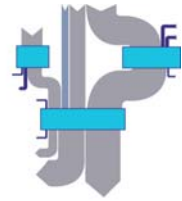


# Ganzheitliche dynamische Bewertung von KWK mit Brennstoffzellen



Ergebnisse des Verbundforschungsvorhabens EduaR&D

## 1 Abstract

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde eine Methodik zur ganzheitlichen und dynamischen Bewertung von KWK-Anlagen, insbesondere von Brennstoffzellen, entwickelt. Die Anlagen werden dazu nicht isoliert, fallweise untereinander bzw. mit konventionellen Technologien verglichen, sondern in eine Energiesystemanalyse eingebunden. Dynamische Wechselwirkungen werden in Szenarien berücksichtigt.

## 2 Methodische Vorgehensweise

Grundlegend für eine ganzheitliche, dynamische Bewertung ist zunächst die Kenntnis des gegenwärtigen Anlagenbestandes. Dies impliziert neben Anzahl, Größe und Altersstruktur der Anlagen auch die Kenntnis über die verwendeten Energieträger. Neben den Entwicklungstendenzen der konventionellen Techniken ist bei der Betrachtung einer neu einzuführenden Technik auch deren Rückwirkung auf den Anlagenbestand zu berücksichtigen, um dem ganzheitlichen Ansatz zu genügen. Die dynamische Bewertung enthält über Szenarienbildung eine dynamische Komponente, die Rück- und Wechselwirkungen zwischen der neuen Technologie und dem Altbestand explizit durch Substitutionsmechanismen berücksichtigt.

Abbildung 2-1 zeigt schematisch das Vorgehen bei der ganzheitlichen dynamischen Bewertung.

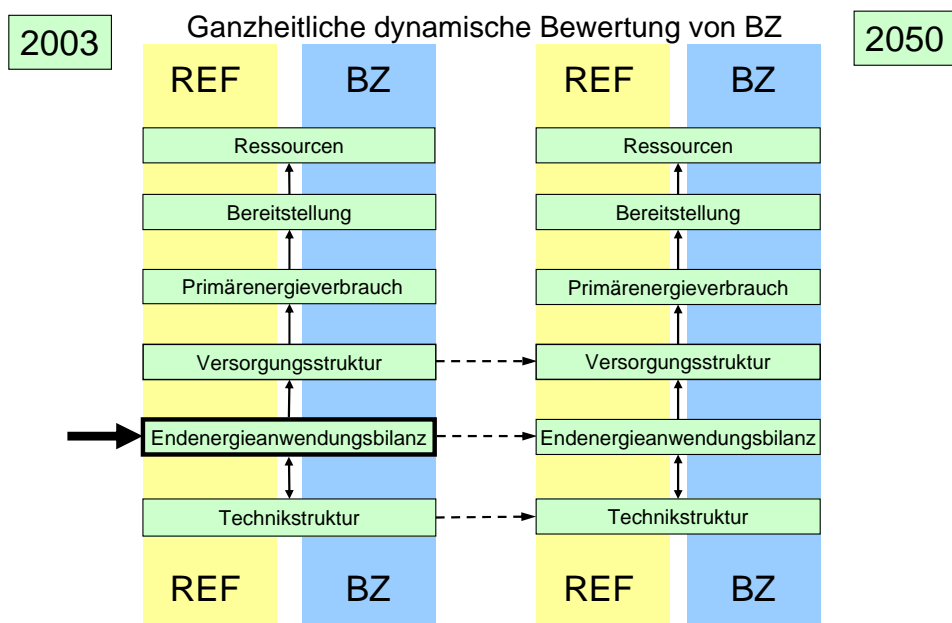


Abbildung 2-1: Methodisches Vorgehen bei der ganzheitlichen dynamischen Bewertung

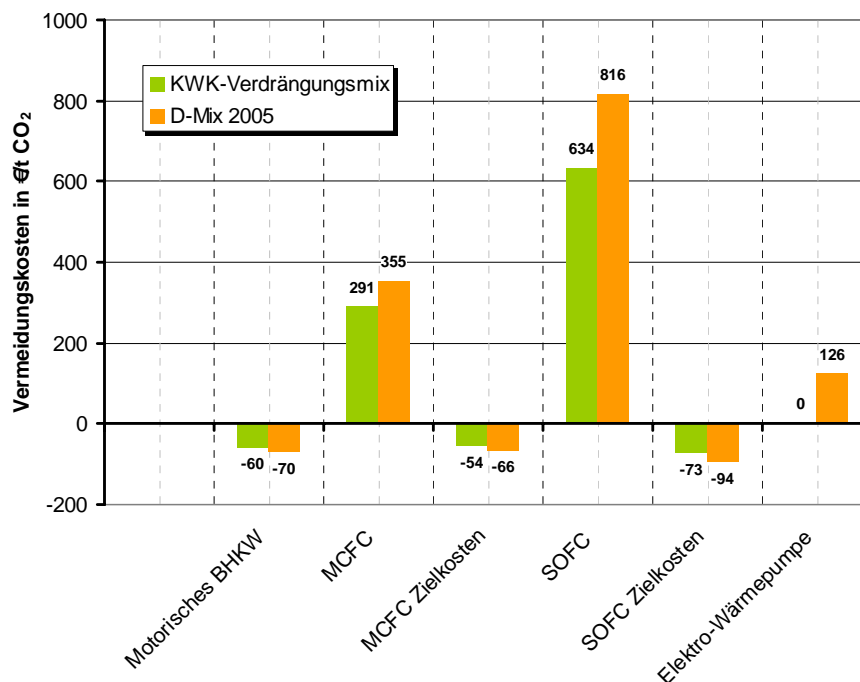
### 3 Ergebnisse

Eine Potenzialermittlung für Brennstoffzellen-KWK in den Sektoren Haushalte, Gewerbe-Handel-Dienstleistung, Industrie sowie in der Bestands-KWK des Umwandlungs- und Industriesektors zeigt, dass z. T. noch erhebliche Ausbaumöglichkeiten vorhanden sind. Eine Simulation von Anwendungsbeispielen ergibt, dass Brennstoffzellen gegenüber der Referenz Brennwertkessel die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten der untersuchten Systeme aufweisen, wenn sie die Zielkosten erreichen. Mit den derzeitigen Kosten der Demonstratoren und Einzelanfertigungen kann das technische Potenzial nicht wirtschaftlich erschlossen werden. Die entwickelten methodischen Ansätze sowie die Erkenntnisse aus der Potenzialanalyse, die zeitliche Entwicklung der Bereitstellungsnutzungsgrade von Primärenergieträgern und Untersuchungen zu Verdrängungsmechanismen wurden in drei einfachen Szenarien zusammengefasst.

#### 3.1 Anwendungsbeispiel Industrie

In einer Simulation wurden Brennstoffzellen möglichen Konkurrenzsystemen gegenübergestellt. Beispielhaft sei hier die Anwendung in der Industrie gezeigt.

Die Vermeidungskosten der betrachteten Systeme mit dem Brennwertkessel als Referenz sind in **Abbildung 3-1** dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Vermeidungskosten nicht nur für den KWK-Verdrängungsmix von 821 g/kWh<sub>el</sub>, sondern auch noch für den D-Mix (585 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>) berechnet. Das BHKW und die Brennstoffzellen, sofern sie durch F&E die Zielkosten erreichen, haben negative CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten. Die elektrische Wärmepumpe kann mit dem KWK-Verdrängungsmix nicht bewertet werden, da die Differenz der Emissionen zum Brennwertkessel zu gering ist.



**Abbildung 3-1:** CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten gegenüber einem Gasbrennwertkessel auf Basis des KWK-Verdrängungsmix und des D-Mix

### 3.2 IST-Zustand

Abbildung 3-2 zeigt zusammengefasst abgebildet die Ergebnisse der ganzheitlichen Bewertung des Energiesystems Deutschland im Jahr 2003.

Links ist der Energiefluss für die reine Stromerzeugung in Kraftwerken dargestellt. Ein Teil des Stroms wird in KWK-Anlagen bereitgestellt, die auch Wärme für die Fernwärmeversorgung und die Eigenversorgung von z. B. Industriebetrieben erzeugen. Der große Pfeil rechts beschreibt die reinen Wärmeerzeuger, die neben dem kleinen Teil der Spitzenlastdeckung bei der Fernwärme hauptsächlich Wärme in Haushalten und Gewerbe-Handel-Dienstleistung bereitstellen. Dabei ist zu beachten, dass ein Teil der Wärme, vornehmlich Prozesswärme in der Industrie, auch durch Strom erzeugt wird. Die Brennstoffbereitstellung für die Stromheizung entspricht der gesamten Kette der Strombereitstellung. Der gesamte KEA der Strom- und Wärmebereitstellung beträgt 2003 in Deutschland etwa 11 EJ bei einer Gesamtenergieeffizienz von rund 52 %. Die Stromkennzahl der KWK – das Verhältnis von Stromerzeugung zu Wärmeerzeugung – beträgt 0,44, während das Verhältnis des Strombedarfs zum Wärmebedarf mit 0,28 deutlich darunter liegt. Etwa 1 % des gesamten KEA entfällt derzeit auf die Herstellung der Anlagen zur Bereitstellung von Wärme und Strom. Bei den KWK-Anlagen ist dieser Faktor günstiger, da die zusätzliche Auskopplung von Wärme lediglich einen sehr geringen apparativen Aufwand bedingt.

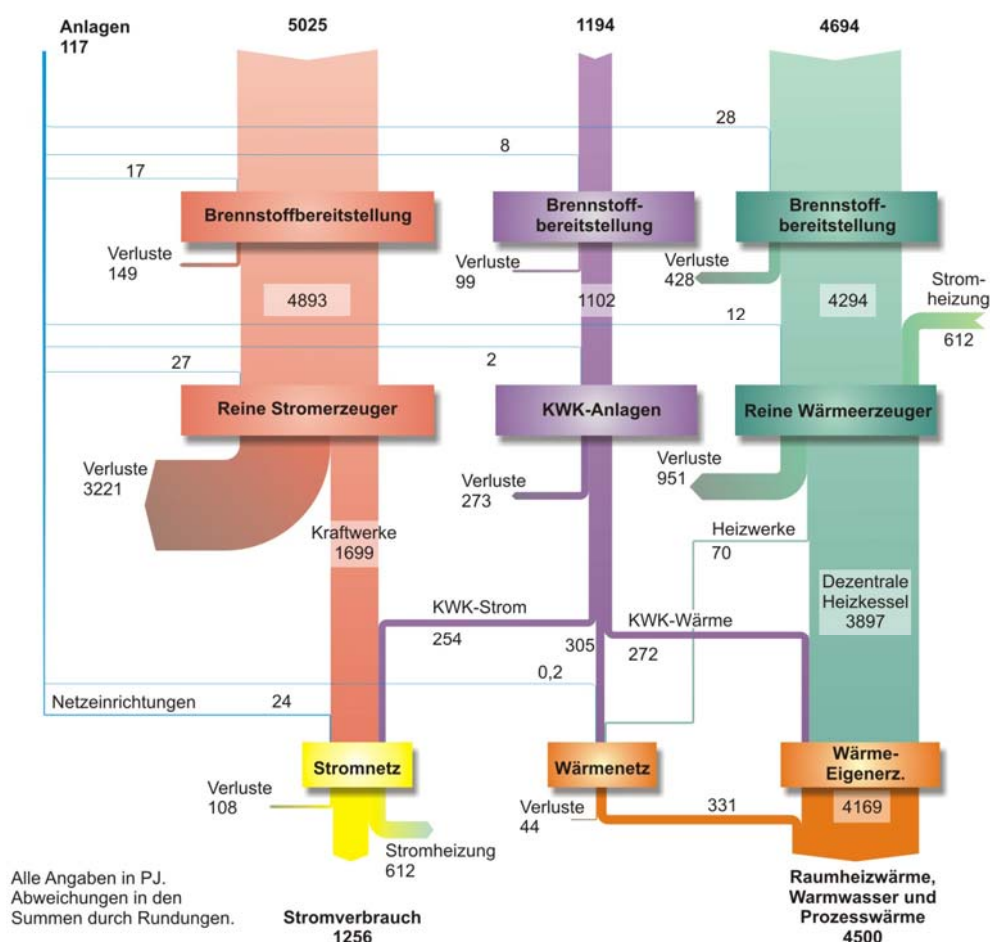
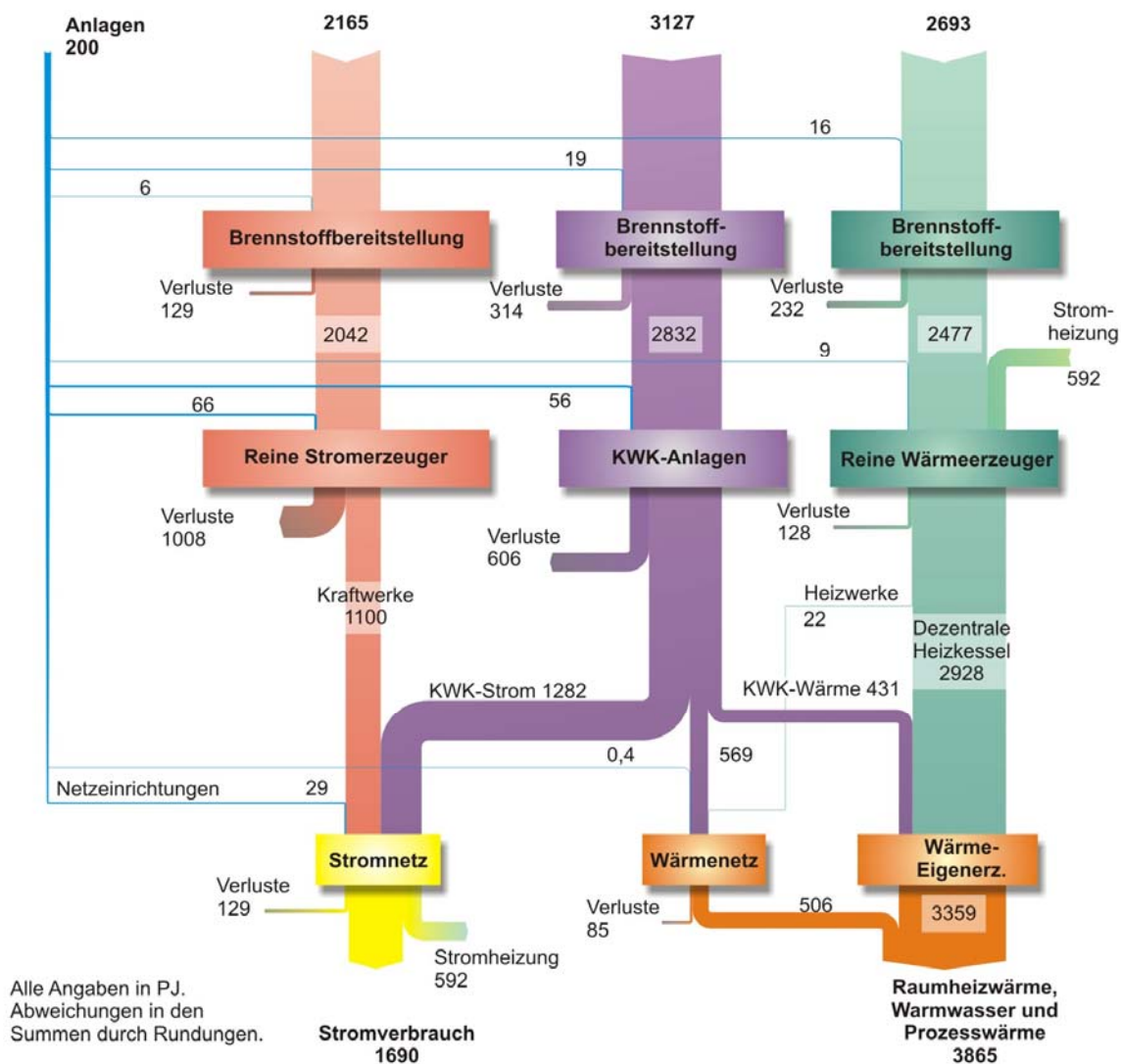


Abbildung 3-2: Ganzheitliche dynamische Bewertung der KWK im Energiesystem Deutschlands im Jahr 2003

### 3.3 Szenarienanalyse

In **Abbildung 3-3** ist der stationäre Zustand im Jahr 2050 abgebildet, wie er sich nach dem mittleren ausgewerteten Szenario ergibt. Im Gegensatz zum IST-Zustand ist deutlich erkennbar, dass der linke Ast der reinen Stromerzeugung deutlich kleiner wird. Der Herstellungsaufwand der Kraftwerke nimmt aufgrund des hohen Anteils regenerativer Energien zu. Die notwendige Leistungsvorhaltung bei KWK-Anlagen ist als Malus im  $KEA_H$  der KWK-Anlagen enthalten. Der Stromverbrauch nimmt gegenüber 2003 aufgrund der  $H_2$ -Nutzung im Verkehr zu, während der Wärmebedarf zurückgeht. Dadurch ergibt sich ein Verhältnis von 0,44 zwischen Strom- und Wärmebedarf. Die Stromkennzahl der KWK liegt dagegen mit 1,3 deutlich darüber. Obwohl der Strom- und Wärmeverbrauch gegenüber 2003 nur leicht zurückgeht, sinkt der gesamte KEA aufgrund der besseren Energieausnutzung und dem forcierten KWK-Einsatz um mehr als 25 % auf 8.200 PJ. Daraus errechnet sich ein spezifischer KEA von ca. 1,5, d. h. die eineinhalbfache Menge der gewünschten Zielenergie muss an Primärenergie zu deren Bereitstellung aufgewendet werden, während 2003 der Faktor bei etwa 2 lag.



**Abbildung 3-3:** Ergebnis der ganzheitlich dynamischen Bilanzierung für Szenario B im Jahr 2050

## 4 Schlussfolgerungen

Die Auswertung der Szenarien zeigt:

- Brennstoffzellen sind KWK-Anlagen mit hoher Stromkennzahl und der Möglichkeit, Wärme bei hohen Temperaturen bereitzustellen.
- Brennstoffzellen können dazu beitragen, die Kraft-Wärme-Kopplung auch in Objekten mit wesentlich geringerem Leistungsbedarf (im Extremfall auch in Einfamilienhäusern) einzusetzen.
- Der Herstellungsaufwand der Energiewandler und auch die Änderung des Bereitstellungsnutzungsgrades der PE-Träger haben auch weiterhin keinen großen Einfluss auf den gesamten Energieverbrauch.
- Dominierend sind die Entwicklung der Nutzungsgrade und die Veränderung der Erzeugungsstruktur.
- Nicht allein der Wärmebedarf bestimmt die Obergrenze des KWK-Potenzials, sondern bei starkem Ausbau insbesondere auch der Strombedarf.

Innovative dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung mit Brennstoffzellen hat ein großes Potenzial, wobei noch Entwicklungsarbeit geleistet werden muss, um den Anlagen zum Markteintritt zu verhelfen. In der durchgeführten Untersuchung konnten folgende Schwerpunkte für zukünftige F&E-Programme identifiziert werden:

- Die Entwicklung wesentlich kostengünstigerer Brennstoffzellenkomponenten ist notwendig, damit die Anlagen die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit erreichen können.
- Gleichzeitig muss die Entwicklung von Lebensdauer erhöhenden Maßnahmen verstärkt vorangetrieben werden.
- Die Entwicklungsanstrengungen stationärer Brennstoffzellenanwendung können durch Synergieeffekte aus der Entwicklung portabler und mobiler Systeme sinnvoll ergänzt werden.

Ggf. können auch spill-over-Effekte aus anderen Technologie- und Forschungszweigen (Biologie, Beschichtungstechnik, etc.) stärker genutzt werden. Der Aufbau eines besseren Wissensmanagementsystems mit inter-/transdisziplinären Austauschmöglichkeiten scheint hier zweckmäßig.

KWK-Anlagen allgemein, so auch schon heute verfügbare verbrennungsmotorische BHKW, können – richtig eingesetzt - große ökologische Vorteile gegenüber dem derzeitigen Energiesystem bieten. Bis zur Marktreife von Brennstoffzellensystemen muss jedoch noch viel F&E-Arbeit geleistet werden. Dann allerdings kann die Produktion von Brennstoffzellen helfen, die Wertschöpfung in Deutschland zu erhöhen.

Auftraggeber:	BMWi (Förderkennzeichen 0328000A), EnBW, E.ON Energie, E.ON Ruhrgas, N-Ergie, RWE Power, Stadtwerke Düsseldorf, Stadtwerke München, Vattenfall Europe
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. M. Beer (Projektleiter), Dipl.-Ing. T. Gobmaier, Dipl.-Phys. Ing. F. Hauptmann, Prof. Dr.-Ing. W. Mauch (Ansprechpartner), Dipl.-Ing. R. Podhajsky, Dipl.-Ing. M. Steck, Dipl.-Ing. S. von Roon