowie der Einbau eines atmosphärischen Gaskessels. Die Rohrleitungen wurden vor der Wand und in den Abseiten im Obergeschoss verlegt.

Der Grundriss vom Erdgeschoss sowie einige Daten zu den modernisierten Bauteilen sind den folgenden Abbildungen zu entnehmen.

Abbildung 17:  
Grundriss  
Erdgeschoss



Typ	Bauteil	Fläche in m <sup>2</sup>	U-Wert in W/m <sup>2</sup> K	U <sub>max</sub> EnEV in W/m <sup>2</sup> K
DA	Dachschräge - 24cm WD, 5cm DWD	80	0,15	0,24
OG	Decke zum Spitzboden - 10cm WD + OSB	46	0,16	0,24
TA	Haustüren Ostseite, Holz - Neue Haustüren in Holz	4	1,30	2,00
WA	Nordgiebelwand EG - 2cm PS, 5cm Innendämmung	28	0,51	0,24
WA	Nordgiebelwand OG - Hohlschichtdämmung	17	0,39	0,24
WA	Ostwand EG - Hohlschichtdämmung	39	0,39	0,24
WA	Südgiebelwand EG + OG - Hohlschichtdämmung	38	0,39	0,24
WA	Westwand EG - Hohlschichtdämmung	37	0,39	0,24
FA	Ostfenster EG, Kunststoff-Fenster neu WSV 0,7	3	1,05	1,30
FA	Südfenster EG, Kunststoff-Fenster neu WSV 0,7	5	1,05	1,30
FA	Südfenster OG, Kunststoff-Fenster neu WSV 0,7	3	1,05	1,30
FA	Westfenster EG, Holz-Fenster neu WSV 0,7	8	1,05	1,30
BK	Kellerdecke - WD v. unten 5cm, WLG 030	9	0,43	0,30

Abbildung 18:  
U-Wert Übersicht  
der modernisierten  
Bauteile

### Energetische Modernisierung mit Brennstoffzellen-Heizgerät

Aufgrund der steigenden Energiekosten beauftragten die Eigentümer im Frühjahr 2010 ein unabhängiges Planungsbüro mit der Erstellung eines Energiegutachtens. Dabei sollten verschiedene Varianten der energetischen Modernisierung der Gebäudehülle und der Wärmebereitstellung miteinander verglichen werden. Zur Wärmebereitstellung zogen die Eigentümer auf Anraten des Beraters den Einbau

- ▶ eines Gas-Brennwertkessels
- ▶ einer Pellet-Heizung
- ▶ sowie die Kombination dieser Techniken mit Solarthermie und kontrollierter Lüftungsanlage in Betracht.

Durch Presseberichte im Vorfeld ihrer Überlegungen auf den Callux-Feldtest und die faszinierende Brennstoffzellentechnik aufmerksam geworden, sprachen die Eigentümer den Energieberater auch auf die Möglichkeit an, ein Brennstoffzellen-Heizgerät zu nutzen.

Eine Vorab-Klärung der baulichen Rahmenbedingungen für den Einbau eines Brennstoffzellen-Heizgerätes mit einem qualifizierten Handwerker ergab grundsätzlich „grünes Licht“: Das Haus verfügt über einen Erdgasanschluss, der mögliche Aufstellraum ist für die Aufstellung eines Pufferspeichers geeignet. Die Warmwasserbereitung erfolgt zentral, der Zählerkasten der elektrischen Anlage bietet Platz für einen weiteren Zähler, eine leistungsfähige DSL-Verbindung (6.000/352kBits) ist vorhanden.

### Ergebnisse des Energiegutachtens

Aus energetischer Sicht kommen die Berechnungen zu dem Ergebnis, dass eine Kombination von Dämmmaßnahmen (Hohlschichtdämmung, Fenster, Dach) mit dem Einbau eines Brennstoffzellen-Heizgerätes die empfehlenswerte Variante ist.

So wird nach der Modernisierung der Gebäudehülle der Wärmebedarf für die Heizung (Nutzenergie) ca. 15.600 kWh/a und für die Warmwasserbereitung ca. 2.400 kWh/a betragen. Der Strombedarf wird mit ca. 3.500 kWh/a angesetzt.

Die Wärmeverteilung erfolgt über einen Heizkreis im Zwei-Rohrsystem. Installiert sind Flachheizkörper. Die Systemtemperaturen können nach hydraulischer Einregulierung 55/45 festgelegt werden.

### Festlegung Brennstoffzellen-Heizgerät

Bei dem gegebenen Bedarf sowohl an Wärme als auch an elektrischem Strom kommen grundsätzlich Geräte in Frage, die ein Leistungsspektrum um 1 kW elektr. und 2 kW therm. bieten. Mit diesen Geräten sind bei einer rechnerisch ermittelten jährlichen Laufzeit von 6.240 Betriebsstunden etwa erreichbar:

- ▶ Elektr. Strom: 6.241 kWh
- ▶ Wärmeenergie 10.500 kWh.

In das Musterhaus wurde ein Gerät der Fa. Hexis eingebaut. Die Zusatzheizung ist integriert. Ein Speicher mit 500l wurde kombiniert.

Wie das Brennstoffzellen-Heizgerät mit Speicher und sonstigem Zubehör aufgestellt wurde, zeigen die Abbildungen 19 und 20. Man sieht: Für Brennstoffzellen-Heizgeräte können in der Regel vorhandene Heizungsräume genutzt werden.

Generell gilt, dass das Musterhaus seit der Umstellung auf das Brennstoffzellen-Heizgerät zur vollen Zufriedenheit seiner Benutzer und auch des Herstellers läuft.

Das Musterhaus ist energietechnisch für die Zukunft aufgestellt.



Abbildung 19:  
Brennstoffzellen-  
Heizgerät mit Wärme-  
speicher



Abbildung 20:  
Brennstoffzellen-Heiz-  
gerät nach Abschluss  
aller Arbeiten (da es  
sich hier um ein Gerät  
im Feldtest handelt,  
sind drei Gaszähler  
installiert).

## 5. SOL-basierter Ansatz für die Callux-Ausbildungsangebote

### 5.1. SOL-Ansatz und -Elemente

SOL (sprich: Selbstorganisiertes Lernen) ist keine neue methodische Variante, sondern ein Ansatz, der zwar mit neuen Methoden arbeitet, diese aber in ein inhaltlich und pädagogisch definiertes Unterrichtskonzept integriert und damit einen Rahmen liefert, um die vielfach geforderte neue Lern- und Unterrichtskultur praktisch umzusetzen. SOL setzt an der gegenwärtigen Schulrealität an und bietet Auszubildenden die Möglichkeit, schrittweise selbstständiges und selbstverantwortliches Arbeiten einzuüben. Umgekehrt können Lehrerinnen und Lehrer allmählich ihre traditionelle Rolle als den Unterricht dominierende Wissensvermittler in Richtung von Lernberatern verändern.

Ausgangspunkt für die Planung einer SOL-Einheit ist stets das Thema, das Projekt bzw. die zu erarbeitenden Inhalte. Diese sind zunächst zu vernetzen, d.h. in eine nicht-lineare Struktur zu bringen. In einem Advance Organizer, einer „Lernlandkarte“, werden diese Zusammenhänge visualisiert und den Schülern als Überblick über das zu behandelnde Thema vom Lehrer präsentiert.

Damit die Auszubildenden Transparenz darüber erhalten, was Sie lernen sollen, wird ihnen zu Beginn der Unterrichtseinheit eine Kann-Liste ausgeteilt.

Eine sehr wirksame kooperative Lernform ist das Gruppenpuzzle, in dem sich die Auszubildenden die Inhalte weitgehend selbstständig erarbeiten und ihr Wissen den anderen Auszubildenden mitteilen.

Ziel des Unterrichts nach SOL ist, dass der Auszubildende die Lernprozesse möglichst in eigenen Strukturen begreifen kann. Deshalb wird zur Erarbeitung und Festigung der Lerninhalte das Strukturlegen angewandt.

Im Folgenden werden die genannten Elemente näher erläutert.

### 5.2. Advance Organizer (AO)

Wenn Referenten Vorträge beginnen, dann ist es für Zuhörer sinnvoll, wenn die Ziele und der

Ablauf bekannt gegeben werden. Übersicht und Transparenz erleichtern es den Zuhörern, die Gedanken des Referenten nachzuvollziehen und die Kernaussagen zu verstehen. Auch zu Beginn eines Unterrichts nach SOL-Prinzipien ist es sinnvoll, wenn die Lehrkraft im Sinne eines informierenden Unterrichtseinstiegs für Transparenz und Übersicht über den zu bearbeitenden Lernstoff sorgt. Wissenschaftlicher Hintergrund dieser Unterrichtseinstiege ist, dass das menschliche Gehirn Schemata, Regeln und Modelle generiert. Es werden sog. „kognitive Lernlandkarten“ im Gehirn angelegt. Dabei werden neue Information mit schon bestehenden verknüpft und in gegebene Strukturen eingeordnet.

Eine Möglichkeit für einen gehirngerechten Einstieg in ein neues Stoffgebiet ist der AO als eine vorausgehende Organisationshilfe (organizer in advance). Der Advance Organizer bietet die Möglichkeit, komplexe Themen so zu reduzieren, dass die Lernenden schnell und nachhaltig Anknüpfungspunkte finden können. Durch einen AO können neue Inhalte mit altem Wissen verknüpft werden. Er wird immer von der Lehrkraft erstellt und den Lernenden als Einstieg vor jeder SOL-Einheit präsentiert. Der AO kann dann im Klassenraum aufgehängt bzw. als Kopie für die Lernenden ausgegeben werden, damit er während der ganzen Lernphase Orientierung bietet.

Üblicherweise wird in Schulen nach dem Verfahren gearbeitet, das Wissen der Lernenden systematisch aufzubauen. D. h. vom „Leichten zum Schweren“ oder vom „Einfachen zum Komplexen“. Diese begründete systematische Vorgehensweise geht leider oft zu Lasten des Gesamtzusammenhangs der Lerninhalte. Deshalb wird in der Berufsbildung durch die Einführung von Lernfeldern versucht, einer reinen fachsystematischen Vermittlung von Lerninhalten entgegenzuwirken. Ein AO hilft dem Lernenden fachsystematisch angelegte Einzelbausteine in komplexe zusammenhängende Strukturen einzuordnen. Aus Gründen der Transparenz muss eine Überfrachtung der AO vermieden werden. Sie sind deshalb auf der Inhaltsebene reduziert. Durch die Reduktion der Inhalte ergibt sich für Lehrkräfte das bekannte Stoffmengenproblem. Weil aktives Verarbeiten der Inhalte länger dauert als

passive Aufnahme, haben viele Lehrkräfte die Befürchtung, dass sie „mit ihrem Stoff nicht durchkommen“. Für Lernende stellt sich das Stoffmengenproblem oft von einer anderen Seite dar:

- ▶ „isolierter“ Lernstoff
- ▶ „übereinstimmender“ Lernstoff.

Nach Lehner/Ziep versteht man unter einem „isolierten“ Lernstoff Inhalte, die in keinem schlüssigen Gesamtzusammenhang vermittelt werden bzw. für den Lernenden (noch) keine Einordnung in eine komplexere Struktur ermöglichen. Äußerungen von Lernenden wie „wofür braucht man das eigentlich?“, deuten auf eine Vermittlung isolierter Lernstoffe hin. Die „übereinstimmende“ Vermittlung des Lernstoffs beruht auf der Fehleinschätzung, dass Lehrkräfte alle Fakten vollständig zu einem Thema vermitteln, die sie selbst haben. Schüler fühlen sich dann i. d. R. „erschlagen“, weil sie die vielen Inhalte nicht in eine schlüssige Struktur bringen können. Anders die Lehrkraft, sie läuft in diesen Phasen nicht selten zur „Hochform“ auf, weil sie aufgrund ihres Expertenwissen die Dimension und Tragweite der Inhalte abschätzen und in einen Gesamtzusammenhang einordnen kann.

Wissenschaftliche Untersuchungen bestätigen verbesserte Lernleistungen durch den Einsatz von AO (vgl. Wahl 2005):

- ▶ besseres langfristiges Behalten
- ▶ höhere Motivation, Lernende kommen besser in komplexe Themen hinein
- ▶ bessere Orientierung durch höhere Transparenz
- ▶ Anknüpfung an Vorkenntnissen gibt Lernenden ein Gefühl von Sicherheit.

Beispiele für Advance Organizer sind für jede Lernsituation vorhanden.

### 5.3. Kann-Listen (KL)

KL sind Instrumente, mit denen der Auszubildende die Möglichkeit erhält, seinen bisherigen Leistungsstand vor einer Leistungskontrolle selbst zu überprüfen. Darüber hinaus helfen ihm die KL, um sich auf die Zwischen- und Gesellenprüfung vorzubereiten. Dabei wird ihm die Möglichkeit gegeben über seinen bisherigen Leistungsstand zu reflektieren,

indem er eigenverantwortlich und ehrlich die KL bearbeiten kann. Dabei ist gegenüber dem Auszubildenden immer wieder zu betonen, dass die KL eine konkrete Hilfe für ihn persönlich darstellt und kein Kontrollinstrument des Lehrers ist. Die Lehrkraft kann durch KL ein Höchstmaß an Transparenz darüber schaffen, welche Leistungen von einem Auszubildenden erwartet werden. Die Schaffung von Transparenz bezüglich der Leistungsanforderungen und die Möglichkeit für den Auszubildenden, eigenständig seinen Lernprozess zu steuern, wirkt sich positiv auf das Unterrichtsklima aus. Außerdem ermöglichen KL der Lehrkraft die notwendige Binnendifferenzierung unter normalen Unterrichtsbedingungen anzustoßen.

#### Wie sind KL aufgebaut?

In den KL stehen die wesentlichen Lernziele zu den einzelnen Themenbereichen des Lernfelds. Wichtig ist hier die Formulierung „Ich kann ...“. Sie macht dem Auszubildenden deutlich, dass er sich selbst befragen muss, welche Inhalte er schon verstanden hat und wo er noch nacharbeiten muss. Bei der Erstellung von KL ist zu beachten, dass auf Übervollständigkeit der Lernziele verzichtet werden sollte, damit der Auszubildende nicht von der Masse der Ziele erschlagen wird. Bewährt hat sich die Formulierung von Basiszielen, die das Lernfeld solide abbilden. Damit der Auszubildende nicht leichtfertig ein Lernziel „abnickt“, dazu neigen Auszubildende sehr schnell („Ja, ja kann ich schon“), ist es erforderlich, dass er einen Beleg für die Erreichung des Lernziels nachweist. Das kann z. B. sein: Eintrag im Arbeitsblatt, Tabellenbuchnummer, Aufgabe in einem vorherigen Test, Erklärung an den Mitschüler usw.

#### Wie werden KL im Unterricht praktisch eingesetzt?

Sinnvoll ist die sofortige Herausgabe der KL. Dann kann der Auszubildende prüfen, welche Ziele er schon erreicht hat und wo er noch nacharbeiten muss. Für die Klassenarbeit im Lernfeld muss dem Auszubildenden immer klar sein, welche Punkte auf der KL relevant für ihn sind. Die Leistungskontrollen dürfen keinen „Black-Box-Charakter“ haben, sondern müssen unbedingt an die KL angepasst werden, damit der Auszubildende merkt, dass

es sich für ihn lohnt mit den KL zu arbeiten. Zusätzliche Transferfragen über die KL hinaus können unproblematisch integriert werden.

#### 5.4. Gruppenpuzzle

Die Methode des Gruppenpuzzles wurde in den 70er Jahren entwickelt. Sinn dieser Sozialform ist es, neben der Ausbildung von Fachkompetenzen auch gezielt die Methoden- und Sozialkompetenzen der Schüler zu fördern. Außerhalb der Schule wird diese Methode auch erfolgreich in der Erwachsenenbildung eingesetzt. Die Arbeit in einem Gruppenpuzzle eignet sich immer dann, wenn umfangreiche Wissensinhalte vermittelt werden sollen.

##### Aufgabenformate

Das Wissensgebiet muss sich in 3 bis 4 Teilthemen zerlegen lassen. Diese Teilthemen sollten so ausgewählt werden, dass nach Möglichkeit kein reines Faktenwissen abgefragt wird. Empfehlenswert sind Aufgabenstellungen, in denen etwas erklärt werden muss. Das kann beispielsweise sein: ein Funktions- bzw. Geschäftsablauf, eine Arbeitsplanung, die kurze Zusammenfassung eines Textes zu einem Infoblatt oder die Beschreibung eines Lösungsansatzes von Aufgaben in der Mathematik. Besonders geeignet ist der Einsatz eines Gruppenpuzzles auch beim Lernen im fachpraktischen Unterricht, in fächerübergreifenden Projekten sowie in der Lernfeldarbeit.

Das Gruppenpuzzle teilt sich in drei Phasen:

##### 1. Phase: Einteilung der Stammgruppen

Zu Beginn des Gruppenpuzzles werden Stammgruppen gebildet. Die Größe einer Stammgruppe richtet sich nach der Anzahl der Teilthemen. Bei drei Teilthemen sind in einer Stammgruppe also drei Lernende. Die optimale Größe einer Stammgruppe liegt bei 3-4 Schülerinnen bzw. Schüler. Nach dem die Lehrkraft mit Hilfe des Advance Organizer in das Thema eingeführt hat, wählen die Lernenden in der Stammgruppe ihr Thema aus und wechseln dann in die Expertengruppen.

##### 2. Phase: Erarbeitung des Lernstoffs in den Expertengruppen

Die Lernenden aus den Stammgruppen bilden neue Expertengruppen, die das gleiche Thema bearbeiten. Dabei kommt das Prinzip der „fraktalen Organisation“ zum Tragen. Beispiel: Eine Klasse mit 27 Lernenden soll ein Gruppenpuzzle mit 3 Teilthemen bearbeiten. Es ergeben sich daraus 9 Stammgruppen je drei Mitglieder. Beim Wechsel in die Expertengruppen würden sich theoretisch 3 Expertengruppen mit jeweils 9 Lernenden bilden. Weil diese großen Expertengruppen nicht arbeitsfähig sind, teilt sich eine große Expertengruppe wiederum in 3 x 3 arbeitsgleiche kleine Expertengruppen. Unter Verwendung einer Notierhilfe bearbeiten die Mitglieder der Expertengruppen ihren Text.

##### 3. Phase: Vermittlung des Lernstoffs in den Stammgruppen

Die Expertinnen und Experten für ihr Teilthema kehren in die Stammgruppe zurück. Unter Verwendung der Notierhilfe bzw. des selbst erstellten Infoblatts erklären sich die Mitglieder der Stammgruppe gegenseitig ihre Teilthemen. Dabei sollten sich die Lernenden in einem ersten Schritt nur mündlich über die entsprechenden Teilthemen austauschen, weil es bei schriftlichen Aufzeichnungen (leider) oft genug vorkommt, dass die Notierhilfen nur getauscht werden, um sie voneinander abzuschreiben. Am Ende der Arbeitsphase Gruppenpuzzle müssen alle Stammgruppenmitglieder dann alle Textmaterialien erhalten, um die Inhalte individuell nachzuarbeiten.

##### Betreuung

Während der Arbeitsphase des Gruppenpuzzles steht die Lehrkraft den Lernenden beratend zur Verfügung. Dabei sollte beachtet werden, dass sich die Lehrkraft zurückhaltend verhält, d. h. Anfragen aus den Expertengruppen nicht vorschnell beantwortet und damit die Führungsrolle übernimmt, indem sie der Gruppe alles sofort erklärt. Versuchen Sie einen Paradigmenwechsel: Nicht Lehrkraft fragt und Schüler antwortet, sondern Schüler fragt und Lehrkraft antwortet.



### Motivation und Grenzen des Gruppenpuzzles

Der Lernprozess im Gruppenpuzzle ist sehr intensiv, weil sich die Lernenden aktiv mit den Inhalten auseinandersetzen müssen. Nach Norm Green (Autor verschiedener Werke rund um Kooperatives Lernen) werden durch das Erarbeiten von Inhalten mit dem zeitnahen Unterrichten anderer Schüler ca. 90 % der Unterrichtsinhalte des eigenen Themas gelernt.

Die Arbeit im Gruppenpuzzle erzeugt Motivation durch Wirksamkeit. Nach Deci/Ryan entsteht Motivation nach folgender Formel, in der drei Faktoren zusammenspielen:

$$E^3 =$$

Eigenständigkeit • Eingebundensein • Erfolg

Untersuchungen zeigen, dass sich durch das Gruppenpuzzle soziale Beziehungen und Ver-

haltensweisen sowie das Selbstwertgefühl der Lernenden und die Fachkompetenz verbessern. Das trifft immer dann zu, wenn neue Inhalte erarbeitet werden. Zum reinen Üben und Wiederholen eignet sich diese Methode nicht. Wichtig ist, dass die Lehrkraft während des Verlaufs eines Gruppenpuzzles den Prozess beobachtet und die Lernenden ggf. durch geeignete Maßnahmen wie Beratung und die Bereitstellung von Hilfsmitteln unterstützt. Weil im Gruppenpuzzle der Lernende nur sein Teilthema in der Expertengruppenarbeit lernt, ist es sehr wichtig, dass der vollständige Themenbereich weiter von der Stammgruppe bearbeitet wird.

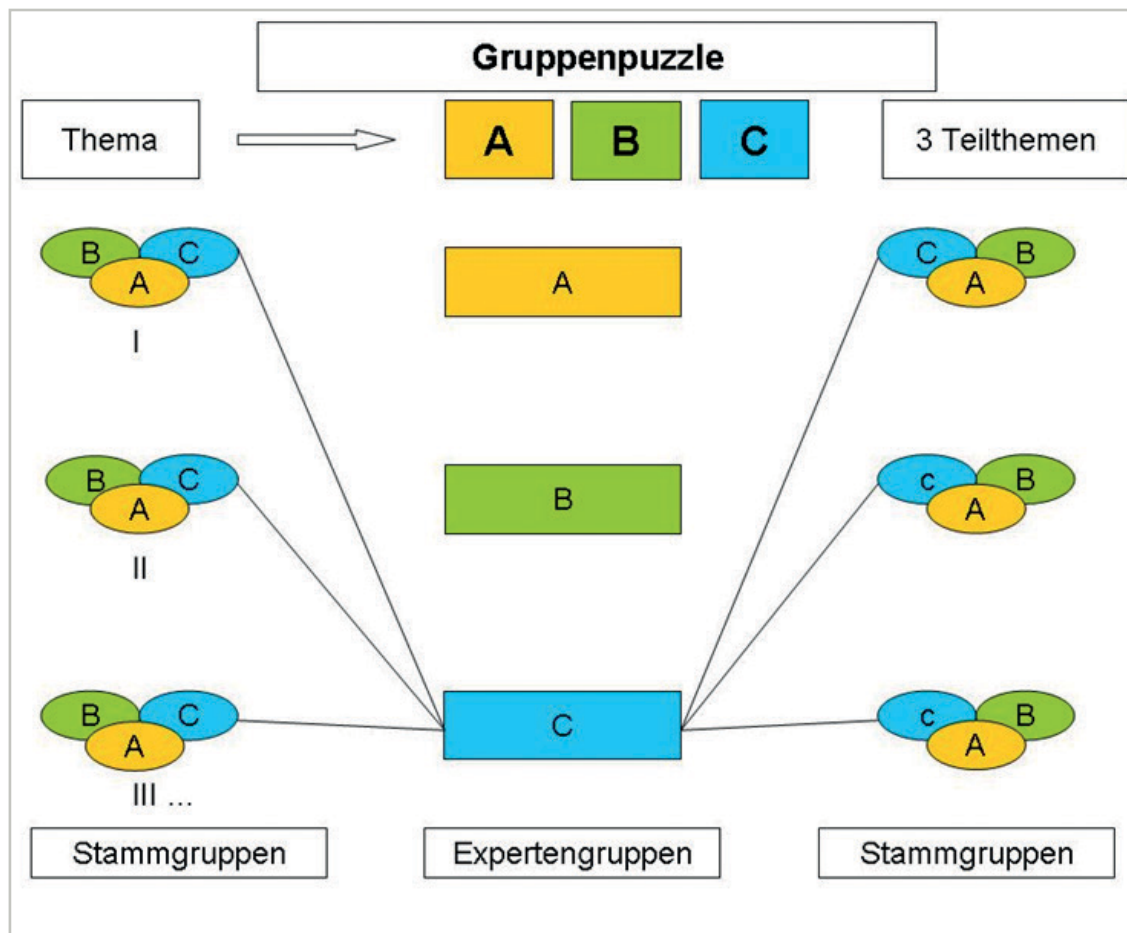


Abbildung 21:  
Darstellung eines  
Gruppenpuzzles

## 5.5. Strukturlegen

Die Sortieraufgabe mit dem Lernziel der individuellen Informationsverarbeitung fördert das Denken in eigenen Strukturen. Im Folgenden werden die drei Schritte zur Durchführung dieser Methode beschrieben:

### Sortieren der Karten

- ▶ Es können zwischen 10 und 30 Karten verwendet werden
- ▶ Die Karten werden ausgeschnitten
- ▶ Die Schüler unterscheiden in Einzelarbeit die Begriffe nach: „kann ich“ (Auszubildender kann den Begriff einordnen) und „kann ich nicht“.
- ▶ Besprechung der Karten „kann ich nicht“ in der Gruppe, wenn notwendig kann Lehrbuch/Hefter usw. herangezogen werden. Auch Rückfragen an den Lehrer sind erlaubt.

### Das Strukturlegen

- ▶ Die Kärtchen werden in Einzelarbeit nach einer persönlichen Ordnung/Struktur auf ein DIN A3/A4 – Blatt im Querformat geschoben.
- ▶ Kärtchen, die nicht in die Struktur passen werden nicht verwendet.
- ▶ Zusätzliche Ergänzungen wie Beziehungspfeile, farbige Absetzungen, Zeichnungen und das Einfügen neuer Karten.

### Gegenseitiges Erklären

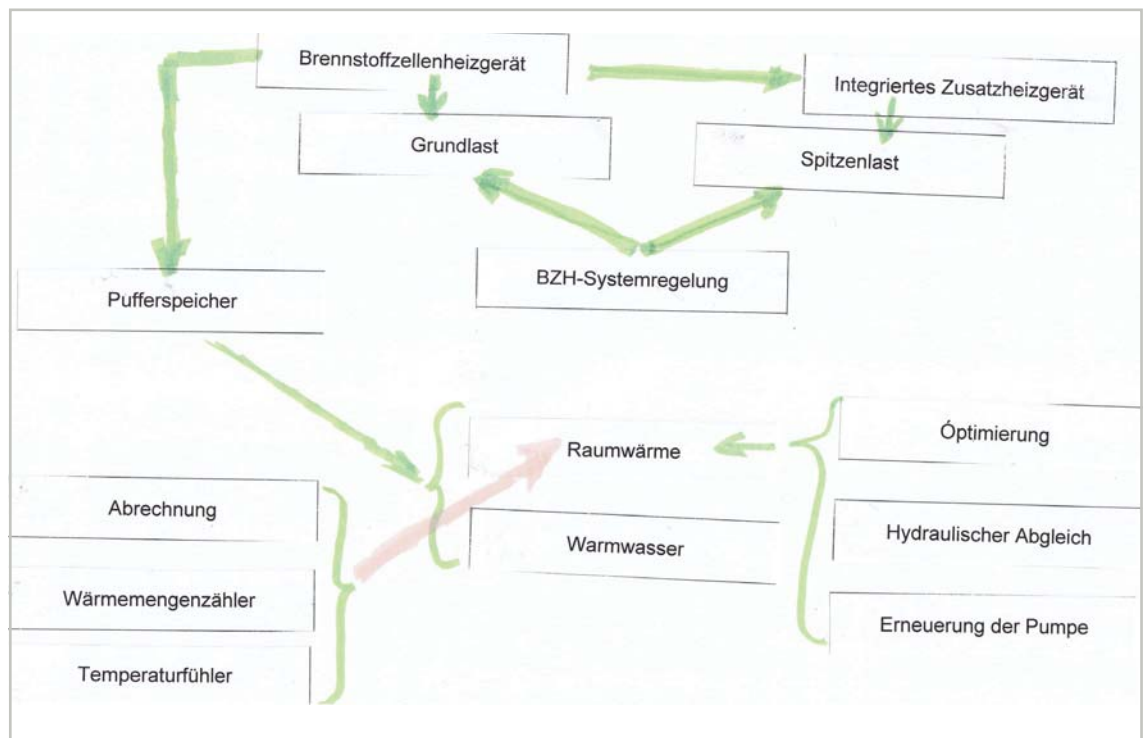
Nach der Fertigstellung der Strukturlegearbeit erklärt jeder Auszubildende seine Struktur einem anderen Mitschüler. Dabei werden ggf. Fehler innerhalb der Strukturen korrigiert.

Das folgende Beispiel für Strukturlegen ist der Lern- und Ausbildungssituation „Einbindung von Brennstoffzellen-Heizgeräten in die Haustechnik“ entnommen.

Quellen für Kapitel 5:

Herold/Herold: *Selbstorganisiertes Lernen in Schule und Beruf*, Weinheim und Basel: Beltz 2011. <http://www.sol-institut.de/>  
<http://lehrerfortbildung-bw.de/unterricht/sol/index.html>

Abbildung 22:  
Beispiel für Strukturlegen



## 6. Die Lern- und Ausbildungssituationen zu Brennstoffzellen-Heizgeräten

### 6.1. Brennstoffzellen-Heizgeräte als Thema der Ordnungsmittel in der schulischen Erstausbildung

Analysen der Arbeits- und Geschäftsprozesse rund um Brennstoffzellen-Heizgeräte zeigen auf, dass insbesondere zwei handwerkliche Berufe von dieser technologischen Entwicklung betroffen sind. Dabei handelt es sich um

- ▶ Anlagenmechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik
- ▶ Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik.

Da die Ausbildungsrahmenpläne für die berufliche Ausbildung der genannten Berufe aus den Anfängen des vergangenen Jahrzehnts stammen, sind Inhalte, Themen und Prozesse zu Brennstoffzellen-Heizgeräten kaum bzw. nur ansatzweise in den Lehrplänen vorhanden. Da die Ordnungsmittel für die Ausbildung der beiden Handwerksberufe recht offene Lernfelder ausweisen, finden sich aber eine Reihe von Möglichkeiten, Lern- bzw. Ausbildungssituationen zu Brennstoffzellen-Heizgeräten den dafür passenden Lernfeldern zuzuordnen. Bei den Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik bietet sich eine abschließliche Behandlung von Brennstoffzellen-Heizgeräten im Lernfeld 11 an.

Vor diesem Hintergrund wurde die Entscheidung getroffen, Lernsituationen für Brennstoffzellen-Heizgeräte zu solchen Themen zu entwickeln, die in den Lernfeldern ausgewiesen sind. Bei den Anlagenmechanikern sind das die Lernfelder 7, 9, 10 und 15, für Elektroniker bietet sich eindeutig das Lernfeld 11 mit der direkten Nennung von KWK und Brennstoffzellen an.

Die für Anlagenmechaniker relevanten Lernfelder sind für das 2. bis 4. Ausbildungsjahr vorgegeben, das für Elektroniker relevante Lernfeld befindet sich im 3. Ausbildungsjahr. Allerdings lassen die Lehrpläne zeitliche Verschiebungen für die Vermittlung von Lernsituationen in Lernfeldern durchaus zu.

Die folgenden Tabellen liefern Stichworte aus den Lernfeldern, die für die Entwicklung von Lernsituationen für Brennstoffzellen-Heizgeräte für Anlagenmechaniker und Elektroniker zu Grunde gelegt werden.

*Übersicht 1:  
Relevante Lernfelder  
der Anlagenmechanik  
für Lernsituationen  
zu Brennstoffzellen-  
Heizgeräte*

Lernfelder nach Rahmenlehrplan	
<b>LF 7 Wärmeverteilungs- anlagen</b>	<p>... Systembestandteile für eine anwendungsgerechte Lösung sind zu bestimmen und zu vermitteln...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Hydraulischer Abgleich</li> <li>▶ Anschluss elektr. Bauteile</li> <li>▶ Kommunikation mit Kunden</li> </ul>
<b>LF 9 Wärmeerzeuger</b>	<p>... über sie ist unter Hervorhebung ökologischer Gesichtspunkte bei der Auswahl der Heizkessel einschließlich der Abgasführung zu beraten...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Richtlinien für das Aufstellen von Wärmeerzeugern</li> <li>▶ Werkstoffe, Betriebsweise, Brennstoffe</li> <li>▶ Brennerarten, Verbrennungsprodukte</li> <li>▶ Energieausnutzung</li> <li>▶ Wirkungsgrade</li> <li>▶ Ressourceneinsparungspotenzial</li> </ul>
<b>LF 10 Regelungstechnik</b>	<p>... den Nutzen von Herstellerunterlagen und Anlagenschemata verwenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Prüfen elektrotechnischer Bauteile</li> <li>▶ Einstellung der notwendigen Betriebsparameter</li> <li>▶ Anlagenfunktion und Schaltvorgänge</li> <li>▶ Elektrische Systemkomponenten</li> <li>▶ Potenziale der Ressourceneinsparung</li> </ul>
<b>LF 15 Ressourcen- schonende Anlagen</b>	<p>... Berücksichtigung technischer, ökologischer, gesellschaftlicher und nachhaltiger Entwicklungen ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Energetische Bewertung und Optimierung von Systemen und Anlagen</li> <li>▶ Möglichkeiten der Gebäudeleittechnik</li> </ul>

Lernfelder nach Rahmenlehrplan	
LF 11 Energietechnische Anlagen	<p>... Netze, dezentrale Energieversorgungssysteme sowie regenerative Energiequellen analysieren ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Kraft-Wärme-Kopplung</li> <li>▶ Brennstoffzelle</li> </ul>

Übersicht 2:  
Lernfeld 11 der Elektroniker für Lernsituationen zu Brennstoffzellen-Heizgeräten

Im Vergleich der Lernfelder für Anlagenmechaniker und Elektroniker fällt auf, dass für Elektroniker im Lernfeld 11 dezidiert sowohl „Kraft-Wärme-Kopplung“ als auch „Brennstoffzelle“ ausgewiesen sind. Das ist sicher darauf zurück zu führen, dass der Lehrplan für Elektroniker neueren Datums ist.

Es ist davon auszugehen, dass in einiger Zukunft in den Ordnungsmitteln der beruflichen Erstausbildung mit dem Thema „Brennstoffzellen-Heizgeräte“ (als Teil der KWK-Technik) anders als bisher umgegangen werden wird. Ob es eines Tages dazu kommt, dass KWK-Anlagen und damit Brennstoffzellen-Heizgeräte (als wichtige technische Umsetzungsform für Energieeffizienz) ein eigenes Lernfeld erhalten, bleibt abzuwarten. Als sicher darf angenommen werden, dass die Bedeutung von KWK zunehmen wird. Derzeit gilt allerdings, dass Brennstoffzellen-Heizgeräte durchaus wahrgenommen und perspektivisch in die Ausbildung eingebracht werden können. Dieses ist mit den gegebenen Ordnungsmitteln möglich.

## 6.2. Das Callux-Informationsprogramm

Als Grundlage einer jeglichen Behandlung der Themen von Brennstoffzellen-Heizgeräten kann das Callux-Informationsprogramm „Zukunftsfähige Energieversorgung mit Brennstoffzellen-Heizgeräten“ angeführt werden. Im Informationsprogramm werden folgende Themen multimedial aufbereitet angeboten:

- ▶ Umwelt, Ressourcen, Energieeffizienz
- ▶ Kraft-Wärme-Kopplung
- ▶ Brennstoffzellen-Heizgeräte
- ▶ Einbindung in die Haustechnik
- ▶ Energie- und Datenmanagement
- ▶ Rahmenbedingungen für den Markterfolg.

Tabellen, Animationen, Videoszenen etc. des Callux-Informationsprogramms sind bei Interesse für die weiter unten dargestellten Lernsituationen einsetzbar. Das Informationsprogramm liegt auf CD-ROM im Anhang zur Nutzung und Verwendung bei.

## 6.3. Die Lern- und Ausbildungssituationen des Anwendungsmoduls im Überblick

Auf der Basis von Lernfeldern aus den Rahmenlehrplänen der Berufe

- ▶ Anlagenmechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik
- ▶ Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik

werden fünf Lern- und Ausbildungssituationen angeboten, die für den Einsatz in der Ausbildung in beiden Berufen geeignet sind. Allerdings sind durch die Lehrkräfte in Hinblick auf die Ausbildungsberufe jeweils fachliche Schwerpunktbildungen vorzunehmen. Dabei geht es um die Klärung, ob es sich für die hier angesprochenen Berufe um Informationen zum jeweils anderen Gewerk oder um Qualifikationen handelt, die durch den Beruf wahrzunehmen sind. In der Übersicht wird das

durch die Einordnung der Lernsituationen als „Informationen“ bzw. „Qualifikationen“ berücksichtigt. Näheres dazu folgt weiter unten.

Als Lern- und Ausbildungssituationen für die Ausbildung zu Brennstoffzellen-Heizgeräte werden lt. Übersicht 3 zur Verfügung gestellt:

Übersicht 3:  
Lernsituationen als  
Informations- bzw.  
Qualifizierungs-  
angebote

Lern- und Ausbildungssituation	Lernfeld Anlagenmechaniker		Lernfeld Elektroniker	
	Information	Qualifizierung	Information	Qualifizierung
Aufbau, Funktion und Betrieb von Brennstoffzellen-Heizgeräten	-	LF 9	LF 11	-
Hydraulische Einbindung von Brennstoffzellen-Heizgeräten	-	LF 7	LF 11	-
Elektrische Einbindung von Brennstoffzellen-Heizgeräten	LF 7	-	-	LF 11
Regelungstechnische Einbindung von Brennstoffzellen	-	LF 10	LF 11	-
Energetische Bewertung von Brennstoffzellen-Heizgeräten	-	LF 15	-	LF 11

#### 6.4. Zum Einsatz der Lern- und Ausbildungssituationen in der Ausbildung

Folgende Verwendungsmöglichkeiten für die Lernsituationen bieten sich an:

##### Lernfeldzuordnung

Die Lernsituationen werden im Rahmen der Ausbildung zu den korrespondierenden Lernfeldern (siehe Übersicht oben) vermittelt. Das Angebot folgt dabei den Empfehlungen laut Lehrplan zu den Ausbildungsjahren, kann aber aus fachlichen und didaktischen Gründen in der inhaltlichen Abfolge auch umgestellt werden.

##### Blockangebot

Die Lernsituationen werden als zusammenhängendes Modul im Block vermittelt. Hierfür sind durch die Lehrkräfte die lt. Rahmenlehrplan vorhandenen Freiräume bei Lernfeldern bzw. im zeitlichen Ausbildungsverlauf zu nutzen. Die Umsetzung der Lernsituationen in der dargestellten Abfolge wird als Blockangebot empfohlen.

### Qualifizierungs- bzw. Informationsangebote

Es ist davon auszugehen, dass beim Einbau und Betrieb von Brennstoffzellen-Heizgeräten auch in Zukunft fachliche Schwerpunktsetzungen für die Berufe erhalten bleiben. So dürfte die hydraulische Einbindung von Brennstoffzellen-Heizgeräten in die Heizungsanlage einerseits vorrangig von Anlagenmechanikern vorgenommen werden, während die elektrische Einbindung des Brennstoffzellen-Heizgerätes in die Haustechnik andererseits durch Elektriker erfolgt. Dennoch erhalten die Lehrkräfte der beiden Berufe alle Lernsituationen in der vollständigen Fassung. Die Lehrkräfte können und sollen die fachlichen Schwerpunktsetzungen selbst vornehmen, da so gesichert erscheint, dass auch immer die Tätigkeiten und Arbeiten der anderen bekannt sind und verstanden werden. Letztlich wird in einigen Jahren die Praxis zeigen, von welchem Beruf welche Arbeits- und Geschäftsprozesse bei Brennstoffzellen-Heizgeräten konkret wahrgenommen werden.

### Analogien als Mittler

Während z. B. Wärmeerzeuger jeglicher Art bekannt und in den Aus- und Weiterbildungsstätten konkret vorhanden sind, wird es dauern, bis auch Brennstoffzellen-Heizgeräte in den Schulen und überbetrieblichen Einrichtungen stehen. Es wird daher empfohlen, zur Erleichterung des Verständnisses von Aufbau und Funktionen von Brennstoffzellen-Heizgeräten möglichst von Analogien auszugehen. Solche Analogien sind BHKW und BZH, Erdgas und Wasserstoff etc.

### 6.5. Der Aufbau der Lern- und Ausbildungssituationen

Jede Lern- und Ausbildungssituation beginnt mit der Übersicht zu den angebotenen Materialien und Medien.

Ein möglicher Unterrichtsverlauf deutet dann an, wie und in welcher Abfolge die Materialien und Medien zum Einsatz kommen können. Dem Vorschlag kann gefolgt werden, andere Verwendungsmöglichkeiten der Materialien und Medien bieten sich allerdings auch an.

Die Einführung in die Lern- und Ausbildungssituationen erfolgt jeweils durch die Lehrkraft. Unterstützt wird diese dabei durch eine multimedial gestaltete Übersicht, die die Inhalte der Lern- und Ausbildungssituation aufzeigt. Dieses Vorgehen lehnt sich an das Konzept des Selbstorganisierten Lernens (SOL) an. Dort wird die multimediale Übersicht als „Advanced Organizer“ (AO) bezeichnet.

Nach der Einführung und der Übersicht zur Lernsituation erhalten die Schüler/Auszubildenden eine „Kann-Liste“, mit deren Hilfe sie Inhalte und Themen als „Kann ich“ bzw. „Kann ich nicht“ einschätzen. Am Ende der Lern- und Ausbildungssituation kann dieser Vorgang wiederholt werden. Auf die Bedeutung der Kann-Listen wird im Folgenden noch gesondert eingegangen.

Mit Informationsblättern wird dargestellt, worum es konkret in der Lern- und Ausbildungssituation geht. Die Info-Blätter werden einzeln, in Gruppen oder auch klassenweise behandelt. Das ist in den Lern- und Ausbildungssituationen unterschiedlich. In den Info-Blättern werden die wichtigsten Fachbegriffe benannt, um die es im Unterricht geht.

Nach der Bearbeitung der Info-Blätter erhalten die Schüler Formblätter zum Strukturlegen. Die jeweils etwa 30 Begriffe sind von den Schülern/Auszubildenden in eine Struktur zu bringen. Die sich dadurch ergebenden Beziehungen sind zu erläutern. Da i. d. R. durch die Gruppenarbeit mehrere Strukturlegungen vorgetragen werden, kann durch die Klasse abschließend eine gemeinsam vertretene Darstellung (z.B. Poster, Wandzeitung) beschlossen werden.

Der dargestellte Aufbau der Lern- und Ausbildungssituationen gilt grundsätzlich für alle Callux-Lernsituationen.

## 7. Resümee

Bis der Umgang mit Brennstoffzellen-Heizgeräten zur Routine wird, wird es vermutlich noch einige Zeit dauern. Dass KWK-Anlagen in den kommenden Jahren zunehmend gefragt sein werden, ist abzusehen. Auf dem Weg dorthin können die Schüler in der beruflichen Erstausbildung mit den durch Callux zur Verfügung gestellten Lern- und Ausbildungssituationen angemessen vorbereitet werden. Sie finden die Materialien im Internet unter [www.callux.net](http://www.callux.net).



# Impressum

## Herausgeber:



Callux Konsortium  
www.callux.net



## In Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Callux-Marktpartner:

- ▶ Elektro Technologie Zentrum (etz) Stuttgart
- ▶ Handwerkskammer Osnabrück-Emsland
- ▶ Heinz-Piest-Institut (Hannover)
- ▶ Max-Taut-Schule (Berlin)
- ▶ ModernLearning GmbH (Berlin)
- ▶ Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle Ulm (WBZU)

unter der Leitung von:

Prof. Dr. Manfred Hoppe

Forschungsgruppe Praxisnahe Berufsbildung (FPB)

Universität Bremen

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Verkehr, Bau  
und Stadtentwicklung

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages







**FORSCHUNGSGRUPPE  
PRAXISNAHE BERUFSBILDUNG**