

Rolle der Bioenergie im Strom- und Wärmemarkt bis 2050 unter Einbeziehung des zukünftigen Gebäudebestandes

Markus Haller¹, Klaus Hennenberg, Tilman Hesse, Christian Winger, Katja Hünecke, Matthias Koch

Öko-Institut, Merzhauserstr. 173, 79100 Freiburg

Kurzfassung:

Bei der Umsetzung der Energiewende in Deutschland kommt der Biomasse eine wichtige Rolle zu. In dem Vorliegenden Beitrag wurde modellgestützt analysiert, ob das verfügbare Bioenergieangebot eher für den Stromsektor oder besser im Wärmemarkt als erneuerbare Wärmequelle eingesetzt werden sollte, um die Klimaschutzziele für den Strom- und Wärmesektor möglichst kosteneffizient einzuhalten. Zum Einsatz kamen das Strommarktmodell PowerFlex, in das der Gebäudesektor über das Gebäudemodell Building-STAR integriert wurde. Als Ergebnis dieser Sektorkopplung sind folgende Schlussfolgerungen hervorzuheben:

- Erneuerbare Energien verdrängen im Zeitverlauf sowohl im Stromsektor als auch im Gebäudesektor fossile Energieträger, um die vorgegebenen CO₂-Minderungsziele zu erfüllen.
- Sowohl Biogas als auch daraus aufbereitetes Biomethan werden erst bei sehr hohen Minderungszielen für Treibhausgase (THG) und einem gleichzeitig geringem Angebot an fester Biomasse eingesetzt.
- Der Einsatz von fester Biomasse stellt in der dezentralen Wärmeversorgung eine wichtige Übergangstechnologie dar, insbesondere für schlecht gedämmte bzw. nur unzureichend energetisch sanierbare Gebäude. Die energetische Sanierung und Dämmung der Gebäudehülle und den daraus folgenden Rückgang des Wärmebedarfs stellt die Grundlage für die CO₂-Minderung im Wärmesektor dar.
- Die Kopplung des Wärme- und Stromsektors nimmt von 2020 bis 2050 zu (z.B. flexible KWK-Kraftwerke oder Wärmepumpen). Der Stromsektor kompensiert die Restriktionen des Gebäudebestands und beteiligt sich überproportional an der gesamten sektorübergreifenden CO₂-Minderung.
- Die Reduktion der Kohleverstromung und der Ausbau der Wind- und PV-Stromerzeugung stellen die beiden zentralen Komponenten für die CO₂-Minderung im Stromsektor dar.

Keywords: Strommarktmodellierung, Gebäudemodellierung, Biomasse, Szenarienanalyse, Klimaschutz, Sektorkopplung

¹ mail: m.haller@oeko.de, phone: +49 - 761 - 45 29 5 - 293, fax: +49 - 761 - 45 29 5 - 288

1 Zielsetzung

Die energetische Nutzung von Biomasse bildet einen wichtigen Baustein bei der Umsetzung der Energiewende in Deutschland für eine klima- und umweltverträgliche Energieversorgung. Die besondere Bedeutung der Biomasse resultiert zum einen daher, dass sie sowohl im Strom- und Wärmesektor als auch im Verkehrssektor energetisch genutzt werden kann. Zum anderen ist sie über einen längeren Zeitraum hinweg speicherbar und mit anderen erneuerbaren Energieträgern kombinierbar, so dass sie beispielsweise Schwankungen der fluktuierenden Stromeinspeisung aus Wind und PV oder der schwankenden Wärmeerzeugung aus Solarthermie ausgleichen kann. Die Nachteile der Biomassenutzung als Energieträger bestehen darin, dass das verfügbare Angebot an Biomasse zur energetischen Nutzung begrenzt ist, der Anbau mit Umwelt- und sozialen Risiken verbunden sein kann (insbesondere bei Importen) und sie zudem über das verfügbare Flächenpotenzial mit der stofflichen Nutzung und dem Anbau von Nahrungsmitteln konkurriert.

Das Ziel dieses Beitrags, welcher in dem gleichlautenden und vom BMWi geförderten Projekt entstanden ist (siehe Koch et al. 2018), besteht darin, die Rolle der energetischen Nutzung von Biomasse im Strom- und Wärmemarkt in Deutschland hinsichtlich folgender Fragestellungen zu analysieren:

- Sollte das verfügbare Bioenergieangebot eher für den Stromsektor (z.B. stromgeführte KWK als Flexibilitätsoption) oder besser im Wärmemarkt als erneuerbare Wärmequelle eingesetzt werden, um die Klimaschutzziele für den Strom- und Wärmesektor möglichst kosteneffizient einzuhalten?
- Wie sensitiv reagiert der Einsatz von Biomasse im Strom- und Wärmesektor auf Änderungen der Wärmenachfrage im Gebäudesektor, wie sie sich infolge unterschiedlicher Sanierungsintensitäten ergibt?
- Welche Wechselwirkungen und Abhängigkeiten ergeben sich zwischen dem Wärme- und dem Stromsektor und welche Funktion nimmt die Biomasse dabei ein?

2 Methodik

Den methodischen Kern der Untersuchung bildet eine quantitative, modellbasierte Szenarienanalyse auf Basis des Strommarktmodells „PowerFlex“ des Öko-Instituts. Dieses Modell wurde dahingehend erweitert, dass die Biomasseallokation Teil der optimalen Lösung ist. Zudem wurde das hauseigene Gebäudemodell „Building-STAR“ als zentrale Inputgröße für den Gebäudesektor eingesetzt, um Aspekte wie Anlagen zur Wärmebereitstellung, Wärmeschutzmaßnahmen, Neubau und Abriss modellgestützt zu adressieren. Dabei wurden die beiden Modelle „PowerFlex“ und „Building-STAR“ über eine Datenschnittstelle miteinander gekoppelt (siehe Abbildung 1 sowie Details in Koch et al. 2018).

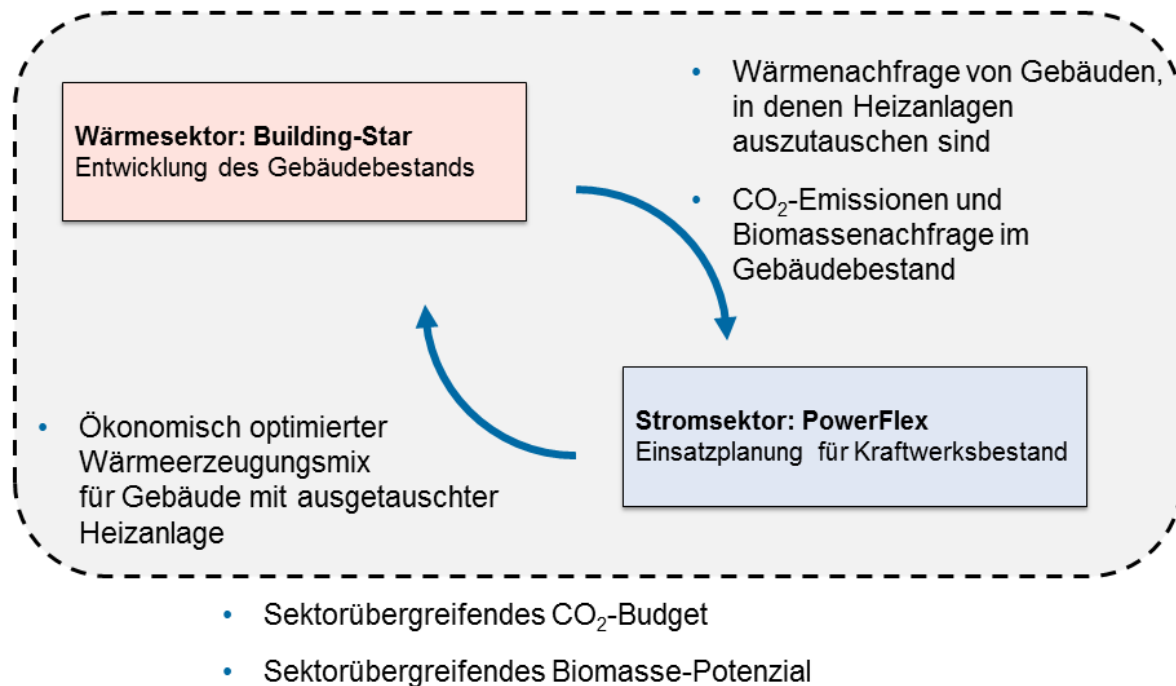


Abbildung 1: Kopplung der Modelle für Wärme- und Stromsektor. Quelle: Koch et al. (2018).

Für die Szenarienanalyse wurden für den Zeitraum 2020, 2030 und 2050 insgesamt 10 Szenarien definiert. Das verfügbare CO₂-Emissionsbudget quantifiziert dabei das unterstellte Klimaschutzniveau und gibt den grundsätzlichen Charakter der Szenarien vor. Die Variation des verfügbaren Biomasseangebots spannt den Korridor für die energetische Biomassenutzung im Strom- und Wärmesektor auf. Ergänzend dazu wurden durch eine Variation der Parameter „zu deckende Wärmefachfrage im Gebäudesektor“ und „installierte Leistung der Kohlekraftwerke“ Sensitivitäten in den beiden Hauptszenarien gebildet.

Die Szenarien und deren Sensitivitäten lassen sich folgendermaßen strukturieren:

- Referenzszenario (Ref): Aufbauend auf den Klimaschutzszenarien KS80 (Öko-Institut e.V. und Fraunhofer ISI 2015) mit einer Minderung der Treibhausgasemissionen um 80% bis 2050.
- Sensitivität „Wärmeeffizienz durch stärkere Gebäudesanierung“ für das Referenzszenario (Ref_WE): Absenkung des Raumwärmebedarfs wie in den Naturschutzszenarien.
- Naturschutzszenario (Nat): Aufbauend auf den Klimaschutzszenarien KS95 (Öko-Institut e.V. und Fraunhofer ISI 2015) mit einer Minderung der Treibhausgasemissionen um 95% bis 2050 und einem aus naturschutzgründen begrenzten Biomassepotenzial für die energetische Nutzung.
- Sensitivität „Kohle-Schnellausstieg“ für das Naturschutzszenario im Jahr 2020 (Nat_KA): Absenkung des zur Verfügung stehenden CO₂-Budgets.

3 Modellergebnisse und Schlussfolgerungen

Während das Potenzial zur energetischen Nutzung an fester Biomasse (vorwiegend Holz) in allen Szenarien und Stützjahren vollständig ausgeschöpft wird, kommen Biogas und Biomethan aufgrund der vergleichsweise hohen Brennstoffkosten erst im Naturschutzszenario mit verschärften Klimaschutzanforderungen zum Einsatz (vgl. Abbildung 2). Im Referenzszenario wird der weitaus größte Teil der festen Biomasse zur dezentralen Wärmeversorgung in Gebäuden eingesetzt (z.B. Kaminfeuerungen und Pelletheizungen). Im Naturschutzszenario ist das verfügbare Biomassepotenzial auf Grund von Nachhaltigkeitsanforderungen und der erhöhten Biomassenachfrage im Verkehrssektor deutlich reduziert. Das dann noch verfügbare Biomassepotenzial wird fast ausschließlich zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme genutzt. In gut gedämmten Gebäuden dominiert zudem der Einsatz von Wärmepumpen, was insbesondere im Szenario „Ref_WE“ (Sensitivität „Wärmeeffizienz durch stärkere Gebäudesanierung“ für das Referenzszenario) deutlich wird. Die Rolle der Biomasse konzentriert sich dann auf den Einsatz als klimaneutraler Brennstoff in schlecht gedämmten Gebäuden.

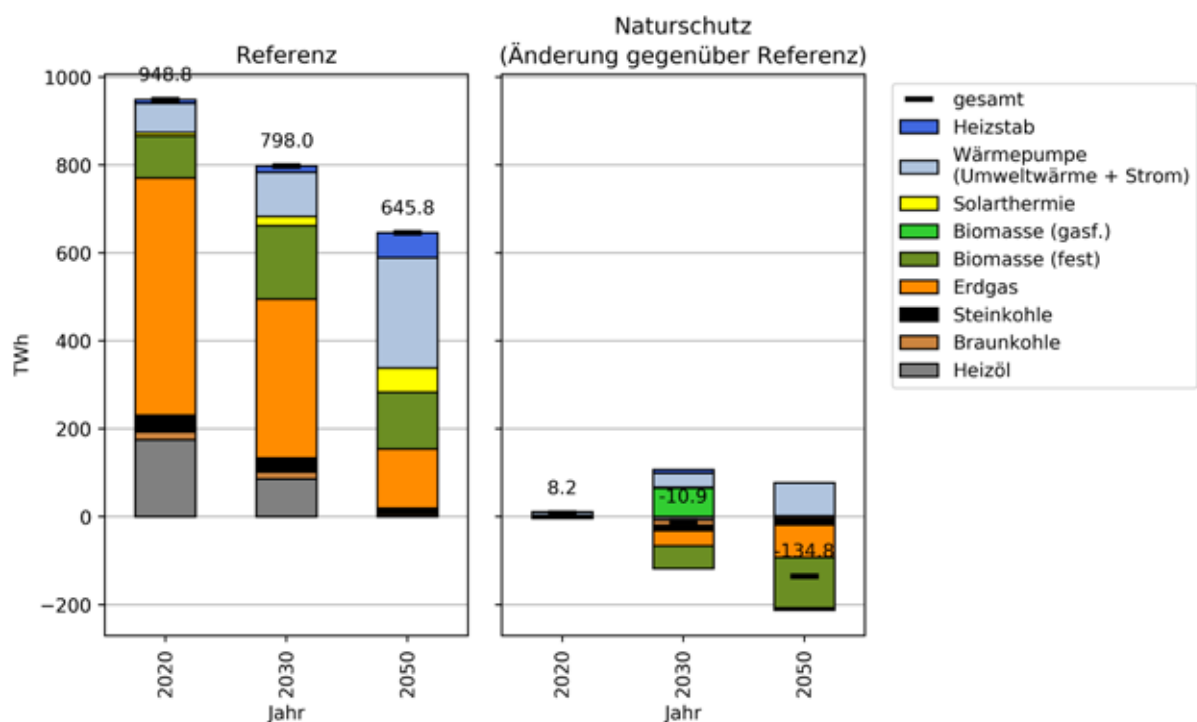


Abbildung 2: Brennstoffspezifischer Erzeugungsmix der Wärmebereitstellung im deutschen Gebäudesektor (Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude). Quelle: Koch et al. (2018).

Im Stromsektor besteht die vorrangige Rolle der Biomasse in der Bereitstellung von flexibel einsetzbarer Leistung. Der Strom wird dabei hauptsächlich in den Morgen- und Abendstunden erzeugt, wo die Stromnachfrage besonders hoch und die Stromerzeugung aus Photovoltaik niedrig ist. Diese Flexibilitätsaufgabe kann Biomasse jedoch nur anteilig ausfüllen, da sie im Strommix einen deutlich geringeren Anteil im Vergleich zu Wind und PV aufweist (siehe Abbildung 3). Dem Stromaustausch mit den Nachbarländern als Flexibilitätsoption kommt dabei eine größere Rolle zu.

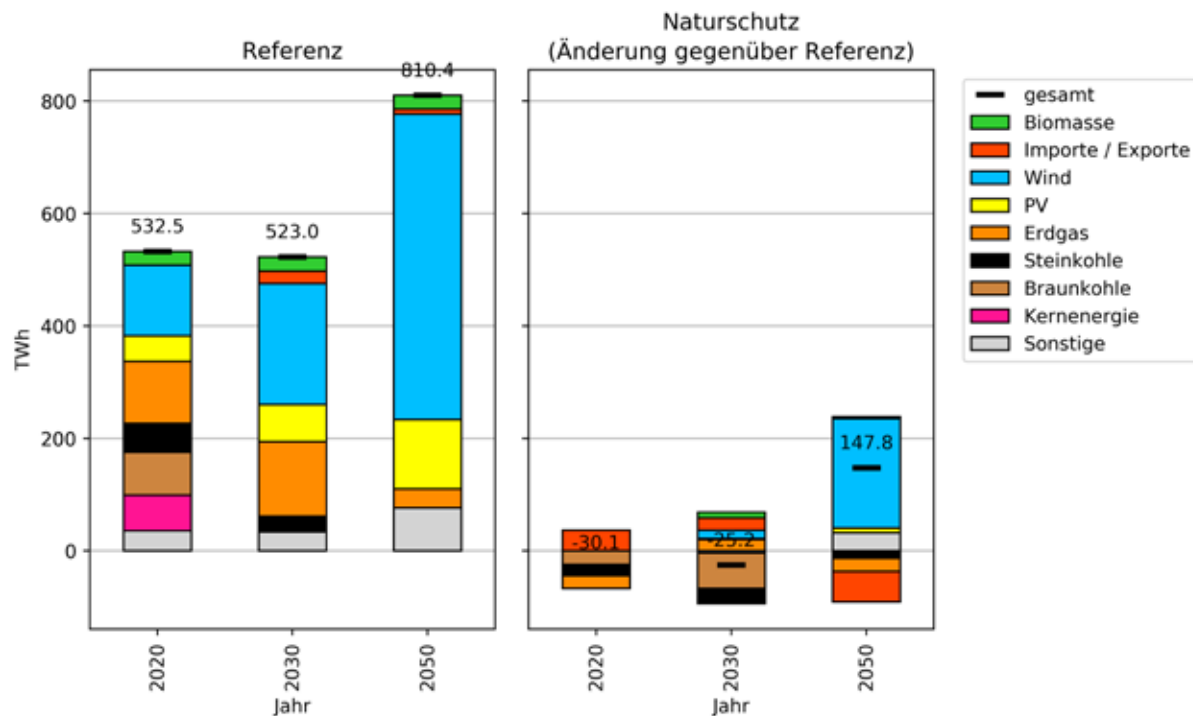


Abbildung 3: Brennstoffspezifischer Erzeugungsmix der Strombereitstellung. Quelle: Koch et al. (2018).

Hinsichtlich der gemeinsamen Aufgabe zur Dekarbonisierung übernimmt der Stromsektor im Vergleich zum Wärmesektor eine dominierende Rolle. Während im Referenzszenario 2020 fast 60% der CO₂-Emissionen im Stromsektor anfallen, kehrt sich das Verhältnis bis 2050 im Referenzszenario und Naturschutzszenario um. Eine Verbesserung der Wärmeeffizienz ohne Anpassung des CO₂-Budgets führt zu einer Verlagerung der CO₂-Emissionen vom Wärmesektor in den Stromsektor und der Stromsektor bleibt Hauptemittent (siehe Abbildung 4).

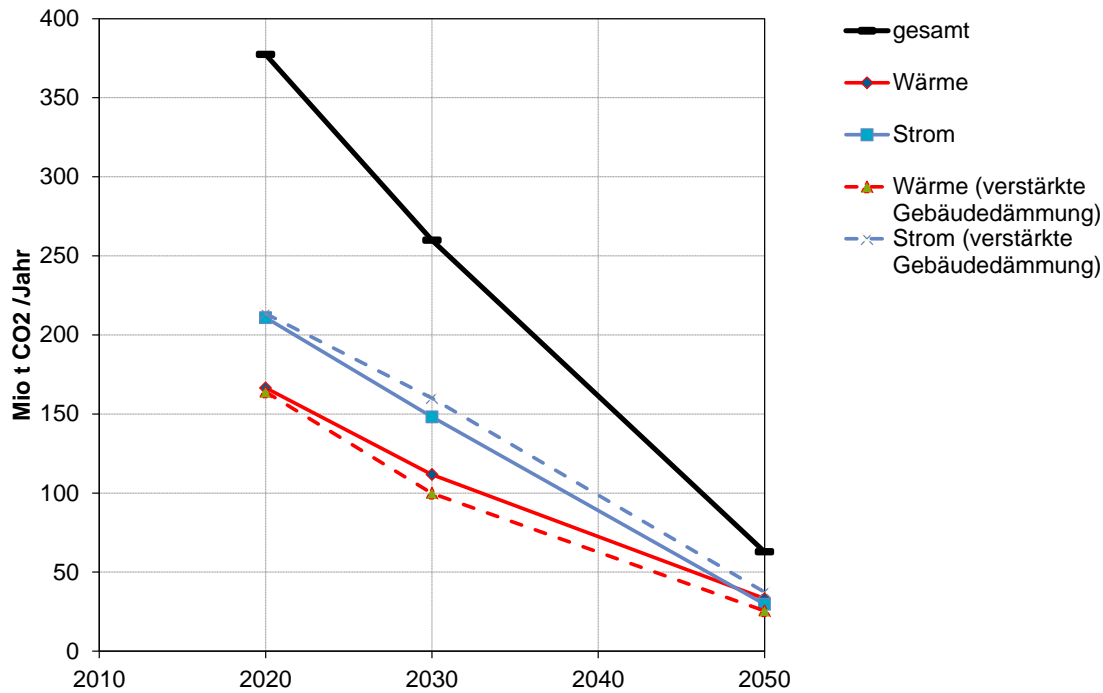


Abbildung 4: Vergleich der CO₂-Emissionen je Sektor im Referenzszenario und mit der Sensitivität „Wärmeeffizienz durch stärkere Gebäudesanierung“. Durch eine verstärkte Gebäudedämmung werden CO₂-Emissionen vom Wärmesektor in den Stromsektor verlagert. Quelle: Koch et al. (2018).

Basierend auf Koch et al. (2018) lassen sich abschließend folgende Schlussfolgerungen ziehen:

Schlussfolgerung 1: Erneuerbare Energien verdrängen im Zeitverlauf sowohl im Stromsektor als auch im Gebäudesektor fossile Energieträger, um die vorgegebenen CO₂-Minderungsziele zu erfüllen.

Im Stromsektor sind vor allem Windenergie und Photovoltaik die dominierenden erneuerbaren Energieträger. Der Anteil der Biomasse im Strommix liegt nur zwischen 3 % und 5 %. Im Gebäudesektor spielen vor allem erneuerbarer Strom zum Betrieb von Wärmepumpen, feste Biomasse und Solarthermie eine Rolle.

Schlussfolgerung 2: Die Ergebnisse der Modellierung zeigen, dass sowohl Biogas als auch daraus aufbereitetes Biomethan erst bei sehr hohen THG-Minderungszielen und einem gleichzeitig geringem Angebot an fester Biomasse eingesetzt werden (Naturschutzszenario mit beschleunigtem Kohleausstieg im Jahr 2020 sowie Naturschutzszenario 2030 und 2050).

Dies liegt daran, dass gasförmige Biomasse am Ende der Merit Order für die CO₂-freien Brennstoffe steht und somit erst als letzte Option für die Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt werden. Es ist deshalb zu prüfen, ob gasförmige Biomasse nicht bevorzugt im Verkehrssektor eingesetzt werden sollte, wo für Kraftstoffe ein höheres und auch mittelfristig steigendes Preisniveau zu erwarten ist (siehe auch Biomethan im Verkehr als Post-EEG-Strategie in (Thrän et al. 2015)). An dieser Stelle besteht weiterer Forschungsbedarf, um den Verkehrssektor mit in die hier durchgeführte ökonomische Optimierung aufzunehmen.

Schlussfolgerung 3: Der Einsatz von fester Biomasse stellt in der dezentralen Wärmeversorgung eine wichtige Übergangstechnologie dar, insbesondere für schlecht gedämmte bzw. nur unzureichend energetisch sanierbare Gebäude.

Als Ausgangspunkt der Modellierung ist im Gebäudebestand noch ein vergleichsweise hoher Anteil weniger gut gedämmter Gebäude vorhanden. In diesen Gebäuden wird dann vorrangig feste Biomasse als erneuerbare Energiequelle eingesetzt, um die nötigen THG-Minderungen zu gewährleisten. Auch wenn es aus energetischer Sicht sinnvoller wäre, die Biomasse in stromgeführten KWK-Anlagen einzusetzen, wird das verfügbare Biomassepotenzial vorzugsweise in den schlecht gedämmten Gebäude verbraucht, da diese – ähnlich wie der Flug- und Schiffsverkehr im Verkehrssektor – auf feste Biomasse als CO₂-freien Energieträger angewiesen sind. Dies gilt zum Beispiel für Gebäude, die aufgrund von Denkmalschutzanforderungen nicht ausreichend gedämmt werden können.

Schlussfolgerung 4: In den Ergebnissen aus der Modellierung ist zudem zu sehen, dass die Kopplung des Wärme- und Stromsektors von 2020 bis 2050 zunimmt. Diese Kopplung erfolgt über erneuerbaren Strom und elektrische Wärmeerzeugung sowie mit Hilfe von flexiblen KWK-Kraftwerken. Biomasse spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

Der Einsatz von elektrischen Wärmeerzeugungstechnologien steigt in allen Szenarien deutlich an, wobei aufgrund der höheren Effizienz in erster Linie Wärmepumpen eingesetzt werden. Stößt der Einsatz von Wärmepumpen an Potenzialgrenzen oder andere Restriktionen, wie zum Beispiel aufgrund eines schlechten Sanierungszustands von Gebäuden, werden auch Heizstäbe eingesetzt.

Ergänzend dazu wird auch Biomasse flexibel eingesetzt, um sowohl Erzeugungsdefizite in der Stromerzeugung auszugleichen, als auch um den höheren Wärmebedarf im Winterhalbjahr zu decken. Dies geschieht in flexibilisierten Biomasse-KWK-Kraftwerken, die dann allerdings nur noch geringe Volllaststunden aufweisen.

Schlussfolgerung 5: Die energetische Sanierung und Dämmung der Gebäudehülle und den daraus folgenden Rückgang des Wärmebedarfs stellt die Grundlage für die CO₂-Minderung im Wärmesektor dar.

Der Rückgang der Wärmenachfrage durch Effizienzmaßnahmen und energetische Sanierung wirkt sich direkt auf einen Rückgang des Energieträgereinsatzes aus. Anders als im Stromsektor kann Wärme aus nicht mehr ausgelasteten Heizungsanlagen nicht zu anderen Verbrauchern „exportiert“ werden. Zudem setzt der effiziente Einsatz von Wärmepumpen einen energetischen Mindeststandard des Gebäudes voraus, so dass eine unzureichende Gebäudesanierung den effizienten Einsatz von erneuerbarem Strom zur Wärmebereitstellung behindert.

Um eine ausreichende Wärmedämmung zu erreichen, ist eine jährliche Sanierungsrate von bis zu 2 % bei Wohngebäuden und von bis zu 3 % bei Nicht-Wohngebäuden nötig. Hierzu muss die Entscheidung für eine energetische Sanierung am Ende eines Reinvestitionszyklus

auf 90 % in 2040 ansteigen. Zudem ist eine ästhetische Dämmrestriktion in 2050 bei 90 % der betreffenden Wohn- und 75% der Nicht-Wohngebäude aufzugeben, um eine Außendämmung statt einer Innendämmung einzusetzen. Generell ist zu beachten, dass aufgrund der langen Reinvestitionszyklen bei der Gebäudehülle heutige Dämmmaßnahmen möglichst den energetischen Ansprüchen in 2040 und 2050 entsprechen sollten. Findet bei einer Renovierungsmaßnahme keine energetische Sanierung statt, ist das entsprechende Bauteil vorerst für eine energetische Sanierung geblockt und erhöht den bereits bestehenden Sanierungstau.

Aufbauend auf der effizienten energetischen Sanierung der Gebäudehülle kommt die Dekarbonisierung des Energieträgermixes zur Wärmeerzeugung als weitere Maßnahme hinzu. Im Rahmen der Substitutionsstrategie für fossile Energieträger sind zeitnah vorzugsweise Ölheizungen zu ersetzen, so dass der „Heizölausstieg“ im Gebäudesektor das korrespondierende Element zum Kohleausstieg im Stromsektor ist. Ist das Gebäude noch nicht ausreichend gedämmt, kommt Holz als CO₂-freier Energieträger zum Einsatz. Mit zunehmendem THG-Minderungsniveau muss dann zeitlich verzögert auch der Einsatz von Erdgas substituiert werden, wobei insbesondere elektrisch betriebene Wärmepumpen zur dominierenden Heizungstechnologie in energetisch sanierten Gebäuden werden. Verbesserte Wärmepumpen, die auch bei höheren Vorlauftemperaturen gute Arbeitszahlen erreichen, können diesen Substitutionsschritt auf der Zeitachse auch schon früher stattfinden lassen.

Schlussfolgerung 6: Der Stromsektor kompensiert die Restriktionen des Gebäudebestands und beteiligt sich überproportional an der gesamten sektorübergreifenden CO₂-Minderung.

Eine überproportionale Minderung der CO₂-Emissionen im Stromsektor ist insbesondere dann der Fall, wenn die Gebäude nur in geringerem Umfang gedämmt werden (wie im Referenzszenario) oder der CO₂-Minderungsdruck besonders hoch ist (wie im Naturschutzszenario).

Dabei ist zunächst festzustellen, dass sich der Stromsektor im Vergleich zum Gebäudesektor durch höhere verfügbare Flexibilitäten und Potenziale zur CO₂-Minderung auszeichnet, wie zum Beispiel die Möglichkeit zum Import und Export von Strom sowie ein breiteres Angebot an erneuerbaren Energieträgern.

Darüber hinaus sind Veränderungen im Gebäudebestand aufgrund zahlreicher Hemmnisse im Bereich der energetischen Gebäudesanierung, der Vielzahl an Eigentümern und deren heterogener Struktur zudem deutlich langsamer umsetzbar als im Stromsektor. Auch ist im Gebäudesektor bislang keine Erhöhung der energetischen Sanierungsrate erkennbar, wodurch sich über die letzten Jahrzehnte ein Sanierungstau aufgebaut hat. Im Vergleich zu den sektorspezifischen THG-Minderungszielen für das Jahr 2030 aus dem Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung zeigt sich aus den Modellergebnissen dieser Studie, dass sich eine Übererfüllung der Minderungsvorgabe für den Stromsektor einstellt (bei einer gleichzeitigen Verfehlung der Zielvorgabe für den Gebäudesektor).

Schlussfolgerung 7: Die Reduktion der Kohleverstromung und der Ausbau der Wind- und PV-Stromerzeugung stellen die beiden zentralen Komponenten für die CO₂-Minderung im Stromsektor dar.

Anders als im Wärmesektor sind im Stromsektor wenige große Punktquellen für den überwiegenden Teil der CO₂-Emissionen verantwortlich, so dass sich durch die Stilllegung von Kohlekraftwerken große CO₂-Emissionsmengen vermeiden lassen.

Der Kohlestromanteil geht in den Modellergebnissen je nach Szenario unterschiedlich schnell zurück. Im Naturschutzszenario kommt es bis zum Jahr 2030 zu einem Ausstieg aus der Braunkohleverstromung und bis zum Jahr 2050 auch zu einem Ausstieg aus der Steinkohleverstromung. Das Naturschutzszenario-Kohleausstieg weist mit jeweils rund 50 TWh Stromerzeugung aus Braunkohle und Steinkohle den geringsten Kohlestromanteil für das Jahr 2020 aus. Im Referenzszenario mit erhöhter Wärmeeffizienz im Gebäudesektor ist der Rückgang der Kohleverstromung am geringsten ausgeprägt, wobei auch hier der Kohlestromanteil von rund 30 % im Jahr 2020 auf unter 5 % im Jahr 2050 zurückgeht.

Neben dem Ausstieg aus der fossilen Stromerzeugung kommt dem Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung in Deutschland eine ebenfalls wichtige Rolle zu. Sie stellt die korrespondierende Maßnahme zum Ausstieg aus der fossilen Stromerzeugung und damit der Dekarbonisierung der Stromerzeugung dar. Ein möglichst CO₂-armer Strommix ist dabei die Voraussetzung für die Wirksamkeit von Klimaschutzmaßnahmen im Bereich der Kopplung des Strom- und Wärmesektors: Auch der durch Sektorenkopplung zusätzlich nachgefragte Strom muss mit einem entsprechenden Ausbau von Wind- und PV-Stromanlagen einhergehen.

4 Literatur

Koch M, Hennenberg K, Hünecke K, Haller M, Hesse T (2018): Rolle der Bioenergie im Strom- und Wärmemarkt bis 2050 unter Einbeziehung des zukünftigen Gebäudebestandes. Wissenschaftlicher Endbericht (FKZ 03KB114). Öko-Institut e.V., Freiburg. Online verfügbar unter https://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/Steckbriefe/dokumente/03KB114_Bericht_Bio-Strom-W%C3%A4rme.pdf, zuletzt geprüft am 12.02.2019.

Öko-Institut e.V.; Fraunhofer ISI (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Modellierungsrunde. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Öko-Institut e.V.; Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI). Berlin. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/2451/2015-608-de.pdf>, zuletzt geprüft am 12.02.2019.

Thrän D, Arendt O, Ponitka J, Braun J, Millinger M, Wolf V, et al. (2015): Meilensteine 2030. Elemente und Meilensteine für die Entwicklung einer tragfähigen und nachhaltigen Bioenergiestrategie. Endbericht zu FKZ 03KB065 und FKZ 03MAP230. Leipzig: FISCHER druck&medien (Schriftenreihe des Förderprogramms "Energetische Biomassenutzung", 18).