

4.3 Sektorkopplung in Deutschland

Das Thema Sektorkopplung steht im Mittelpunkt einer aktuellen Debatte darüber, wie die verschiedenen Bereiche des Energiesystems miteinander verknüpft werden können, um aus der zurzeit auf das Stromsystem fokussierten eine gesamtsystemische Energiewende zu machen. Darüber, wie diese Verknüpfung konkret aussehen soll, gibt es auseinandergelagerte Vorstellungen. Festzustellen ist, dass der aktuelle Grad der Sektorkopplung noch gering ist und dass mit der beabsichtigten und wohl auch notwendigen Ausweitung der Sektorkopplung eine Reihe von offenen Fragen verbunden ist, die es in Zukunft zu adressieren gilt.

Sektorkopplung als Trendthema der Energiewirtschaft

Sektorkopplung ist momentan eines der viel diskutierten Themen in der Energiebranche. Dabei ist bei dem neuen Trendthema noch unklar, was sich konkret hinter dem Begriff Sektorkopplung verbirgt. Zum einen ist unklar, welche „Sektoren“ gemeint sind. So kann es sich hierbei um energiewirtschaftliche Sektoren wie Strom, Wärme und Verkehr handeln, um Infrastrukturen wie Strom-, Wärme-, Gas- und Verkehrsnetze oder auch um Endverbrauchssektoren wie Haushalte, GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen), Industrie und Verkehr.

Es ist ebenfalls unbestimmt, was eine „Kopplung“ dieser Sektoren konkret bedeutet. Klar erscheint, dass hierbei die Energieflüsse zwischen den Sektoren gemeint sind. Offen ist aber, ob diese Flüsse in eine Richtung laufen oder die Bereiche bidirektional verknüpfen und ob Sekundär- zugleich Endenergieträger sind oder eine Umwandlung in andere Energieträger ebenfalls eine Option ist. Außerdem wird zunehmend auch über eine sog. „digitale Sektorkopplung“ diskutiert, bei der die informationstechnische Verknüpfung von Bereitstellungsanlagen, Infrastrukturen und Verbrauchern in den verschiedenen Sektoren im Vordergrund steht. Auf diese Form der Sektorkopplung wird im Folgenden nicht weiter eingegangen.

Zwei verschiedene Definitionen von Sektorkopplung

Aus der Vielfalt der Interpretationsmöglichkeiten zur energetischen Sektorkopplung haben sich zwei wesentliche Tendenzen herausgebildet, die beispielhaft in den Definitionen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) und beim Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) wiederzufinden sind:

- Die wörtliche Definition des BMWi lautet: „Zusätzlich hilft aber auch der Einsatz von Strom aus Erneuerbaren dabei, die Energiewende in den anderen Sektoren voranzubringen. Wenn man diesen sauberen Strom nutzt, um in anderen Sektoren den Einsatz von fossi-

len Energien zu reduzieren, spricht man von ‚Sektorkopplung‘.“ Konkreter benennt das BMWi das „Heizen mit Strom aus Erneuerbaren statt mit Öl und Gas“ und mit Bezug zum Verkehrssektor „mobil mit Strom aus Erneuerbaren“.

➔ Die reine Elektrifizierung des Wärme- und Transportbereichs stellt einen Spezialfall der Sektorkopplung dar, der durch die umfassendere Definition einer weitgehenden Verknüpfung der vorhandenen Energieinfrastrukturen ebenfalls abgedeckt wird.

- Der DVGW hingegen hat folgende Definition: „Die Idee der Sektorkopplung ist es, Strom-, Wärme-, Gas und Mobilitätsinfrastrukturen miteinander zu verknüpfen. Dadurch wird es möglich, dass erneuerbare Energien auch abseits des Stromsektors, z. B. in Haushalten, im Gewerbe, im Verkehrssektor oder auch in der Industrie, nach und nach zum Einsatz kommen und zur Dekarbonisierung beitragen“. Dieser weitergehenden Definition hat sich auch der VDE angeschlossen.

In den beiden Definitionen zur Sektorkopplung lassen sich deutliche Unterschiede erkennen. Der vom BMWi formulierte Ansatz hat den vollständigen Übergang von heutigen, nicht strombasierten Endanwendungen im Wärme- und Transportbereich auf strombasierte Endanwendungen zur Folge. Die Sektorkopplung erfolgt demnach über eine reine Elektrifizierung der Wärmeversorgung und des Verkehrssektors. Die Definition des DVGW ist hingegen offener formuliert und sieht die umfängliche (physische) Verknüpfung der vorhandenen Infrastrukturen Strom, Wärme, Gas und Verkehr vor. Strom ist also nur ein Energieträger neben weiteren möglichen wie z. B. Gas oder flüssigen Brennstoffen. Die reine Elektrifizierung des Wärme- und Transportbereichs stellt damit einen Spezialfall der Sektorkopplung dar, der durch die umfassendere Definition einer weitgehenden Verknüpfung der vorhandenen Energieinfrastrukturen ebenfalls abgedeckt wird.

Von der Stromwende zur gesamtsystemischen Energiewende

Hintergrund für die aktuelle Brisanz des Themas Sektorkopplung sind zwei zu beobachtende Entwicklungen. Erstens: bereits laut Energiekonzept der Bundesregierung aus dem Jahr 2010 sollen konventionelle Energieträger kontinuierlich entlang aller Nutzungspfade im Wesentlichen durch erneuerbare Energien ersetzt werden. Daran hat sich bis heute nichts geändert. Jedoch hat die Energiewende bisher vor allem im Stromsektor stattgefunden. Von 2010 bis 2015 lag der Bruttostromverbrauch gemäß offizieller Statistiken relativ konstant bei rund 600 TWh. In diesen Jahren nahm der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch von 17,0 % auf 31,5 % zu. Im gleichen Zeitraum ist der Anteil erneuerbarer Energien im Wärmesektor lediglich von 11,5 % auf 13,3 % gestiegen (der Endenergieverbrauch Wärme betrug 1.330 TWh bzw. 1.191 TWh) und im Verkehrssektor ist er sogar leicht von 5,8 % auf 5,3 % gefallen bei einem Endenergieverbrauch von ca. 620 TWh. Auf dem Weg hin zu einem weitestgehend dekarbonisierten und auf regenerativen Energien basierenden System müssen die Anstrengungen im Wärme- und Verkehrssektor also deutlich erhöht werden.

→ Um aus dem bisher vor allem im Stromsektor stattfindenden Transformationsprozess eine gesamtsystemische und kosteneffiziente Energiewende zu machen, muss die Herausforderung bewältigt werden, erneuerbare Energie zur richtigen Zeit am richtigen Ort und in der richtigen Form für alle Endanwendungen verfügbar zu machen.

Die zweite zu beobachtende Entwicklung ist, dass Strom aus erneuerbaren Energieanlagen aufgrund von fehlenden Flexibilitätsoptionen (wie z. B. Speichern und Netzen im Stromsektor) zunehmend abgeregelt wird und somit weder für Stromanwendungen noch für einen Verbrauch im Wärme- und Verkehrsbereich zur Verfügung steht. So stieg laut Bundesnetzagentur die resultierende Ausfallarbeit durch Einspeisemanagement-Maßnahmen von 127 GWh in 2010 auf 4.722 GWh im Jahr 2015. Mit der entstandenen Ausfallarbeit gingen in den gleichen Jahren Entschädigungsansprüche der Anlagenbetreiber ge-

genüber den Netzbetreibern in Höhe von rund 10 bzw. 478 Mio. Euro einher.

Mit dem steigenden Anteil erneuerbaren Stroms und den damit – z. B. durch Einspeisemanagement und Ausfallarbeit – einhergehenden steigenden Systemkosten sind auch die entsprechenden Umlagen und damit der Endverbraucherpreis von Strom gestiegen. Vor diesem Hintergrund hat sich eine Debatte um die Zukunft der Finanzierung der Förderung erneuerbarer Energien entwickelt sowie um die Frage, ob und ggf. wie die Finanzierung auf eine breitere Grundlage gestellt werden sollte. Zudem wird darüber debattiert, ob und inwieweit bestimmte Elemente im Energiesystem wie Strom- oder Gasspeicher von Umlagen und Abgaben entlastet werden sollten, um ihren systemdienlichen Einsatz zu begünstigen.

Um aus dem bisher vor allem im Stromsektor stattfindenden Transformationsprozess eine gesamtsystemische und kosteneffiziente Energiewende zu machen, muss die Herausforderung bewältigt werden, erneuerbare Energie zur richtigen Zeit am richtigen Ort und in der richtigen Form für alle Endanwendungen verfügbar zu machen. An diesem Punkt kommt die Sektorkopplung ins Spiel. Im weitergefassten Sinne des Begriffes könnte z. B. in Gas umgewandelter Überschussstrom über die Gasinfrastruktur zwischengespeichert, transportiert und am Entnahmepunkt verbraucht werden. Im Fall der Sektorkopplung im engeren Sinne (reine Elektrifizierung) verlässt die Energie das Stromsystem nicht.

Status Quo der Sektorkopplung

Für die Umsetzung der Sektorkopplung stehen schon heute technische Optionen zur Verfügung. Neben einsatzfähigen Technologien mit unterschiedlich starker Marktdurchdringung gibt es innovative technische Systeme, die auf ihren Durchbruch warten:

- Kraft-Wärme-Kopplung (KWK): bei der KWK werden Primärenergieträger gekoppelt zu Strom und Wärme umgewandelt. Hierfür stehen kleinere Blockheizkraftwerke und größere Kraftwerke mit Wärmeauskopplung zur Verfügung. Neuere Technologien wie die Brennstoffzelle zur Umwandlung von Wasserstoff in Strom und Wärme spielen zurzeit noch keine nennenswerte Rolle im deutschen Energiesystem. Laut einer Schätzung des Öko-Instituts betrug 2014 die installierte elektrische Netto-Engpassleistung mit potenzieller Wärmeauskopplung 33,4 GW. Die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen berichtet, dass die Kapazitäten 104 TWh an Strom und 210 TWh an Wärme

gekoppelt bereitstellen. Das entspricht einem KWK-Strom-Anteil an der gesamten Netto-Stromerzeugung von 17,6 %. 2015 entsprach der Anteil 17,1 %. Energiepolitisches Ziel ist laut Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG 2016) eine Nettostromerzeugung aus KWK-Anlagen in Höhe von 110 TWh bis 2020 und von 120 TWh bis 2025.

- Power-to-Heat (PtH): PtH-Anlagen wandeln Strom direkt in Wärme um, wie im Fall von Elektrodenkesseln oder machen Umweltwärme mittels elektrischer Wärmepumpen nutzbar. Während sich die direkte Umwandlung in Kraftwerken mit angeschlossenem Wärmespeicher noch auf einzelne Projekte beschränkt, waren 2015 bereits rund 800.000 Wärmepumpen installiert (gemäß Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Heizungsindustrie), die 10,4 TWh Wärme bereitgestellt haben, was einem Anteil am Endenergieverbrauch Wärme von 0,9 % entspricht.
- Kopplungstechnologien im Transportsektor: durch Elektromotoren in Kombination mit Batteriespeichern ist Strom in den Transportsektor (hier insbesondere bei Pkw) integrierbar. Gemäß Kraftfahrt-Bundesamt waren zum 1. Januar 2016 ca. 25.500 der ca. 45 Mio. zugelassenen Pkw in Deutschland reine Elektrofahrzeuge und 130.365 hybride Pkw, die neben Strom mit einem weiteren Brennstoff angetrieben werden. Somit hatten beide Fahrzeugtypen zusammen einen Anteil von 0,3 % am Pkw-Gesamtbestand. Ziel der Bundesregierung sind eine Million zugelassene Elektrofahrzeuge bis 2020. Für eine Ausweitung der Elektromobilität ist vor allem ein Ausbau der Ladeinfrastruktur notwendig. Mitte 2016 standen laut Erhebung des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft 2.859 Ladestationen mit 6.517 Ladepunkten bereit. Die Nationale Plattform Elektromobilität hat ermittelt, dass zur Erreichung des Ziels von einer Million Elektrofahrzeugen bis 2020 insgesamt 70.000 Wechselstrom-Ladepunkte und 7.100 Gleichstrom-Ladepunkte notwendig sind. Über eine strombetriebene Pkw-Flotte hinaus ist es möglich, Fahrzeuge und Schiffe mit (zunehmend erneuerbarem) Gas zu betreiben.
- Power-to-Gas (PtG): bei der PtG-Technologie wird überschüssiger Strom dazu genutzt, durch einen Elektrolyseprozess Wasserstoff herzustellen und diesen ggf. in einem weiteren Prozessschritt zu Methan umzuwandeln. Das entstandene synthetische Gas kann lokal zwischengespeichert oder in das Gasnetz eingespeist werden und steht somit für eine spätere Rückverstromung oder für eine direkte Verwendung im Wärme- und Verkehrssektor zur Verfügung. Auf die-

sem Weg koppelt Power-to-Gas die Sektoren mit bereits heute vorhandenen Anwendungstechnologien wie Gasturbinen, Brennwärmturbinen oder gasbetriebenen Fahrzeugen im Transportsektor. Laut Deutscher Energieagentur sind aktuell 28 PtG-Anlagen in Deutschland im Betrieb und weitere fünf Anlagen befinden sich in der Bau- oder Planungsphase. Nachdem die technischen Prozesse beherrscht werden, geht es für die Betreiber aktuell darum, wirtschaftliche Geschäftsmodelle aufzusetzen.

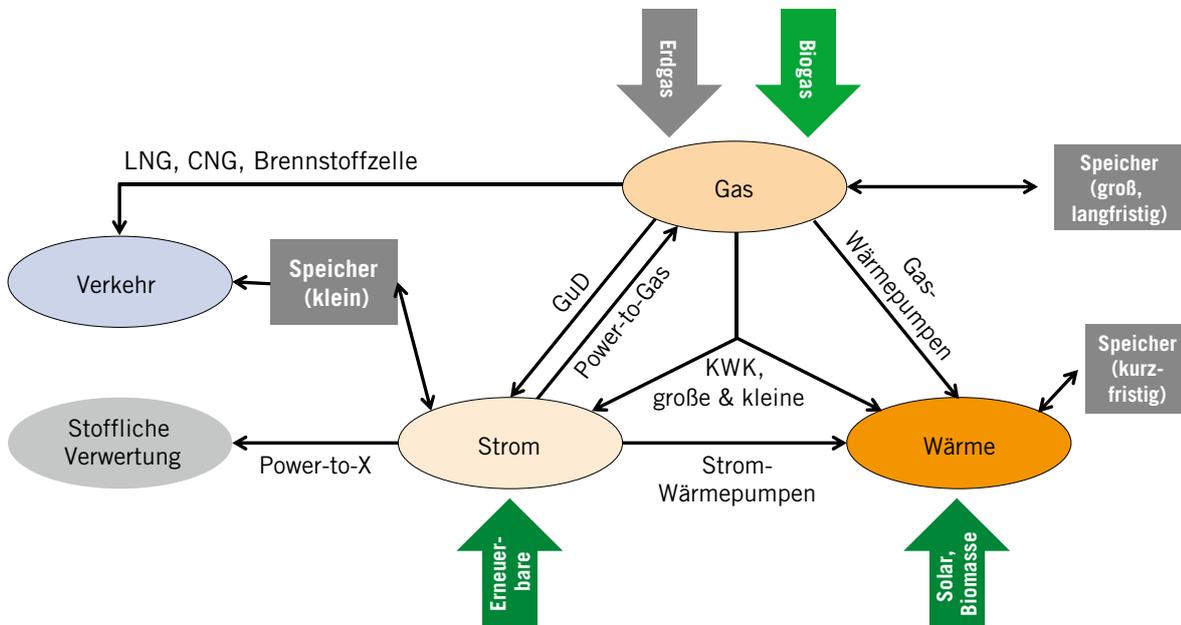
- Power-to-X: Aktuell werden von der Industrie weitere Technologien zur Nutzung von erneuerbarem Strom untersucht. Eine Möglichkeit ist die Nutzung von durch PtG gewonnenem Wasserstoff zur Kraftstoffherstellung in Raffinerien, was einen weiteren Weg zur Kopplung von Strom- und Transportsektor darstellt. Darüber hinaus kann „grüner“ Wasserstoff auch zur Herstellung von chemischen Produkten in der Industrie verwendet werden.

 **Energiespeicher können eine wichtige Rolle spielen, um die Realisierung einer weitgehenden Sektorkopplung zu vereinfachen oder gar erst zu ermöglichen.**

Die Abbildung zeigt, wie durch die beschriebenen und weitere Technologien die Sektoren integriert werden können. Der Gasinfrastruktur kommt in diesem Konzept eine wesentliche Rolle für die Interaktion der Sektoren Verkehr, Strom und Wärme zu. Ein weiteres Element sind Energiespeicher, die an verschiedenen Stellen des Konzeptes greifen. Energiespeicher können eine wichtige Rolle spielen, um die Realisierung einer weitgehenden Sektorkopplung zu vereinfachen oder gar erst zu ermöglichen.

Findet eine Kopplung ohne die Gasinfrastruktur statt, beschränkt sich die Verknüpfung, abgesehen von PtG-Insellösungen wie etwa in der chemischen Industrie, auf die direkte Verbindung des Stromsektors mit den Bereichen Verkehr und Wärme. In diesem Fall stellt sich die Frage, wie saisonale Schwankungen des Angebots und der Nachfrage, die bei einem großflächigen Ausbau erneuerbarer Energien an Bedeutung gewinnen, ohne die vorhandenen Langzeitspeicher des Gassystems ausgeglichen werden können.

Abbildung 4.16: Sektorkopplung im Sinne einer umfassenden Definition



Quelle: TEAM CONSULT

Offene Fragen

Abgesehen von der KWK spielt die Sektorkopplung heute noch keine wesentliche Rolle im deutschen Energiesystem. Aufgrund von stetig steigendem Überschussstrom aus erneuerbaren Energien und einer gleichzeitig stockenden Umsetzung der Energiewende im Wärme- und Verkehrssektor zeichnet sich der Bedarf einer zunehmenden Kopplung jedoch ab. Über welchen Ansatz das geschieht – über eine Elektrifizierung oder eine umfängliche Kopplung der Infrastrukturen – ist heute noch nicht abzusehen. Mittels beider Pfade könnten die Energieziele erreicht werden. Jedoch ergeben sich sehr unterschiedliche Konsequenzen.

Sollte die Elektrifizierung des Wärme- und Verkehrssektors in sehr ambitionierter Weise vorangetrieben werden, ist damit zu rechnen, dass der Strombedarf in diesen Bereichen deutlich zunimmt. Da insbesondere der Wärmebedarf starken jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt, bedeutet eine Elektrifizierung ohne zusätzliche Energieeffizienzmaßnahmen in diesem Bereich außerdem einen signifikanten Anstieg der Stromspitzenlast im Winter. Die steigende Strommengen- und Leistungsanfrage erhöht wiederum den Ausbaubedarf an erneuerbarer Erzeugungskapazität und Stromnetzkapazitäten.

➔ Aufgrund von stetig steigendem Überschussstrom aus erneuerbaren Energien und einer gleichzeitig stockenden Umsetzung der Energiewende im Wärme- und Verkehrssektor zeichnet sich der Bedarf einer zunehmenden Kopplung jedoch ab.

Parallel dazu würden andere Infrastrukturen wie Gas, Fern- und Nahwärmenetze immer weniger ausgelastet. Neben der Bezahlbarkeit der abnehmenden Übertragungs- und Verteildienstleistungen stellt sich am Ende die Frage, ob die Infrastrukturen in Zukunft in Teilen oder komplett obsolet werden und wie mit den verbleibenden Nutzern umgegangen wird. Hier könnten sich Diskussionen um einen möglichen Rückbau entwickeln. Andererseits aber auch um einen Ausbau, wenn die Systeme mit erneuerbaren Energien gespeist werden.

Stünde im Rahmen der Sektorkopplung nicht eine reine Elektrifizierung, sondern die umfassende Verknüpfung der Infrastrukturen im Vordergrund, wäre PtG eine Schlüsseltechnologie. Fraglich ist, ob die Bereitstellungs-

kosten von PtG-Anlagen in Zukunft ausreichend fallen können, sodass die mit relevanten Umwandlungsverlusten einhergehende Technologie auch volkswirtschaftlich einen Nutzen stiftet. Bis zu dem Punkt, an dem PtG eine Rolle im Energiesystem spielt, wäre außerdem offen, was mit den Infrastrukturen neben dem Stromsystem passiert.

 **Stünde im Rahmen der Sektorkopplung nicht eine reine Elektrifizierung, sondern die umfassende Verknüpfung der Infrastrukturen im Vordergrund, wäre Power-to-Gas eine Schlüsseltechnologie.**

Ebenfalls drängt sich die Frage auf, ob es am Ende eine „one-size-fits-all“-Lösung geben wird. Die Strukturen im ländlichen Raum und in den Ballungsgebieten unterscheiden sich mitunter stark. Somit können sich womöglich bei stark unterschiedlichen Voraussetzungen auch regional sehr unterschiedliche Lösungen durchsetzen.

Zu erwarten ist, dass das Setzen der Rahmenbedingungen für den einen oder den anderen Entwicklungspfad mit einer industriepolitischen Diskussion einhergeht, denn hinter der konkreten Ausgestaltung der Sektorkopplung stehen unter anderem die Interessen der Versorger, Technologieanbieter, Infrastrukturbetreiber und Energieverbraucher einschließlich der Industrie.

Wirtschaftlichkeitsfragen werden auch im Hinblick auf die Sektorkopplung (wie in Bezug auf die Energiewende allgemein) ein wichtiger Aspekt aus Verbrauchersicht sein, bei dem für industrielle Abnehmer die Standortdiskussion im Vordergrund steht und Haushaltskunden auf die Bezahlbarkeit und die Berücksichtigung sozialer Gesichtspunkte beharren werden.

Aufgrund der weitreichenden Konsequenzen für die Energiewirtschaft werden die Kursrichtung und das notwendige Marktdesign für die Sektorkopplung vermutlich zu einem der zentralen energiepolitischen Themen in der kommenden Legislaturperiode.