

Bioenergie – intelligenter Baustein für ein nachhaltiges Energiesystem



DBFZ

Dr. Nora Szarka
nora.szarka@dbfz.de



DBFZ

Martin Dotzauer
martin.dotzauer@dbfz.de

Dr. Jan Liebetrau
jan.liebetrau@dbfz.de

Alena Hahn
alena.hahn@dbfz.de

Eric Mauky
eric.mauky@dbfz.de

Christopher Schmid
christopher.schmid@dbfz.de

Fraunhofer IEE
 Dr. Bernd Krautkremer
bernd.krautkremer@iee.fraunhofer.de

ISFH
 Oliver Mercker
mercker@isfh.de

IZES
 Dr. Patrick Matschoss
matschoss@izes.de

KIT
 Prof. Dr. Nikolaus Dahmen
nikolaus.dahmen@kit.edu

UFZ
 Michael Steubing
michael.steubing@ufz.de

Prof. Dr. Daniela Thrän
daniela.thraen@ufz.de

Wuppertal Institut
 Dr. Karin Arnold
karin.arnold@wupperinst.org

1. Herausforderungen der Energiewende

Das Ziel der Energiewende – ein sicheres, umweltverträgliches und ökonomisch erfolgreiches Energiesystem (Deutsche Bundesregierung 2010) – birgt diverse Herausforderungen. Diese umfassen die Erreichung der Klimaneutralität, den Umstieg auf erneuerbare Energieträger in allen Sektoren (inkl. Schwerlast- und Flugverkehr sowie industrielle Prozesswärme) als auch deren gegenseitige Integration. Bioenergie kann hierzu einen multiplen Beitrag leisten, sowie negative Emissionen bereitstellen und darüber hinaus auch Beiträge jenseits des Energiesystems erbringen, wie Naturschutz, ländliche Entwicklung, oder die Bereitstellung von biogenem CO₂ als Rohstoff für die chemische Industrie. Somit ist Bioenergie ein unverzichtbarer Bestandteil für die Lösung der Herausforderungen in der Transformation zu einem nachhaltigen Energiesystem (Klepper und Thrän 2019; Szarka et al. 2013; Thrän 2015; Pfeiffer und Thrän 2018; Fishedick et al. 2015). Gegenwärtig stellt Bioenergie mit dem größten Anteil an erneuerbaren Energien im Primärenergieverbrauch (60%) als auch im Endenergieverbrauch (53%), mehr als alle anderen erneuerbaren Energieträger zusammen (AGEB 2019). Dabei bestehen Unterschiede zwischen den Endenergiesektoren: während Bioenergie in der Bruttostromerzeugung 24% des erneuerbaren Stroms deckt, dominiert sie die erneuerbare Bereitstellung von Wärme mit 86% als auch den erneuerbaren Endenergieverbrauch im Verkehrssektor mit 88% in 2018 (AGEE Stat 2019). Aufgrund der Bedeutung von Bioenergie heute werden folgende Beispiele vorgestellt, welche einen zukünftigen multiplernen Systembeitrag von Bioenergie fokussieren.

2. Methoden

Szenarien, Szenario Tool

Der künftige Einsatz von Bioenergie hängt vor allem von der zukünftigen Verfügbarkeit von nachwachsenden Rohstoffen sowie Rest- und Abfallstoffen für die energetische Nutzung ab. Weitere Faktoren sind die Verfügbarkeit alternativer Optionen zur Dekarbonisierung, Wirtschaftswachstum, Energieeffizienzsteigerungen, oder die Einbeziehung von negativen Emissionstechnologien (z.B. Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS).

Aufgrund dieser Bandbreite an möglichen Annahmen ergeben sich sehr unterschiedliche Anteile der Bioenergie in Szenarien in 2050. Auf Basis von 35 Studien aus einem Szenario Tool des DBFZ wurde der Bioenergieanteil an Primär- und Endenergieverbrauch des Strom-, Wärme- und Kraftstoffsektors ausgewertet. Nur neun Studien beinhalten Daten zum gesamten Primärenergieverbrauch über alle Sektoren hinweg, wobei der Anteil der Bioenergie bei bis zu 30% liegt (WWF 2009).

Allgemein ist eine Tendenz zu anteilig höherem Einsatz an Bioenergie in ambitionierteren Energie- und Klimaszenarien feststellbar.

Die 13 Studien, die Angaben zum Endenergieverbrauch machen, zeigen eine unterschiedliche Nutzungsverteilung von Biomasse auf die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr: die Klimapfade-Studie (BDI 2018) teilt 59% der energetisch genutzten Biomasse der Industrie zu, während etwa die Modell-Deutschland-Studie 59% der Bioenergie dem Verkehr widmet (WWF 2009). In keiner der Studien finden sich entsprechend hohe Anteile für den Stromsektor, diese erreichen maximal 10% (Greenpeace 2010). Damit sind vor allem schwer dekarbonisierbare Bereiche von Bedeutung, wie etwa Luftverkehr oder Hochtemperaturwärme in der Industrie.

Eine vorläufige qualitative Betrachtung der Studien zeigt, dass Biomasse als Flexibilitätsoption und das Zusammenspiel mit anderen erneuerbaren Energien eine herausgehobene Stellung hat, insbesondere auch im Hinblick auf die Sektorenkopplung.

Weitere gelegentlich genannte Motive sind Versorgungssicherheit, Bioenergie als nachhaltiger CO₂-Lieferant für die stoffliche Nutzung oder die energetische Nutzung (PtX-Prozesse) oder das BECCS-Konzept.

Projekt „BE20Plus“

Ziel des Projektes BE20Plus [1] ist es, auf Basis energiewirtschaftlicher Analysen verschiedene Geschäftsmodelle für Betriebsstrategien und Perspektiven der Bestandsbiogasanlagen zu entwickeln und zu evaluieren.

Ein Teilziel dabei ist zu prüfen, welches Potenzial die Wärmenutzung für bestehende Bioenergieanlagen bietet, auf Basis energiewirtschaftlicher und technisch-ökonomischer Analysen. Dabei wurden die Lage anderer Energieinfrastruktureinrichtungen, erneuerbarer Stromerzeuger und potenzieller Wärmesenken als Anhaltspunkt für eine räumlich differenzierte Bewertung genutzt. Es stellte sich heraus, dass nur zirka 50%

der bestehenden Bioenergieanlagen Wärmeabnehmer in einer akzeptablen Distanz für ein Nahwärmenetz haben. Zudem sind die Erlösoptionen für den Verkauf von Wärme sehr heterogen. Daher ist das tatsächlich erschließbare Potenzial deutlich geringer, als das theoretisch ermittelte Potenzial von ca. 150 TWh_{th}. Die Nutzung der Wärme an Bioenergieanlagen bietet insgesamt eine Möglichkeit für bestehende Anlagen für einen Weiterbetrieb, nach dem Auslaufen der EEG-Vergütungsperiode.

Projekte zur Prozessregelung zur Flexibilisierung

Biogasanlagen haben das Potenzial, bedarfsorientierten Strom bereitzustellen, um die Diskrepanz zwischen Energiebedarf und -angebot durch fluktuierende Quellen wie Wind- und Sonnenenergie auszugleichen. Modelprädiktive Regelungen (angewandt am DBFZ) sind zeitdiskrete dynamische Modelle, die das zukünftige Verhalten des Prozesses in Abhängigkeit von den Eingangssignalen berechnen. Diese ermöglichen eine bedarfsorientierte Regelung der Biogasproduktion, beispielsweise durch die Entwicklung von Fütterungsstrategien für die Erfüllung von bedarfsorientierten Gasverbrauchsplänen (Mauky et al. 2016). Damit wird das Flexibilitätsspektrum der Anlage erweitert, notwendiger Gasspeicherbedarf gesenkt und das Emissionsrisiko verringert. Zukünftige Anwendungen können witterungsbedingte Temperatureinflüsse auf den Gasspeicher, die Preisentwicklung bei Strommärkten oder Stromprodukten sowie den Bedarf von potenziellen Wärmekunden integrieren. Insbesondere die Bedarfsprofile von Wärmekunden und die Einbindung von entsprechenden Speichern erweitern das Modell erheblich.

Biogasanlagen sind damit in der Lage langfristige (saisonale), sowie kurzfristige (z.B. Wochenfahrpläne) Bedarfe abzubilden.

Projekte dazu sind die von der Sächsischen Aufbau-bank (SAB) geförderten Vorhaben RegEnFlx (abgeschlossen) und Gazelle (bis Januar 2020 laufend). Weitere Projekte wurden am IEE für die Erweiterung der Flexibilität von Biogasanlagen entwickelt: „UBEDB“ (Upgrading von Bestandsbiogasanlagen hin zu flexiblen Energieerzeugern durch eine bedarfsorientierte Dynamisierung der Biogasproduktion) und „ReBi“ (Regelung der Gasproduktion von Biogasanlagen).

Projekt „OptDienE“

Das Ziel des Forschungsvorhabens OptDienE [2] besteht darin, das theoretische Potenzial von Einzelraumfeuerungen (ERF) zur Vermeidung von Strombedarfsspitzen bei der Versorgung von Wohngebäuden mit zentraler Wärmepumpe (WP) sowie von Gasnachfragespitzen bei der Versorgung selbiger mit zentralen Gasfeuerungen zu ermitteln. Hierbei werden sowohl der Status Quo als auch die Verhältnisse in den Stützjahren 2030 und 2050 betrachtet, wofür die prognostizierten Veränderungen im Gebäude- und Anlagenbestand berücksichtigt werden. Die Modellierung und integrierte Simulation der ausgewählten Gebäude und Wärmeversorgungskonzepte erfolgt in der dynamischen Systemsimulationsumgebung TRNSYS 17. Da das Projekt noch am Anfang steht (Projektlaufzeit: bis 31.03.2021), liegen noch keine abschließenden Ergebnisse vor. Gleichwohl wurden bereits ausgewählte Ein- und Mehrfamilienhäuser in TRNSYS modelliert, wobei ein Schwerpunkt auf der Abbildung des Lüftungsverhaltens sowie des gebäudeinternen konvektiven Wärmetransports durch Türöffnungen lag.

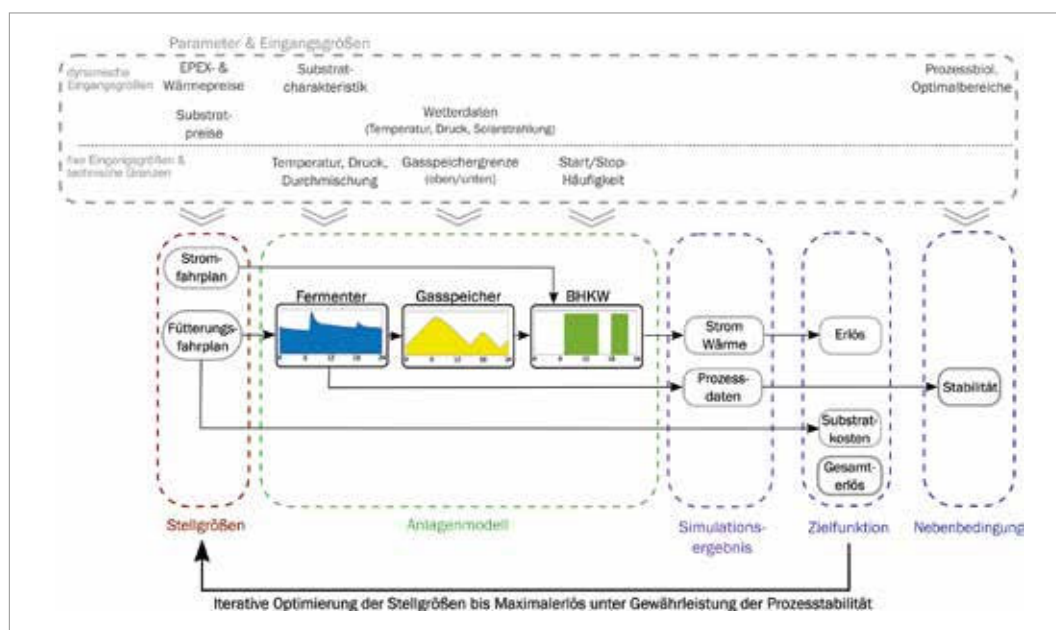


Abbildung 1
Bestandteile einer Prozessoptimierung zur ganzheitlichen Regelung von Biogasanlagen
 Quelle: DBFZ

Projekt „reFuels“

Um auch im Mobilitätssektor signifikant zu den Zielen der Energiewende beizutragen, müssen sowohl die Herstellungsverfahren für regenerative Energieträger wie auch die Antriebstechnik selbst deutlich weiterentwickelt werden.

Bioenergie kann hier durch die Produktion regenerativer Kraftstoffe beitragen. Im Projekt reFuels [3] wird dieser Beitrag durch die Betrachtung verschiedener Szenarien im Hinblick auf Mengen- und CO₂-Minderungspotenzial bis 2030 bewertet. Neben Power-to-Liquid (PtL) werden auch Biomass-to-Liquid (BtL)-Konzepte bewertet. Diese flüssigen Kraftstoffe haben hohe Energiedichten, zeigen einfache Speicher- und Transportierbarkeit und können die existierende Transportinfrastruktur und -logistik sowie die Anwendungstechnologien nutzen.

Weiterhin wird die gesellschaftliche Akzeptanz für diese Kraftstoffe im Projekt untersucht und gefördert.

Übersichtsstudie „MakroBiogas“

Um die gesamtheitliche Wirkung von Biogasanlagen einschätzen zu können, müssen Betrachtungen über den Rahmen der EEG-Regelungen, das heißt über den Stromsektor hinaus, getätigt werden.

Das Ziel der Übersichtsstudie „MakroBiogas“ [4] ist die Systematisierung und ggf. Quantifizierung von Biogas-Leistungen in anderen Sektoren als dem Strom- bzw. Wärmesystem. Hierbei handelt es sich insbesondere um die naturwissenschaftlich-agronomischen Bereiche Boden (Nährstoffmanagement, Erosionsschutz, Fruchtfolge), Landnutzung (Biodiversität und Grünlandschutz, Tourismus und Erholung), Verwertung und Entsorgung (Bioabfall, Grünschnitt, Wirtschaftsdünger), sowie die nicht-energetische Treibhausgas-Vermeidung über die Verwertung tierischer Exkremente.

Die Ergebnisse zeigen: wenn der Anlagenbestand zukünftig weitestgehend außer Betrieb gehen sollte, fallen im Energiesystem nicht nur 30 TWh Strom und 15 TWh Wärme aus Kraft-Wärmekoppelung bis 2035 weg, sondern es entsteht auch ein negativer Einfluss auf die oben genannten Leistungen. So können beispielsweise die Verwertungskapazitäten von Gülle und Festmist massiv absinken oder die nicht-energetische Treibhausgasreduktion könnte absinken, welche dann anschließend anderweitig erbracht werden müsste. Insgesamt zeigt die Studie, dass Biogas eine Reihe von Leistungen in unterschiedlichen Bereichen erbringt, für deren bessere Entfaltung ein ökonomisch-regulatorischer Rahmen notwendig ist, der ein faires Wettbewerbsfeld (level-playing field) generiert und die Kosten-Nutzen-Relation von Biogas im Vergleich zu anderen erneuerbaren Technologien angemessen widerspiegelt.

ESYS-Stellungnahme „Strategien für eine nachhaltige Bioenergienutzung“

Ziel der ESYS-Studie [5] ist die Entwicklung von politischen Optionen für langfristige und nachhaltige Bioenergie-Strategien. Über die Entwicklung eines umfassenden Bewertungsrahmens kann geprüft werden, welchen Beitrag zum Klimaschutz Energiekonzepte leisten und ob negative soziale oder ökologische Folgen vermieden werden können.

Dazu wurden folgende Schritte unternommen:

- 1) Definition von Kriterien
- 2) Erstellung einer Bewertungsskala mit fünf Stufen (Ampel) für jedes Kriterium
- 3) Definition von Bioenergietechnologien und Nutzungspfaden für 2018 und 2050
- 4) Definition von Referenzsystemen für die Bewertung
- 5) Anwendung der Bewertungsskala für die definierten Kriterien und Bioenergiekonzepte
- 6) Erstellung einer Ergebnistabelle mit den Bewertungen der ausgewählten Technologien auf Basis aller Kriterien

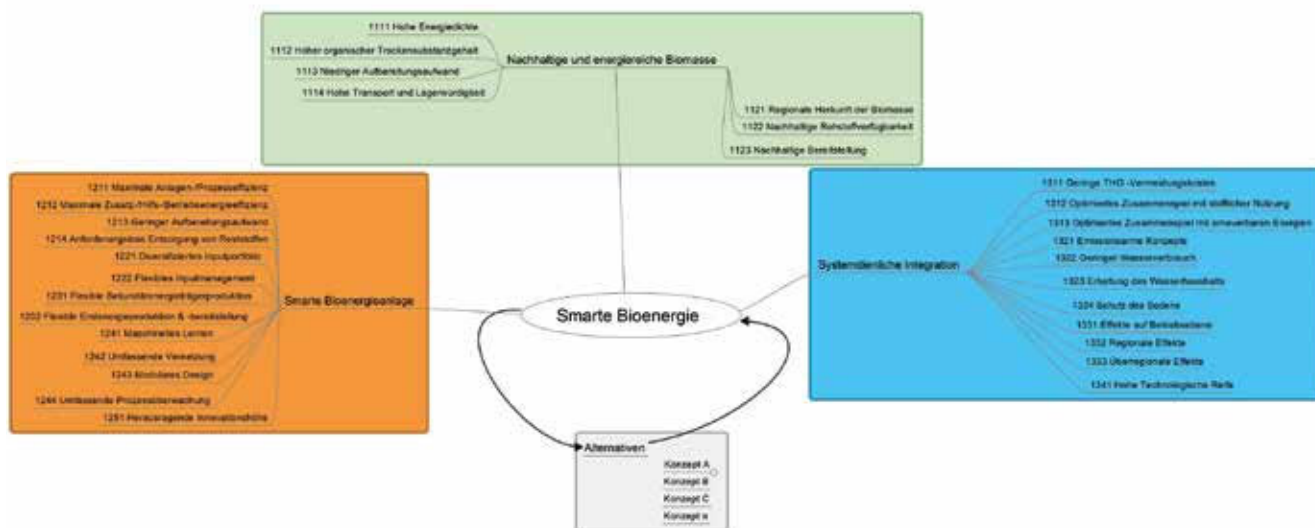
Folgende Vorschläge werden aus den Ergebnissen abgeleitet:

- Rest- und Abfallstoffe können risikoarm energetisch verwendet werden.
- Für einen nachhaltigen Einsatz muss Bioenergie systemdienlich genutzt werden: Sie kann diejenigen Funktionen im Energiesystem übernehmen, für die andere Erneuerbare ungeeignet sind. Bioenergie könnte beispielsweise Schiffe und Flugzeuge antreiben oder Wärme für Industrieprozesse liefern.
- Um „negative Emissionen“ zu erzeugen, sollte die Option BECCS bei künftigen Einsatzgebieten der Bioenergie mitbedacht werden.
- Ein ausreichend hoher CO₂-Preis und Zertifizierungssysteme können sicherstellen, dass Bioenergie dem Klima nützt. Diese sind am wirksamsten, wenn nicht nur Bioenergieträger, sondern alle landwirtschaftlichen Produkte darin einbezogen werden.

Projekt „SmarKt“

Ziel des Projektes SmarKt [6] ist eine Bewertung integrierter Bioenergiekonzepte hinsichtlich ihres Systembeitrags und Marktpotenzials, auf Basis von bestehenden Projektergebnissen im Rahmen des BMWi-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“.

Dafür wird ein umfassendes Ziel-Indikator-Set, basierend auf den Anforderungen des Smart Bioenergy Konzepts (Thrän 2015) entwickelt, erprobt und über Expert*innen validiert.



Im Detail werden die Anforderungen für smarte Bioenergiekonzepte an die Biomassebereitstellung, die Bioenergieanlage sowie deren Integration in das Gesamtsystem in ein hierarchisches Zielsystem transformiert. Anschließend werden Indikatoren auf der untersten Zielebene abgeleitet. Die Indikatoren dienen als Bewertungskriterien für die multikriterielle Bewertungen der Projektergebnisse nach dem Ansatz des Analytic Hierarchy and Network Processes (Saaty 2004). Innerhalb der Bewertung werden die Projektergebnisse in Nutzwerte überführt, welche zur einheitlichen Bewertung der Projekte hinsichtlich ihres Beitrags zu den einzelnen Anforderungen, genutzt werden. Dadurch wird der Systembeitrag der Bioenergiekonzepte als Ganzes und aufgeschlüsselt nach Anforderungsebene sowie Indikatoren veranschaulicht.

3. Zusammenfassung und Empfehlungen

Die erläuterten Beispiele befassen sich mit einer Vielzahl der multiplen Anforderungen an Bioenergie, wobei der Fokus verstärkt auf der Flexibilisierung, dem Zusammenspiel mit erneuerbaren Energien und dem Klimabeitrag liegt. Andere Aspekte, wie negative Emissionen, die Nutzung von biogenem CO₂ oder die Interaktion mit der stofflichen Nutzung werden kaum betrachtet. Dies spiegelt sich auch in ihrem heutigen Umfeld wider, wo technische, ökonomische und politisch-gesellschaftliche Barrieren der vollumfänglichen Entfaltung der Systembeiträge der Bioenergie entgegenstehen: Zukunftsträchtige Bioenergie-technologien wie beispielsweise Lignozellulose-Kraftstoffe befinden sich noch im Entwicklungsstadium.

Die gegenwärtigen ökonomischen Anreize für Bioenergie fokussieren nur begrenzt die Leistungen der Bioenergie und bieten keine langfristige Perspektive. Zudem ist die ökonomische Bewertung durch eine fehlende Internalisierung aller Systembeiträge verzerrt. Politisch-gesellschaftlich bestehen für BECCS oder die Nutzung von CO₂ Akzeptanzprobleme, verbunden mit einem Mangel an Information. Letztlich bedarf es einer gesellschaftlich vereinbarten Bioenergiestrategie, welche die zukünftigen Nutzungspfade in der Bioenergie festlegt (Witte 2019).

Somit werden folgende Empfehlungen abgeleitet:

- Entwicklung eines Vergütungssystems, welches alle Systembeiträge der Bioenergie berücksichtigt (auch Beiträge jenseits des Energiesektors)
- Auswahl oder Priorisierung von Bioenergie-Nutzungspfaden
- Weiterentwicklung von Szenarien hin zu Bioökonomie-Szenarien
- Einbindung von NETs (negative emission technologies) in bestehende Szenarien
- Entwicklung von Guidelines für die Erstellung und Interpretation von Szenarien
- Verstärkung der Preissignale am Markt für Flexibilitätssdienstleistungen auf Erzeugerseite sowie Anreize zum flexiblen Lastmanagement
- Entwicklung einer umfassenden KWK-Strategie
- Markteinführung von Lignozellulose-basierten Kraftstoffen
- Anstoß einer gesellschaftlichen Debatte über negative Emissionen
- Anspruchsvoller CO₂-Preis
- in den Vordergrund stellen der Kohlenstoff-Bindung für landwirtschaftliche Prozesse

Abbildung 2
Ganzheitliche Bewertung integrierter Bioenergiekonzepte

Literaturverzeichnis

- AGEB (Hg.) (2019): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland. Daten für die Jahre von 1990 bis 2018. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen.
- AGEE Stat (Hg.) (2019): Erneuerbare Energien in Deutschland. Daten zur Entwicklung im Jahr 2018. Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien Statistik.
- BDI (Hg.) (2018): Klimapfade für Deutschland. Im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI). Unter Mitarbeit von Philipp Gerbert, Patrick Herhold, Jens Burchardt, Stefan Schönberger, Florian Rechenmacher, Almut Kirchner et al. Boston Consulting Group BCG; Prognos. Berlin. Online verfügbar unter https://www.prognos.com/uploads/tx_atwpubdb/20180118_BDI_Studie_Klimapfade_fuer_Deutschland_01.pdf – zuletzt geprüft am 08.04.2019
- Deutsche Bundesregierung (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Online verfügbar unter <https://archiv.bundesregierung.de/resource/blob/656922/779770/794fd0c40425acd7f46afacbe62600f6/energiekonzept-final-data.pdf?download=1>
- Fishedick, Manfred; Görner, Klaus; Thomeczek, Margit (2015): CO₂. Abtrennung, Speicherung, Nutzung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Greenpeace (Hg.) (2010): Klimaschutz: Plan B 2050. Energiekonzept für Deutschland. Studie wurde im Auftrag von Greenpeace durchgeführt von EUtech Energie und Management. Unter Mitarbeit von Katja Barzantny, Sigrid Achner, Sebastian Vomberg, Helmuth M. Groscurth, Andree Böhling und Thomas Breuer. EUtech Energie und Management. Hamburg. Online verfügbar unter https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/plan_b_2050_lang_0.pdf – zuletzt geprüft am 02.04.2019
- Klepper, Gernot; Thrän, Daniela (2019): Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik. Potenziale – Technologien – Zielkonflikte. München (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft).
- Mauky, Eric; Weinrich, Sören; Nägele, Hans-Joachim; Jacobi, H. Fabian; Liebetau, Jan; Nelles, Michael (2016): Model predictive control for demand-driven biogas production in full scale, In: Chem. Eng. Technol. 39 S. 652–664, doi.org/10.1002/ceat. 201500412.
- Pfeiffer, Diana; Thrän, Daniela (2018): One Century of Bioenergy in Germany. Wildcard and Advanced Technology. In: Chemie Ingenieur Technik 90 (11), S. 1676–1698. DOI: 10.1002/cite. 201800 154.
- Saaty, Thomas L. (2004): Fundamentals of the analytic network process – Dependence and feedback in decision-making with a single network. In: J. Syst. Sci. Syst. Eng. 13 (2), S. 129–157. DOI: 10.1007/s11518-006-0158-y.
- Szarka, Nora; Scholwin, Frank; Trommler, Marcus; Jacobi, H.Fabian; Eichhorn, Marcus; Ortwein, Andreas; Thrän, Daniela (2013): A novel role for bioenergy: A flexible, demand-oriented power supply. In: Energy 61. DOI: 10.1016/j.energy. 2012.12.053.
- Thrän, Daniela (Hg.) (2015): Smart bioenergy. Technologies and concepts for a more flexible bioenergy provision in future energy systems. Cham, Heidelberg u.a.: Springer. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-16193-8>
- Witte, Julika (Hg.) (2019): Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik. Strategien für eine nachhaltige Bioenergienutzung. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina; Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften. München, Halle (Saale), Mainz: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. – Nationale Akademie der Wissenschaften; Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften e.V. (Stellungnahme). Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:3:2-105631>
- WWF (Hg.) (2009): Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken. Die Studie wurde erstellt von Öko-Institut und Prognos. Unter Mitarbeit von Almut Kirchner, Felix Christian Matthes, Michael Schlesinger, Bernd Weinmann, Peter Hofer, Vincent Rits et al. Öko-Institut; Prognos. Basel, Berlin. Online verfügbar unter https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Modell_Deutschland_Endbericht.pdf – zuletzt geprüft am 02.04.2019

Quellenangaben

- [1] <https://bioenergie.fnr.de/projekte-und-foerderung/ausgewaehlt-projekte/be20plus/>
- [2] <https://isfh.de/forschung/solare-systeme/projekte/optdiene/>
- [3] www.refuels.de
- [4] <http://www.izes.de/de/projekte/makrobiogas>
- [5] www.energiesysteme-zukunft.de/de/themen/bioenergie
- [6] www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/smarkt-541/