

Kurzfassung

- Biomasse kann in verschiedensten Anwendungen eingesetzt werden, ist allerdings nur begrenzt verfügbar. Unsere Optimierungsmodellierungen zeigen, dass unter der Voraussetzung, den Endenergieverbrauch langfristig zu reduzieren und Biomasse nachhaltig bereit zu stellen, Bioenergie ihren kostenoptimalen Nutzen in Bereichen hat, in denen eine direkte Elektrifizierung nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich ist.
- Bioenergie bleibt für das Gelingen der Energiewende unverzichtbar, wenn nicht erhebliche Mehrkosten über die Produktion und den Import von Ptx-Energieträgern in Kauf genommen werden sollen.
- Die nach unterschiedlichen Biomassekategorien differenzierten verfügbaren Biomassepotenziale¹ werden bis 2050 in z.T. wechselnden Anwendungen im Energiesystem zur Deckung der Bedarfe nahezu vollumfänglich ausgeschöpft und eingesetzt².
- Wärmesektor: Die größte Menge an Biomasse insgesamt wird im Modell in Form von Hackschnitzeln aus Holzreststoffen und Miscanthus für Hochtemperatur-Industrieanwendungen genutzt. Daneben wird weiterhin Scheitholz meist aus privaten Klein(-st-)wäldern in Scheitholzfeuerungen und Pellets vor allem in hybriden Systemen mit Wärmepumpen in Gebäuden eingesetzt.
- Stromsektor: Langfristig ist der Einsatz von Biogas aus heimischen vergärbaren Rest- und Abfallstoffen oder Mais sowie geringere Mengen Altholz in Altholzheizkraftwerken zur flexiblen Bedarfsdeckung der Residuallast die kosteneffizienteste Option. Wird mittelfristig bis 2030 der geforderte Erneuerbaren-Energien-Anteil von 80% berücksichtigt, kann dieser allein aus PV und Windenergie gedeckt werden. Die Biogasmengen gingen so mittelfristig in Verkehrs- und/oder Industrieanwendungen.
- Verkehrssektor: Die Elektrifizierung des Straßen- und Schienenverkehrs erweist sich unter den betrachteten Rahmenbedingungen als wettbewerbsfähigste Option, gefolgt von Biokraftstoffen und strombasierten Kraftstoffen. Mittelfristig spielen Biokraftstoffe zur Erfüllung der Treibhausgasminderungsquote eine entscheidende Rolle. Langfristig wird Biomasse kostenoptimal als Biokerosin im Flugverkehr und als verflüssigtes Biomethan im Schiffsverkehr eingesetzt.
- Biogas/Biomethan aus Rest- und Abfallstoffen und Mais (sofern Anbauflächen für Energiepflanzen zur Verfügung stehen) kommt eine Schlüsselrolle in der Energiewende zu, da es in schwer zu elektrifizierenden Bereichen flexibel und kosteneffizient zur Vermeidung der letzten im Energiesystem verbleibenden THG-Emissionen eingesetzt werden kann. Dazu zählt die Hochtemperaturindustrie, die noch verbleibenden Gasthermen in Gebäuden und der Schiffsverkehr. Der größte Anteil wird jedoch im Stromsektor eingesetzt um den flexiblen Bedarf der Residuallast zu decken, der nicht durch Kurzfristspeichertechnologien wie Pump- oder Batteriespeicher ausgeglichen werden kann.
- Die Verfügbarkeit von Biomasse ist für den Beitrag zur Energiewende entscheidend. Abhängig davon, ob eine alleinige Abfall- und Reststoffnutzung oder eine maximale Verfügbarkeit von Rest- und Abfallstoffen und Anbaubiomassen¹ unterstellt wird, umfasst die eingesetzte Bioenergie in Summe ca. 600 PJ bis ca. 1.900 PJ. Die politische Entscheidung über die Einbeziehung von Energiepflanzen beeinflusst u. a., ob Bioenergie als wettbewerbsfähigste Option den Prozesswärmebedarf über 200 °C vollumfänglich transformieren kann oder lediglich als Brückentechnologie mit langfristigem Wechsel auf Wasserstoff und dessen Folgeprodukte eingesetzt wird.
- Mittelfristig ist neben der verbindlichen Vorgabe von Mindestanteilen an erneuerbaren Energien vor allem ein hoher CO₂-Preis entscheidend für einen höheren Biomasseeinsatz im Verkehrs- und Strombereich. Im Wärmesektor führt erst das Zusammenwirken des Mindestanteils von 50 % in 2030 mit einem hohen CO₂-Preis und einem hohen Gaspreis zu einer Erhöhung des Biomasseanteils.

¹ National: biogene Rest- und Abfallstoffe, Energiepflanzen auf limitierter Anbaufläche und Scheitholz (aus Privatwäldern, für die nicht-kommerzielle Nutzung); Importe: limitierte Biokraftstoffe aus Basis von Rest- und Abfallstoffen sowie Energiepflanzen

² Nur einzelne Anbaukulturen wie Raps oder Getreide, die derzeitig im Ausland als Ausgangsstoffe für die Bioethanol- und FAME Produktion genutzt werden, bleiben langfristig ungenutzt, da die Anwendungsbereiche von Bioethanol und FAME elektrifiziert werden.

Ausführlichere Fassung

Sektorübergreifender Biomasseeinsatz

Modellergebnisse

- Bioenergieoptionen auf Basis der begrenzten heimischen Biomassepotentiale sowie importierter Rest- und Abfallstoffpotentiale sind wettbewerbsfähige Optionen zur Erfüllung der Klimaziele im Energiewirtschafts-, Verkehrs-, Industrie- und Gebäudesektor. Das verfügbare Biomassepotential³ wird bis 2050 in z.T. wechselnden Anwendungen im Energiesystem nahezu vollumfänglich ausgeschöpft und eingesetzt. Nur einzelne Anbaukulturen wie Raps oder Getreide, die derzeit im Ausland als Ausgangsstoffe für die Bioethanol- und FAME Produktion genutzt werden, bleiben langfristig ungenutzt, da Bioethanol und FAME potenziell in Verkehrssektoren Anwendung finden, die kostenoptimal elektrifiziert werden.
- Die größten Biomasse mengen sind mittel- und langfristig im Wärmesektor wettbewerbsfähig, gefolgt vom Strom- und Verkehrssektor. Im Vergleich der Mittelfristzenarien bis 2030 mit den Langfristzenarien bis 2050 sinkt langfristig die Bedeutung der Biomasse im Verkehrssektor und steigt in der flexiblen Stromerzeugung zur Deckung der Residuallast.
- Heimische, holzige Biomassereststoffe finden überwiegend den optimalen Einsatz im Wärmesektor, vor allem in Hochtemperatur- Industrieanwendungen.
- Heimische vergärbare Biomassen (Rest- und Abfallstoffe, Mais) finden den optimalen Einsatz im Stromsektor, um den flexiblen Bedarf der Residuallast zu decken. Geringere Mengen werden als verflüssigtes Biomethan im Schiffsverkehr eingesetzt. Vergärbare Rest- und Abfallstoffe werden Richtung 2050 auch in Form von Biomethan flexibel im Wärmesektor in der Hochtemperatur-Industrie und den restlichen Bestands-Gasthermen eingesetzt um kosteneffizient die letzten im Gebäude- und Industriesektor verbleibenden Emissionen zu vermeiden.
- Biokraftstoffe auf Basis von heimischen und importierten Rest- und Abfallstoffen (lignozellulosehaltiges, öliges oder vergärbare Material) wurden in den Langfristzenarien als wettbewerbsfähige Optionen im Flug- und Schiffsverkehr identifiziert. Unter Berücksichtigung der Treibhausgas minderungsquote sind diese Rohstoffe in den Mittelfristzenarien bis 2030 auch im Straßenverkehr wettbewerbsfähige Optionen.

Schlussfolgerungen

- Bioenergie gewinnt mittel- und langfristig vor allem in Hochtemperatur-Industrieanwendungen im Wärmesektor an Bedeutung. Im Verkehr werden bis 2030 mehr Biokraftstoffe in der Treibhausgas minderungsquote eingesetzt als heute. Langfristig verschiebt sich der Biomasseeinsatz in den Schiffs- und Flugverkehr. Unter den untersuchten Bedingungen (Mindest-EE-Ziel von 80%) und betrachteten Erfüllungsoptionen verliert die Bioenergie im Stromsektor in den Mittelfristzenarien bis 2030 an Bedeutung, in den Langfristzenarien nehmen die eingesetzten Energiemengen jedoch zu, da Bioenergie die kostenoptimalste Option ist um den Residuallastbedarf zu decken und zur Erfüllung der Klimaschutzziele beizutragen.
- Bioenergie ist in allen betrachteten Sektoren im Vergleich zu Ptx-Optionen die wettbewerbsfähigere Option um schwer zu elektrifizierende Bereiche auf erneuerbare Technologien umzustellen.
- Die Alternative zur Nutzung der limitierten heimischen und importierten Bioenergie in den schwer zu elektrifizierenden Bereichen ist die Produktion und der Import zusätzlicher Ptx-Energieträger, welche mit deutlichen Mehrkosten verbunden wäre.

³ Verweis auf Fußnote 1

Biomasse im Wärmesektor

Modellergebnisse

- In allen untersuchten Szenarien wird das verfügbare Scheitholzpotalential von 10 Mio. t in Gebäuden in hybriden gut integrierten Systemen, z. B. Scheitholzvergaserkessel 30 kW annähernd komplett ausgeschöpft.
- Zukünftige Pellet-Marktanteile in Gebäuden sind abhängig vom Biomassepotential und der Entwicklung bei den Wärmepumpen, bei welchen durch die aktuellen politischen Vorgaben ein Technologie-Push zu erwarten ist. Falls dieser nicht eintritt, werden langfristig moderat ansteigende Pellet-Marktanteile identifiziert. Als wettbewerbsfähige Optionen wurden Pellets in Hybrid-Systemen mit Wärmepumpen erkannt. Die kostenoptimalen Rohstoffe für Pellets unter Berücksichtigung der Bedarfe in den anderen Energiesektoren sind Miscanthus und Teile des Waldrestholzpotenzials.
- Hackschnitzel aus Holzreststoffen und Miscanthus werden als kostenoptimale Lösung in Mittel- und Hochtemperatur-Industrieanwendungen identifiziert. Die Menge hängt stark davon ab, ob weiterhin Energiepflanzen angebaut werden oder nicht.
- Vergärbare Rest- und Abfallstoffe als Rohstoff für Biomethan spielen ab den 2040er Jahren in Hochtemperatur-Industrieanwendungen und als Substitut in den verbleibenden Gasthermen eine wichtige Rolle um auch diese Sektoren klimaneutral zu gestalten
- Mittelfristig sorgt das angestrebte Mindestziel an erneuerbaren Energien von 50 % in 2030 zusammen mit einem gemäßigten CO₂-Preis⁴ in 2030 für einen deutlich höheren Einsatz von Biowärme (ca. 940 PJ) als zusammen mit einem hohen CO₂-Preis⁵ (ca. 760 PJ). Erst unter zusätzlicher Berücksichtigung eines hohen Gaspreises⁶ erfolgt ein geringfügig höherer Bioenergieeinsatz im Wärmesektor (ca. 1.000 PJ). Ein höherer CO₂-Preis im nationalen aber auch europäischen Emissionshandel sorgt dafür, dass die begrenzten Biomassen verstärkt im Verkehrs- und Stromsektor eingesetzt würden.

Schlussfolgerungen

- Scheitholz bleibt ein relevanter Brennstoff für Gebäudeheizungen, sofern es nicht für vorrangige stoffliche Nutzungen erschlossen werden kann. Im Energiesektor sollte es mit einem möglichst hohen systemischen Nutzen und möglichst geringem Impact auf die Umwelt genutzt werden. Zwingend notwendig sind Anreize und/oder gesetzliche Vorgaben für emissionsarme Feuerungstechnologien, sowie eine Steigerung der Effektivität des Biomasseeinsatzes durch hybride Gebäude- bzw. Wärmesystemintegration, so dass insbesondere Überheizungsverluste vermieden werden (20-30 % Einsparung möglich).
- Im Pellet-Bereich sollte eine Brennstoffentwicklung (z. B. technische Vorbehandlung von „schwierigen“ Rohstoffen um geforderte Brennstoffqualitäten zu erreichen) und eine Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen (um den Einsatz anderer biogener Rohstoffe als Holz zu erleichtern) forciert werden. Im Endkundenmarkt sollten nicht die Brennstoffeinsatzmenge, sondern die Emissionsminderung bei einer gleichzeitigen Hybridisierung bestehender Biomassefeuerungsanlagen gefördert werden.
- Ob Bioenergie als wettbewerbsfähigste Option auch vollumfänglich die Industrie (Prozesswärme >200 °C) transformieren kann oder als Brückentechnologie mit langfristigem Wechsel auf H₂/ Ptx eingesetzt wird, hängt zunächst von der politischen Entscheidung ab, ob Energiepflanzen zur Erzeugung von Wärme zukünftig akzeptabel sind. Förderanreize zur Transformation der industriellen Wärmenutzung sollten keine Nutzungskonkurrenzen v.a. zu langfristigen stofflichen Nutzungsoptionen verschärfen und gleiche Wettbewerbsbedingungen für Biomassenutzungen schaffen.

⁴ Basisszenario mit 125 €/t bis 2030

⁵ hier 300 €/ t unterstellt bis 2030

⁶ hier 6,8 ct/kWh unterstellt

Biomasse im Stromsektor

Modellergebnisse

- Langfristig und unter Berücksichtigung der Erreichung der Klimaneutralität ist der Einsatz von Biogas aus heimischen vergärbaren Rest- und Abfallstoffen oder Silomais in Biogasanlagen (v. a. 1 MW mit Rest- und Abfallstoffen/Silomais bis 2040; 2,5 MW mit Rest- und Abfallstoffen/Silomais ab 2040) zur flexiblen Bedarfsdeckung der Residuallast wettbewerbsfähig. Zusätzlich werden in geringeren Mengen Altholz in Altholzheizkraftwerken (20 MW) langfristig optimal zur Erfüllung der Residuallast eingesetzt.
- In den Mittelfristszszenarien sind unter Berücksichtigung des 80% Mindest-EE-Ziels Kohle und Erdgas die kostenoptimaleren Optionen die fluktuierenden Energien auszugleichen und den Strombedarf zu decken. Die geforderten 80% erneuerbare Anteile bis 2030 werden ausschließlich über Wind- und Solarenergie gedeckt. Die Biogasmengen werden in den Mittelfristszszenarien bis 2030 unter Berücksichtigung der Treibhausgasminderungsquote von 25% und dem angestrebten Mindestanteil an erneuerbaren Energien von 50% im Wärmesektor in Verkehrs- und/oder Industrieanwendungen eingesetzt.
- Ein stark steigender CO₂-Preis (auf ca. 300 €/t CO₂ in 2050 mit linearem Anstieg) führt zu einem schnelleren Verdrängen von Kohle (deutlich vor 2038) und teilweise Erdgas und frühzeitigem Markthochlauf von zusätzlichen Biogasproduktionskapazitäten
- Die verfügbare Fläche für Anbaubiomassen hat einen deutlichen Einfluss auf die Marktanteile. Werden zukünftig keine Flächen für Energiepflanzen wie Mais und/oder Miscanthus zur Biogaserzeugung zur Verfügung gestellt, wird der Bedarf an flexiblem Strom zur Deckung der Residuallast langfristig fast ausschließlich durch die deutlich kostenintensiveren H₂-Optionen erfüllt.

Schlussfolgerungen

- Biogas trägt langfristig erheblich zur Deckung der Residuallast bei. Bestehende Biogaskapazitäten werden erhalten und bis 2050 ausgebaut. Größeren Mengen Biogas werden mittelfristig unter Berücksichtigung der vorgegebenen Mindestmengen an erneuerbaren Energien im Verkehrssektor und/oder zur Bereitstellung von Prozesswärme >200 °C genutzt.
- Die Menge des genutzten Biogases hängt stark von der Entscheidung ab, ob weiterhin Anbauflächen für Energiepflanzen zur Verfügung stehen. Die kostenintensivere Alternative zur Deckung der Residuallast ist der Einsatz von Wasserstoff in „H₂-ready“- Anlagen.

Biomasse im Verkehrssektor

Modellergebnisse

- Mittel- und langfristig sind Biokraftstoffe aus heimischen und importierten biogenen Rest- und Abfallstoffen nach der Elektromobilität die kosteneffizienteste Minderungsoption, gefolgt von strombasierten Kraftstoffen (PtX).
- Der Straßen- und Schienenverkehr wird in den Langfristszenarien kostenoptimal vollständig elektrifiziert. In den Mittelfristszszenarien spielen Biokraftstoffe, sowohl auf Basis von Rest- und Abfallstoffen als auch potenziell von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen⁷ für die Erfüllung der Treibhausgasminderungsquote eine große Rolle. Hier sind vor allem Biomethan aus Vergärung und Vergasung, Bioethanol, FAME und HVO-Diesel wettbewerbsfähig.

⁷ Aber unter Berücksichtigung der rechtlich festgesetzten Obergrenze von 4,4%

- Bis Mitte und teilweise bis Ende der 2040er Jahre wird HVO-Diesel noch in den Dieselmärkten im Schiffs- und Schienenverkehr eingesetzt. Bis Mitte der 2030er Jahre erfolgt noch ein Deseleinsatz im Straßenverkehr.
- Verflüssigtes Biomethan (LNG) auf Basis vergärbare Reststoffe und lignozellulosehaltiger Biomasse befindet sich bis Mitte bzw. bis Ende der 2040er Jahre im Leichtlastverkehr als Plugin-Hybrid.
- Biomasse findet langfristig bis 2050 als verflüssigtes Biomethan aus Vergärung und Vergasung im Schiffsverkehr Anwendung. Nach unseren Modellierungen kann sich erneuerbares Methanol, FAME und FT-Btl in diesem Sektor nicht durchsetzen.
- Der Flugverkehr würde ohne die Verwendung von Quoten als letzter Sektor defossilisiert, da der Kostenunterschied von fossilem Kerosin zu den erneuerbaren Flugkraftstoffen im Vergleich zu anderen Verkehrsbereichen am größten ist. Ab 2040 wird lignozellulose-basiertes BtL und rest- und abfallstoffbasiertes HEFA zur Erfüllung der Klimaneutralität des Flugverkehrs eingesetzt. Aufgrund der Begrenztheit der Biomasse bedarf es deutlich größerer Mengen an PtL zur Deckung des gesamten Bedarfs.
- Die verbindliche Vorgabe der Treibhausgasminderungsquote bis 2030 führt zusammen mit einem fortgesetzten gemäßigten CO₂-Preis⁸ mittelfristig zum Einsatz von ca. 320 PJ an Biokraftstoffen. Das Zusammenwirken von Treibhausgasminderungsquote mit einem hohem CO₂-Preis⁹ führt zu einem deutlich stärkeren Hochlauf von Biokraftstoffen (ca. 550 PJ).

Schlussfolgerungen

- Um die Klimaschutzziele des Verkehrssektors mit derzeit konstant hohem THG-Niveau bis 2045 zu erreichen, bedarf es der Umsetzung sehr ambitionierter Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs (Vermeiden, Verlagern, Verbessern), zur Elektrifizierung des Straßenverkehrs, zum Ausbau von Biokraftstoffkapazitäten für den Flug- und Schiffsverkehr sowie zum zusätzlichen Ausbau an PtX-Kapazitäten für den Flugverkehr.
- Dazu sind weitere regulatorische Maßnahmen erforderlich: u.a. stabile Rahmenbedingungen in der Treibhausgasminderungsquote für Biokraftstoffe, und sektorübergreifende CO₂-Preise in Höhe von mind. 100 €/t CO₂ ab 2025, 110 €/t ab 2030 und 300 €/t CO₂ ab 2040, um auch den kostenintensiven Kraftstoffoptionen BtX und PtX den Marktzutritt zu ermöglichen.
- Biokraftstoffe auf Basis von heimischen und importierten Rest- und Abfallstoffen (lignozellulosehaltiges, öliges oder vergärbare Material) können einen effizienten Beitrag zur langfristigen Transformation im Flug- und Schiffsverkehr leisten.
- Die THG-Minderungsquote reizt den Einsatz von Biokraftstoffen in den Sektoren an, welche langfristig elektrifiziert werden müssen (Straßenverkehr). Die über die THG-Minderungsquote angereizten Kraftstoffe können jedoch problemlos im Schiffsverkehr eingesetzt werden oder über geeignete Produktweiterentwicklungen zu Flugkraftstoffen aufbereitet werden.

Exkurs Biogas/Biomethan

- Biogas/Biomethan auf Basis von vergärbaren Rohstoffen kommt eine Schlüsselrolle in der Energiewende zu, da es in schwer zu elektrifizierenden Bereichen flexibel und kosteneffizient zur Vermeidung der letzten im Energiesystem verbleibenden Emissionen eingesetzt werden kann.
- In den Langfristszenarien wird der größte Teil des Biogases/Biomethans im Stromsektor eingesetzt, um den flexiblen Bedarf der Residuallast zu decken. Geringere Mengen sind in der Hochtemperaturindustrie, in den verbleibenden Gasthermen in Gebäuden und verflüssigt im Schiffsverkehr zur Erreichung der Klimaneutralität in den Sektoren wettbewerbsfähig
- In den Mittelfristszenarien bis 2030 wird unter Berücksichtigung der Erfüllung der Mindest-EE-Ziele im Wärmesektor von 50% und im Verkehr von 25% Biogas/Biomethan im Wärmesektor in der Hochtemperaturindustrie und im Verkehrssektor als wettbewerbsfähigste Option in der Treibhausgasminderungsquote eingesetzt.

⁸ Nationaler Emissionshandelspreis von 125 €/t bis 2030 unterstellt

⁹ Nationaler Emissionshandelspreis von 300 €/t bis 2030 angenommen

Einfluss von Politikinstrumenten und Randbedingungen

Politikinstrumente: Mindestquoten bis 2030 und CO₂-Preis

Mittelfristperspektive

- Mittelfristig führt die Treibhausgasminderungsquote zusammen mit einem hohen CO₂-Preis¹⁰ im Verkehrssektor zu einem deutlich höheren Biokraftstoffeinsatz (ca. 550 PJ) im Vergleich zu einer Treibhausgasminderungsquote und einem gemäßigtem CO₂-Preis¹¹ (ca. 320 PJ).
- Im Stromsektor werden dagegen die Erneuerbaren-Ziele (80 % in 2030) zusammen mit einem gemäßigten CO₂-Preis¹² kostenoptimal allein über Photovoltaik und Windenergie gedeckt. Biomasse käme nicht zum Einsatz. Die Residuallast würde ausschließlich von fossilen Option gedeckt werden. Erst ein höherer CO₂-Preis führt zur Verdrängung von Kohle und zur Wettbewerbsfähigkeit von Biogas.
- Im Wärmesektor reicht das Zusammenwirken aus Erneuerbaren-Energien-Anteil von 50 % in 2030 und einem hohen CO₂-Preis¹³ nicht zu einem größeren Einsatz von Bioenergie im Wärmesektor (ca. 760 PJ) verglichen mit der Kombination aus 50 % EE-Anteilen in 2030 und einem gemäßigtem CO₂-Preis¹⁴ (ca. 940 PJ) aus. Erst die zusätzliche Wirkung eines hohen Gaspreises¹⁵ führt zu einem höheren Bioenergieeinsatz von ca. 1.000 PJ. Ein höherer CO₂-Preis im nationalen aber auch europäischen Emissionshandel sorgt dafür, dass die begrenzten Biomassen verstärkt im Verkehrs- und Stromsektor eingesetzt würden.

Langfristperspektive

- Ein hoher CO₂ Preis (ab ca. 300 €/t CO₂ in 2050 mit linearem Anstieg) sorgt verglichen mit einem niedrigeren CO₂-Preis¹⁶ für ein schnelleres Verdrängen der fossilen Optionen und damit für eine schnellere Defossilisierung als die Klimaschutzziele bis 2040 vorgeben.
- Dennoch sorgt ein hoher CO₂-Preis langfristig für nicht mehr Biomasse im Energiesystem. Zum einen erfolgt zunächst eine Elektrifizierung der relativ einfach zu elektrifizierenden Sektoren (Straßenverkehr, Wärmepumpen in Gebäuden), zum anderen ist für die schwerer zu defossilisierenden Bereiche die Limitierung des Bioenergieeinsatzes über die Biomasseverfügbarkeit gegeben.

Biomasseverfügbarkeit

- Die Verfügbarkeit von Biomasse ist für den Beitrag zur Energiewende entscheidend. In Szenarien mit alleiniger Rest- und Abfallstoffnutzung werden beispielsweise langfristig in Summe ca. 600 PJ Bioenergie eingesetzt während in Szenarien mit maximaler Biomasseverfügbarkeit ca. 1.900 PJ Bioenergie genutzt werden
- Verfügbare Rest- und Abfallstoffbiomassen (auch die importierten) werden in allen Szenarien ausgeschöpft und sind wettbewerbsfähig. Langfristig werden auch die heimischen Anbauflächen vor allem mit Miscanthus und Mais (2,34 Mio. ha) ausgeschöpft.
- Stehen beispielsweise zukünftig keine Anbauflächen für Energiepflanzen zur Verfügung werden zusätzliche Mengen an (importierten) Ptx-Energieträgern benötigt, welche kostenintensiver sind. Andere Effekte, die mit

¹⁰ Nationaler Emissionshandelspreis von 300 €/t bis 2030 unterstellt

¹¹ Nationaler Emissionshandelspreis von 125 €/t bis 2030 angenommen

¹² Europäischer Emissionshandelspreis von 90€/t bis 2030 unterstellt

¹³ Nationaler Emissionshandelspreis von 300 €/t bis 2030 unterstellt

¹⁴ Nationaler Emissionshandelspreis von 125 €/t bis 2030 unterstellt

¹⁵ Ein Gaspreis von 6,8 ct/kWh angenommen

¹⁶ Hier 150 €/t bis 2050 angenommen

dem Verzicht des Energiepflanzenanbaus verbunden wären wie die Minderung des Flächendrucks und alternative Flächenbelegungen wurden in der Modellierung nicht berücksichtigt.

Technologieentwicklung

- Ein Technologie-Push, der sich in technologiespezifischen minimalen Investitionskosten und maximal möglichen Wirkungsgrade ausdrückt, zeigt eine geringe Wirkung auf die Ergebnisse:
 - Im Wärmesektor werden in einzelnen Gebäudetypen die Pellets in hybriden Lösungen von der Wärmepumpe mit höherer Wirkungsgradentwicklung verdrängt.
 - Im Stromsektor wird geringfügig mehr Biogas und
 - im Schiffs- und Flugverkehr geringfügig größere Mengen an Biokraftstoffen eingesetzt
- Die geringfügigen Verschiebungen zwischen den Technologieoptionen in den Sektoren führt zu einer geringfügigen Veränderung des Biomasseeinsatzes. Insgesamt wird aber nicht mehr Biomasse eingesetzt. Hier kommt die Einschränkung über die verfügbaren Biomassepotenziale zum Tragen.