

Systemdienliche Wärmeversorgung aus Biomasse

Bioenergie spielt mit einem Anteil von 86 % an den erneuerbaren Energien im Wärmesektor aktuell eine tragende Rolle. Auch künftig bleibt sie, wenn auch mit geringerem Anteil, im System. Großteile der biogenen Energie im Wärmesektor stammen aus Festbrennstoffen, die bei der Wärmebereitstellung (u. a. Prozesswärmeerstellung, Beheizung von Gebäuden) jedoch oftmals als alleinige Energielieferanten verwendet werden, wobei sie dann an Effizienz für das gesamte Energiesystem verlieren.

Eine Wärmeversorgung der Zukunft benötigt eine smarte und systemdienliche Integration der wertvollen und begrenzten Bioenergie. Systemdienlich meint dabei den größtmöglichen Mehrwert für das gesamte Energiesystem. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit verschiedenen Lösungsansätzen zur Wärmebereitstellung aus Biomasse und wie diese effizienter und nachhaltiger im Energiesystem genutzt werden kann.

1. Stellenwert der Biomassenutzung im Wärmesektor

Für die Hälfte des Endenergieverbrauchs Deutschlands ist der Wärmesektor verantwortlich [1]. Der Anteil an erneuerbaren Energien im Wärmesektor beträgt insgesamt 16,5%, davon sind 86% Bioenergien.

Mit über 75% haben biogene Festbrennstoffe den relevantesten biogenen Anteil. Zum Sortiment gehören Scheitholz, Briketts, Pellets und Hackschnitzel. Diese Brennstoffe werden vor allem in Einzelraumfeuerstätten, Biomassekesseln und Heizkraftwerken eingesetzt.

Zur gasförmigen Biomasse zählen Biogas, Biomethan, Klärgas und Deponiegas, die für die Wärmeversorgung verwendet werden.

Eine kleinere Rolle bei der Wärmeerzeugung übernehmen biogene Anteile des Abfalls und Flüssigbrennstoffe.

Die Integration der Bioenergie in einen vollständig erneuerbaren Wärmesektor stellt die Biomassenutzung vor Herausforderungen, da diese häufig für die systemdienliche Versorgung noch nicht vollständig ausgerichtet ist.

2. Szenarien im Wärmesektor

Mithilfe von Energieszenarien lassen sich künftige Möglichkeiten der Biomasseinsatzbereiche veranschaulichen. Das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ) und das Umweltforschungszentrum (UFZ) haben Szenarien (im BenOpt-Modell) bis in das Jahr 2050 modelliert [2, 3].

Die Szenarien zeigen, dass die größten Anteile des limitierten heimischen Biomassepotenzials langfristig (2050) am kostenoptimalsten im Wärmesektor eingesetzt werden sollten. Besonders in Industrieanwendungen mit Hochtemperatur wurden holzige Reststoffe als kostenoptimal identifiziert, die unter Ergänzung von Anbaubiomasse als Brennstoffe genutzt werden können. Zukunftsfähig sind zum Beispiel der Anbau des Süßgrases *Miscanthus* oder Holz aus Kurzumtriebsplantagen (KUP). Anbaubiomasse ist auch im Gebäudesektor langfristig eine wettbewerbsfähige Option, vor allem bei hybriden Heizungssystemen mit einer Kombination aus Pelletkessel und Wärmepumpe oder auch kombiniert mit Solarthermie. Die Rolle der vergärbaren Reststoffe wird langfristig flexibel in Form von Biomethan in verschiedensten schwer zu dekarbonisierenden Wärmeanwendungen eingesetzt, wie z. B. in Hochtemperaturindustrien (► [Abbildung 1](#)).

Weitere Auswertungen von Szenarien zeigen die sehr vielfältigen Funktionen von Bioenergie in den Endnutzungssektoren [4]. Im Wärmesektor soll laut Szarka [5] Biomasse als Systemstabilisator Energie in KWK-Systemen bereitstellen. Die Rolle der Biomasse im Bereich der privaten Haushalte (PHH) bleibt laut ► [Abbildung 2](#) ungefähr konstant, während ihre Bedeutung in der Industrie zunimmt. Die Auswertung zeigt außerdem die Relevanz von Kurzumtriebsplantagen (KUP), um erhöhte Holzbedarfe zukünftig zu decken.



DBFZ

Dr. Nora Szarka
nora.szarka@dbfz.de

Dr. Volker Lenz
volker.lenz@dbfz.de

Prof. Dr. Ingo Hartmann
ingo.hartmann@dbfz.de

DLR

Dr. Peter Kutne
peter.kutne@dlr.de

ISFH

Oliver Mercker
mercker@isfh.de

IZES

Bernhard Wern
wern@izes.de

UFZ

Dr. Matthias Jordan
matthias.jordan@ufz.de

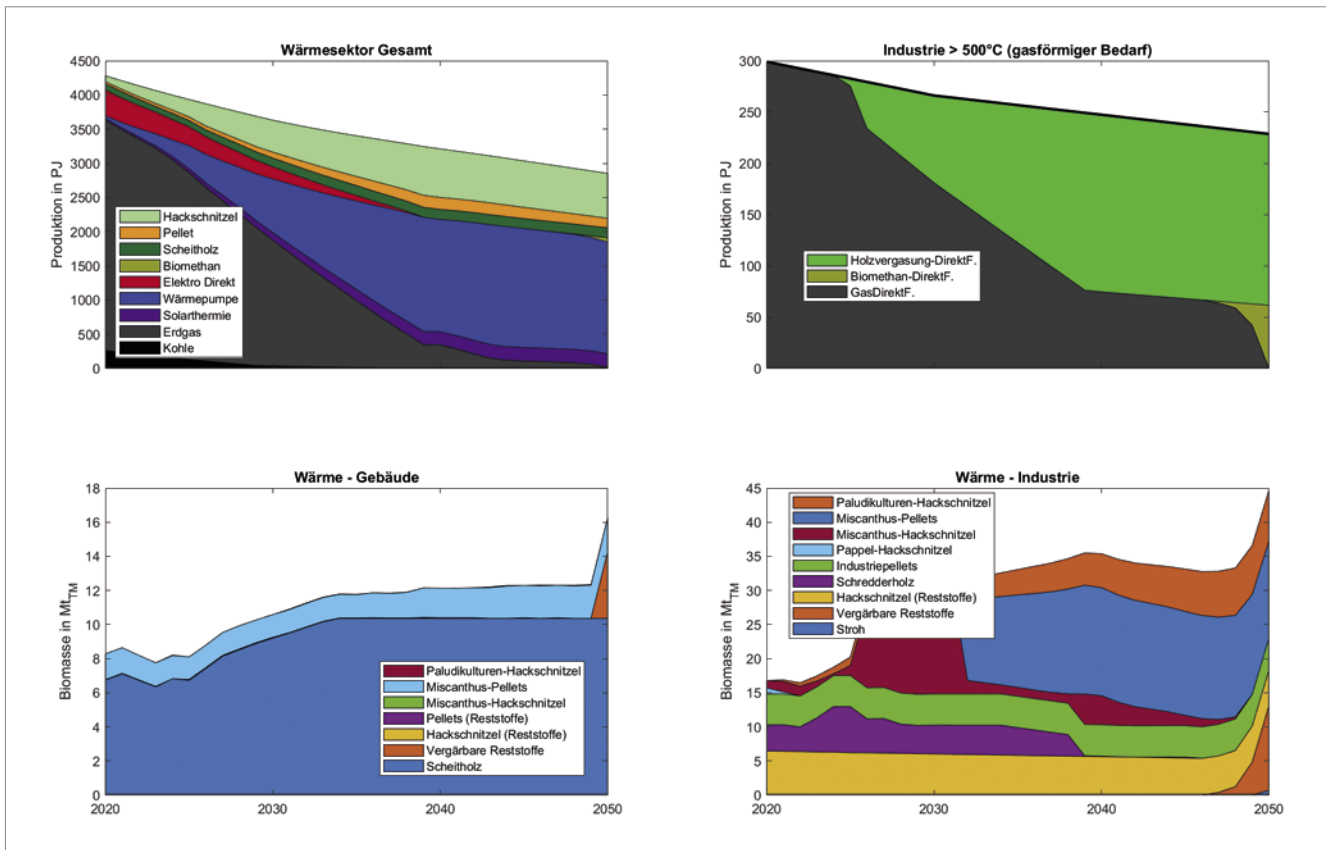


Abbildung 1

Energieszenarien zur Biomassenutzung:

Ausgewählte Ergebnisse der BenOpt-Modellierung zur Energieproduktion und Biomassenutzung im Ziel-Szenario „Starker CO₂-Preis“.

(Quelle: DBFZ und UFZ)

3. Konzepte der systemdienlichen Wärmeversorgung

Begrenzte Anbauflächen und erhöhte Bedarfe an Biomasse aus den Bereichen Energie, Ernährung und stofflicher Nutzung führen zu Nutzungskonkurrenzen. Biomasse wird nachweislich knapper und ist eine verhältnismäßig kostenintensive Ressource, weshalb sie systemdienlich eingesetzt werden muss.

Im Projekt SmarKt (FKZ BMWK 03KB1 30) wurden die Kriterien der Systemdienlichkeit definiert:

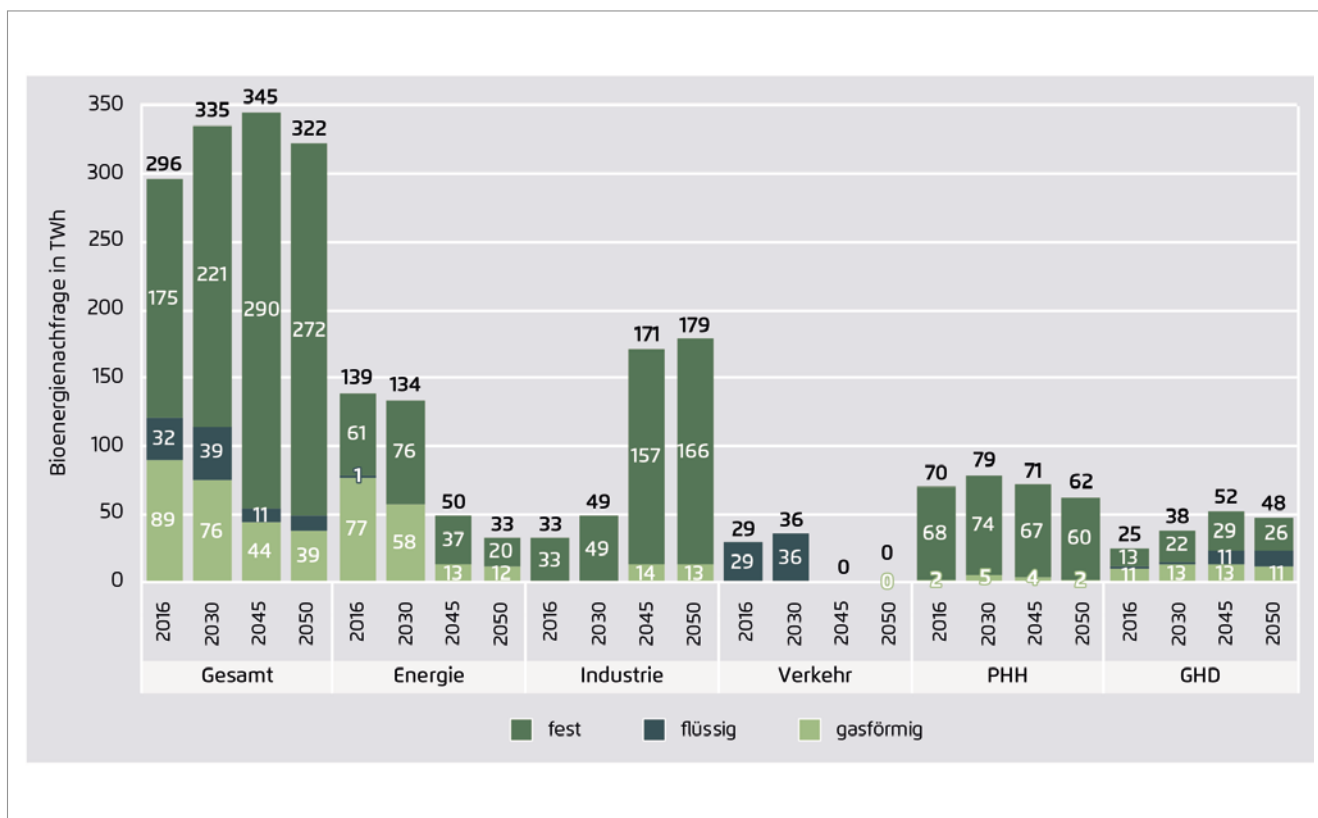
1. nachhaltige und energiereiche Biomasse bereitstellen
2. smarte Bioenergieanlagen einsetzen
3. systemdienliche Integration

Biomasse soll entsprechend aufbereitet werden und in flexiblen und emissionsarmen Konzepten, kombiniert mit anderen Erneuerbaren, zur stofflich-energetischen Bereitstellung beitragen. (► **Abbildung 3**) Folgend werden Beispiele für Lösungskonzepte im Wärmesektor beschrieben.

3.1. Brennstoffaufbereitung

Insbesondere die Eignung von Primärholz für die energetische Nutzung wird intensiv diskutiert. Das Erschließen von alternativen, möglichst schnell nachwachsenden Biomassen als Brennstoff, z.B. unter Verwendung von Reststoffen und Nebenprodukten einjähriger Pflanzen sowie langjährig genutzte biogene Abfälle, sind an dieser Stelle von wachsender Bedeutung. Hier können wenig verholzte Biomassen einen nennenswerten Beitrag leisten. Um ihre chemischen Verbrennungseigenschaften einzustellen, müssen sie aufgearbeitet und gewaschen werden [6]. So kann zum Beispiel Laub zu einem hochwertigen Brennstoff werden, für den derzeit ein Zulassungsverfahren nach Nr. 13 der 1. BImSchV läuft („MobiFuel“, BMWK 03KB136A).

Darüber hinaus ist für den Einsatz von Rest- und Abfallstoffen in hochwertigen Anwendungen zu klären, wie unabhängig vom inhaltsstofflichen Zustand der Biomasse die rechtliche Abfallklassifizierung aufgehoben werden kann. Hierzu wird aktuell die Erarbeitung einer Muster-Abfallverordnung vorangetrieben (Abfallende, BMWK 03KB160A).



3.2. Flexibilität durch Sektorenkopplung

Biomasse soll ein integrierter Teil des sich ändernden Energiesystems werden. Um dies zu realisieren, können Endenergie-Sektoren wie der Strom- und Verkehrssektor gekoppelt werden. Der Einsatz von Biomasse als Energieträger zur Kompensation von fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen (z. B. Wind oder Solar) kann einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten. Neue Technologien machen die Sektorenkopplung unterschiedlicher Energiesektoren möglich und das Produktspektrum herkömmlicher Anlagen wird erweitert.

Ein Beispiel für die Kopplung der Sektoren Energie und Verkehr stellt die Erweiterung eines Biogas-Blockheizkraftwerks (BHKW) durch eine Brennstoffaufbereitung dar. Dieses System wandelt Biogas in Wasserstoff um (Schema in ► *Abbildung 4*). Durch die lokale Produktion von Wasserstoff bietet ein solches Konzept einen schnellen und kostengünstigen Einstieg in die Wasserstoffmobilität und Wasserstoffwirtschaft. In Kombination mit städtischen Nutzungskonzepten im Nahverkehr, ist auch eine konstante Abnahme von Wasserstoff möglich.

Ein aktuelles Forschungsthema bezieht sich auf das brennstoffflexible Gasturbinen-BHKW. Dieses kann bei Bedarf an Wärme und Strom des lokalen Netzes oder zur Stabilisierung des Verteilnetzes sowohl mit Biogas als auch mit Wasserstoff betrieben werden.

Dadurch wird der Speicherbedarf für die einzelnen Gase reduziert und die Flexibilität der Anlage wird weiter erhöht.

3.3. Stofflich-energetische Nutzung

Bei der stofflich-energetischen Herstellung geht es darum, die energetische Nutzung so anzupassen, dass Elemente der Biomasse (z. B. Silizium) als Rohstoff für weitere Produktionsprozesse genutzt werden können.

Das Projekt „BioBeton“ beschäftigt sich mit dem Einsatz von Aschen aus der Biomasseverbrennung für die Klinker- und Betonherstellung mit dem Ziel, Aschen aus Kohlekraftwerken zu ersetzen („BioBeton“, BMWK - AiF KK5045102K10).

3.4. Hybrid-Konzepte

Es gibt zahlreiche hybride Versorgungsoptionen mit Biomasse, eine Übersicht zeigt ► *Abbildung 5*.

In der Vergangenheit wurde beim Austausch einer fossilen Heizung gegen eine erneuerbare Raumwärmeversorgung meistens zwischen einer Wärmepumpe (aufgrund der Eignung des Gebäudes) oder einer Biomasselösung (aufgrund vorhandener günstiger Holzbrennstoffen oder Holzpellets) gewählt.

Abbildung 2

Biomassenutzung:
 Entwicklung in den verschiedenen Sektoren
 (Szenarienauswertung, Quelle: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2021))

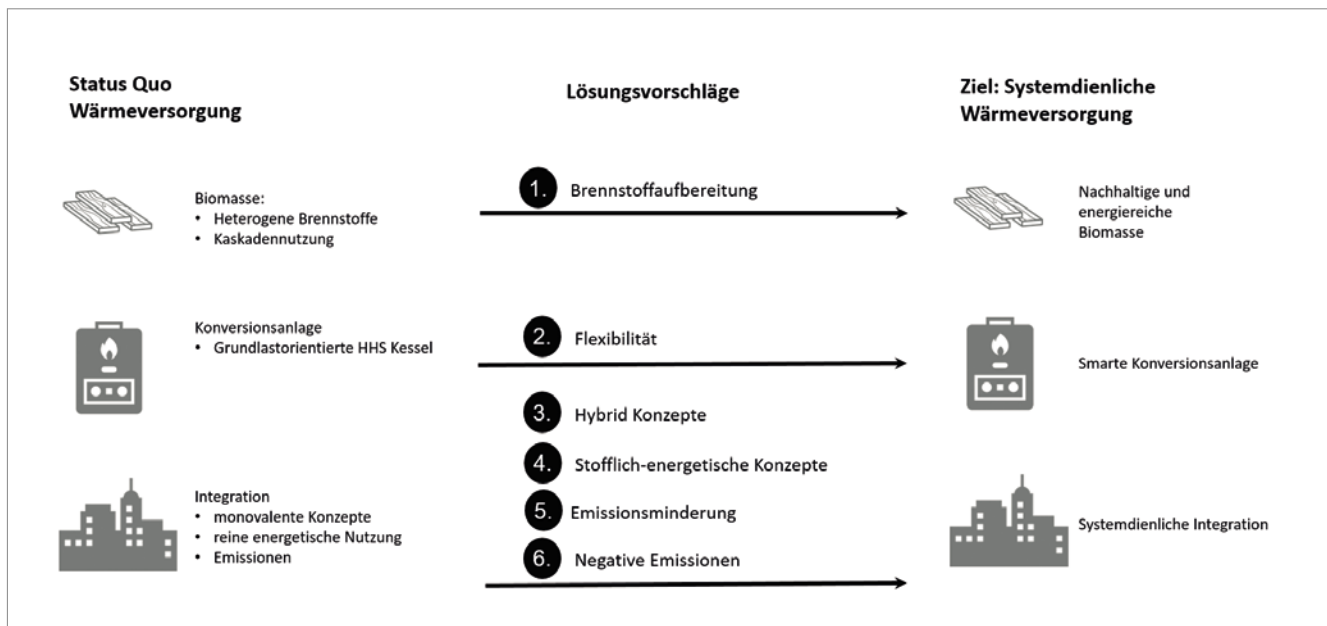


Abbildung 3

Lösungsvorschläge für systemdienliche Wärmeversorgung

(Quelle: Eigene Darstellung, Szarka, DBFZ)

Da Biomasse begrenzt ist, kann sie nicht die alleinige Lösung für Heizsysteme sein. Es müssen kombinierte Technologien (Biomassekessel oder Öfen mit Wassertasche) mit Wärmepumpen (meist Luft-Wasser-Wärmepumpe) eingesetzt werden. Die Wärmepumpe kann 8 bis 9 Monate im Jahr das Gebäude mit hohen Arbeitszahlen allein versorgen, im Winter wird sie durch Biomasse unterstützt und erzeugt ausreichend hohe Vorlauftemperaturen. Neben hoher Versorgungssicherheit bei minimiertem Biomasseeinsatz können diese Konzepte auf Preisschwankungen bei Strom- bzw. Biomassepreisen flexibler reagieren.

Biogas betriebene dezentrale KWK

Biogas betriebene dezentrale Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) können genutzt werden, um Netzinstabilitäten auszugleichen, die durch einen plötzlichen Wegfall fluktuierender erneuerbarer Quellen entstehen. Darüber hinaus liefern diese Anlagen neben elektrischem Strom auch Restwärme für nachgelagerte Prozesse oder für die Beheizung von Wohngebäuden.

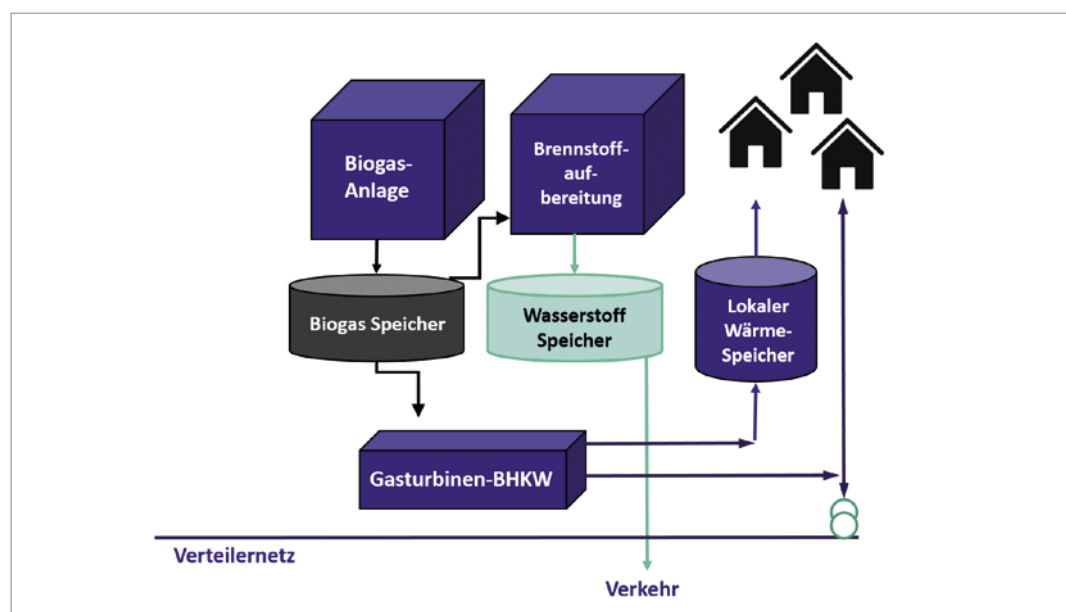
Um Netzinstabilitäten entgegenzuwirken, die durch Überproduktionen erneuerbaren Stroms entstehen, werden aktuell Konzepte untersucht, die Hochtemperatur-Wärmespeicher mit Mikrogasturbinen (MGT)-basierten KWK-Anlagen kombinieren [7]. In diesen Systemen wird der Wärmespeicher zwischen dem

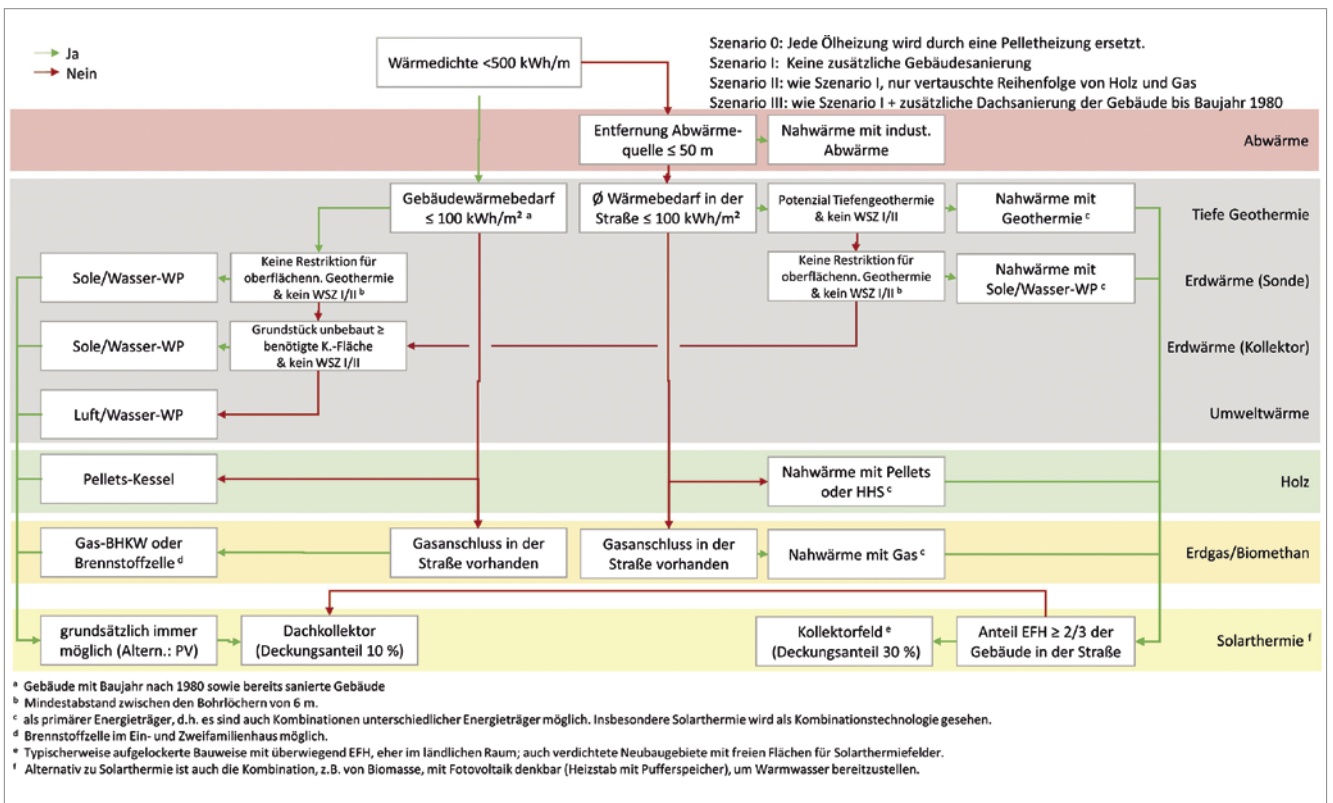
Abbildung 4

Sektorenkopplung:

Erweiterung eines Biogas BHKWs durch eine Brennstoffaufbereitung

(Quelle: DLR)





sogenannten Rekuperator und der Brennkammer der Gasturbine integriert (► *Abbildung 6*). Erneuerbarer Strom wird dann als Wärme gespeichert, wenn die Produktion die Nachfrage übersteigt und die Strompreise niedrig sind. Die Wärme wird wiederum bei entsprechendem Bedarf in Form von Strom- und Wärme bereitgestellt, was sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt. Im Vergleich zu herkömmlichen KWK-Technologien sind MGT-basierte KWK-Systeme für eine solche Kopplung geeignet. Dies liegt an ihrer Funktionsweise und hohen Brennstoffflexibilität bei gleichzeitig geringen Schadstoffemissionen, geringen Wartungskosten, niedrigen Geräuschemissionen und einer hohen Lastflexibilität.

Biomasse mit Wärmepumpe zur Raumheizwärme- und Trinkwarmwasserbereitung

Ein hybrides Konzept zur Raumheizwärme- und Trinkwarmwasserbereitung wurde im Projekt „OptDienE“ (FKZ: 3KB138 A/B) untersucht. Ausgehend von einem Referenzsystem mit einer Luftwärmepumpe wurde der Frage nachgegangen, in welchem Maße durch den geeigneten Einsatz einer Einzelraumfeuerstätte (Pelletkessel oder Scheitholzofen) der Stromverbrauch der Wärmepumpen (WP) zu Spitzenlastzeiten des Stromnetzes verringert werden kann. Hierfür wurde das in ► *Abbildung 7a* dargestellte Wärmeversorgungskonzept in einer Systemsimulationsumgebung umgesetzt und in ein Einfamilienhausmodell integriert.

Abbildung 5
**Hybride Versorgungs-
optionen mit Biomasse**
(Quelle: IZES (2020))

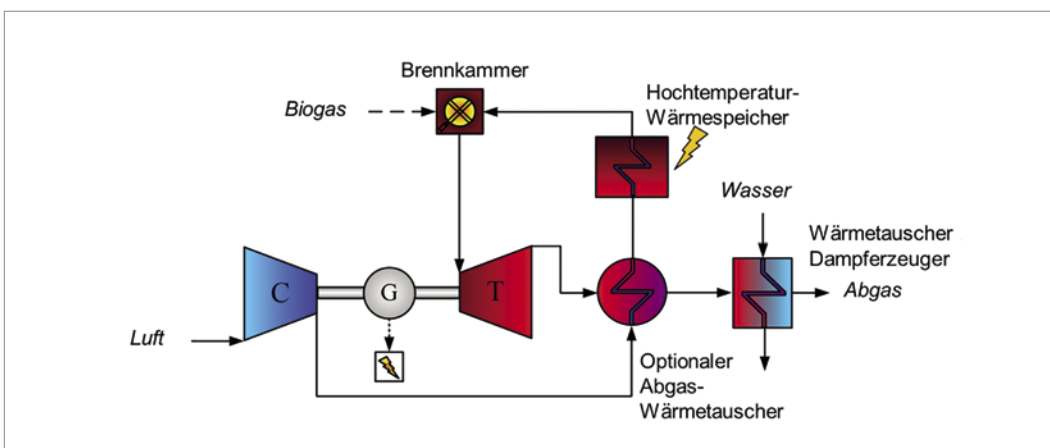
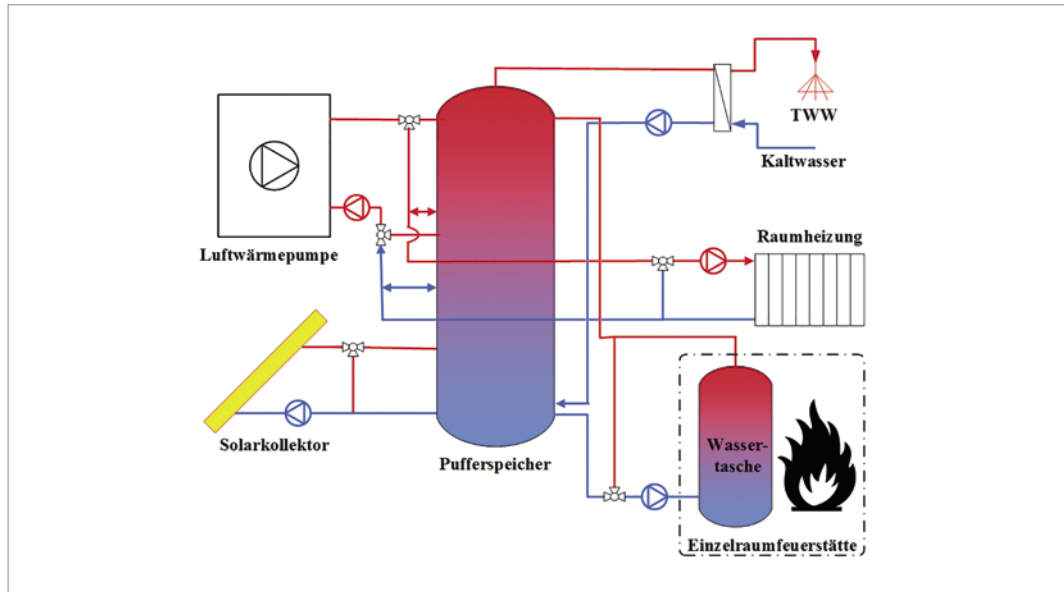


Abbildung 6
**Kombination von
Hochtemperatur-
Wärmespeicher mit
Mikrogasturbinen
(MGT)-basierten
KWK-Anlagen**
(Quelle: DLR)

Abbildung 7a
Wärmeversorgungskonzept Biomasse mit Wärmepumpe
 zur Raumheizwärme- und Trinkwarmwasserbereitung
 (Quelle: ISFH)



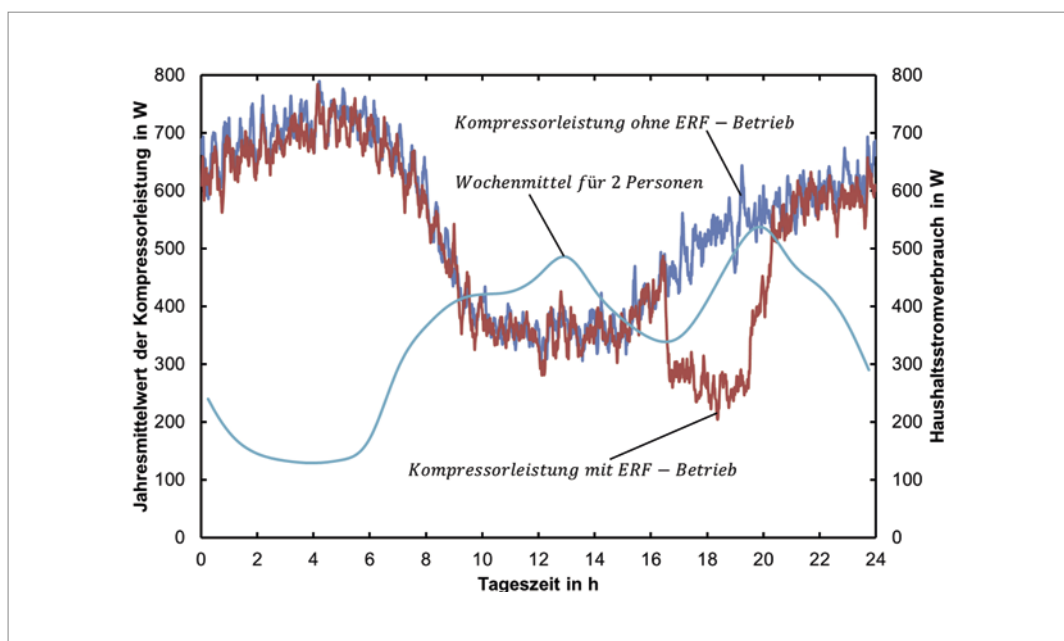
Die Einzelraumfeuerung (ERF) wurde zudem in einigen Simulationen mit einer Wassertasche ausgestattet, um die Auswirkungen einer unterschiedlich starken Wärmelieferung der ERF an den zentralen Pufferspeicher zu untersuchen. In ► **Abbildung 7b** ist der Einfluss des ERF-Betriebs anhand der Jahresmittelwerte der Kompressorleistung der WP dargestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigten, dass durch den ERF-Einsatz eine signifikante Reduktion des Jahresstromverbrauchs zur Abendspitze des Standardlastprofils für Haushaltsstrom um bis zu 70% erreicht werden kann. Die Nutzbarkeit der ERF-Wärme steigt durch den Einsatz einer Wassertasche. Auch die Thermosensibilität sinkt um bis zu 40%.

Für Hersteller und Anlagenplaner ergeben sich daraus folgende Anforderungen:

1. Für hochgedämmte Gebäude sind ERF mit kleineren Nennleistungen zu entwickeln und einzusetzen.
2. ERF sollten regulär mit einer Wassertasche ausgestattet sein, um die Netzdienlichkeit zu erhöhen.
3. Zur Steigerung der Systemeffizienz der Wärmeversorgung des Gebäudes sind angepasste ERF-Betriebskonzepte zu entwickeln.

Abbildung 7b
Einfluss des Einzelraumfeuerungsbetriebs
 anhand der Jahresmittelwerte der Kompressorleistung der Wärmepumpe
 (Quelle: ISFH)



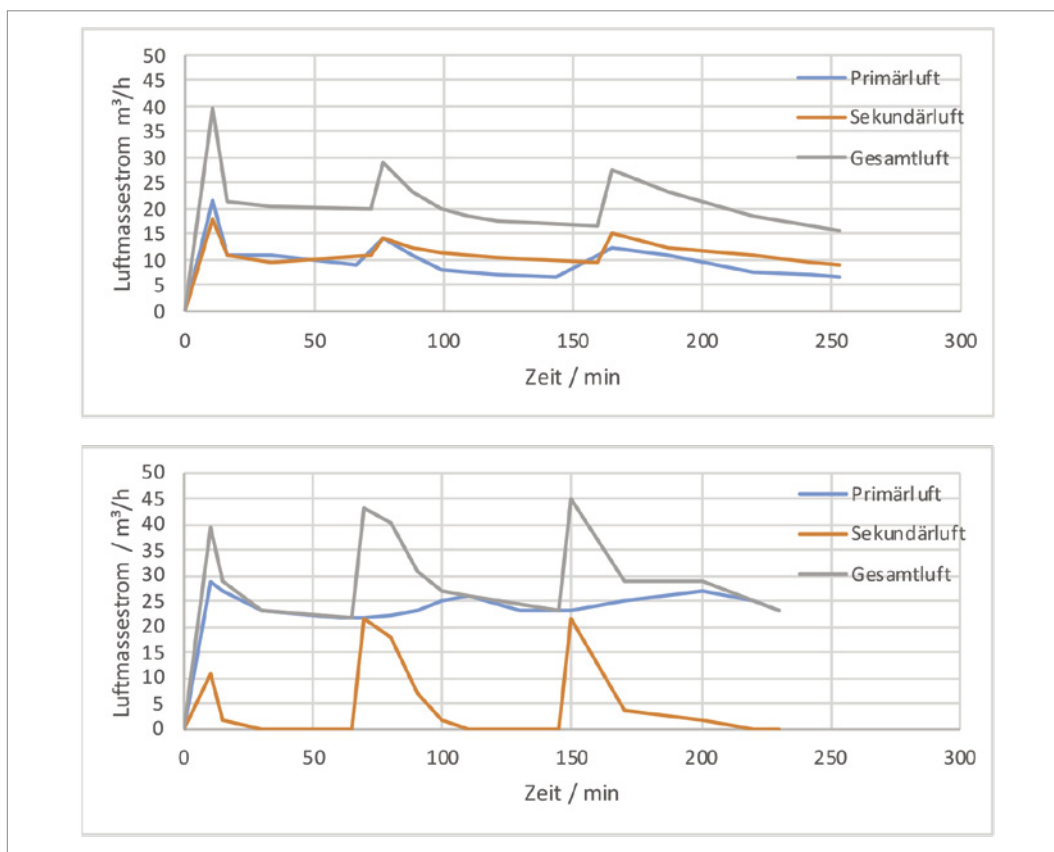


Abbildung 8

Emissionsminderungsmaßnahmen:

• oben: Effekt der vergleichmäßigten, sensorgestützten, automatischen Verbrennungsluftregelung an einem Scheitholzofen

• unten zum Vergleich: händische Luftsteuerung
Entwicklung der Regelung durch die Hochschule Karlsruhe im Forschungsprojekt UVV – Umweltverträgliche Verbrennung

(Quelle: BMEL/FNR, FKZ: 22038418, <https://www.dbfz.de/uvv>)

3.5. Emissionsminderung

Je nach Feuerungsart und Biomassebrennstoffe haben Wärmeerzeuger für feste Biomasse zum Teil erhebliche Emissionslasten an Feinstaub (PM 2,5) und anderen Luftschadstoffen (z.B. CO, NOx und PAK), selbst wenn Verbrennungsprozesse kontinuierlich verbessert und Brennstoffe normgerecht verwendet werden. Die Schadstoffe können zu Gesundheitsgefahren und zur Beeinträchtigung von Anwohner*innen, z. B. durch Gerüche, führen. Integrierte und nachgeschaltete sekundäre Emissionsminderungsanlagen können Abhilfe schaffen und das Emissionsniveau drastisch senken. Im Projekt „Umweltverträgliche Verbrennung“ (FKZ 22038418) wurde die anlagenintegrierte Emissionsminderung durch den Einsatz von sensorgestützten Verbrennungsluftregelungen, Katalysatorintegration und elektrostatischer Staubabscheidung an einem Holzhackschnitzelkessel (Leistungsbereich von 50 bis 1000 kW) untersucht. Außerdem wurde eine Scheitholzeinzelraumfeuerung im Leistungsbereich von 10 kW untersucht. Die Projektergebnisse zeigen, dass an beiden Anlagentypen eine Minderung der Staubemissionen von ca. 100 mg/m³ auf unter 10 mg/m³ unter praxisnahen Bedingungen möglich ist. Effektive sekundäre Emissionsminderungsmaßnahmen sind somit auch in Einzelraumfeuerstätten möglich (► *Abbildung 8*).

Im Diagramm unten sind die Spitzen in der Luftzufuhr sowie ein hoher Primärluftanteil gut erkennbar, es ergibt sich eine Gesamtluftzufuhr im Bereich von 22 bis 40 m³/h bei Nennlast, eine Staubemission von 55 bis 65 mg/m³ und eine CO-Emission von ca. 1 g/m³ (jeweils im Normzustand und 13 Vol.-% O₂). Im Diagramm oben ist durch die Luftregelung eine deutlich gleichmäßigere Luftzufuhr mit einem Primär- und Sekundärluftverhältnis von ca. 1:1 und ein Gesamtluftvolumenstrom von 16 bis 29 m³/h bei Nennlast ermöglicht worden, wobei die Emissionswerte bei 10 bis 25 mg/m³ für Staub und ca. 0,2 g/m³ bei CO (jeweils im Normzustand und 13 Vol.-% O₂) liegen, woraus eine Staubminderung von 60 bis 80 % und eine CO-Minderung von 80 % resultiert.

3.6. Negative Emissionen

Um Klimaneutralität zu erreichen, müssen weitgehend unvermeidbare THG-Emissionen (z. B. tierische Methanemissionen und Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft) kompensiert werden. Aus diesem Grund und wegen des vorangeschrittenen CO₂-Ausstoßes gehen viele Forschungsergebnisse (beispielsweise Szenarien des IPCC) davon aus, dass das 1,5°C-Ziel nur mit negativen Emissionen eingehalten werden kann.

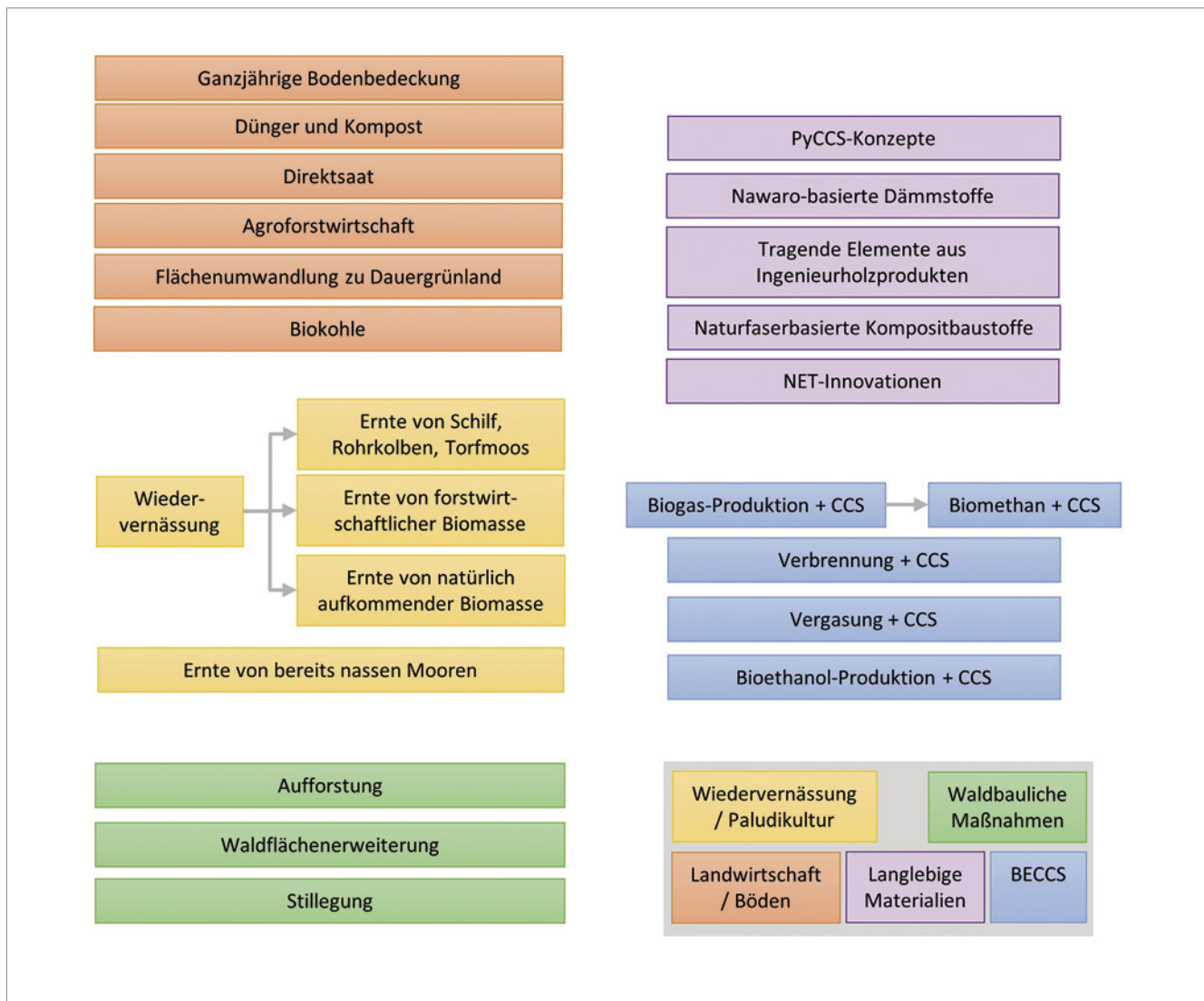


Abbildung 9 **Biobasierte Konzepte für negative Emissions-Technologien**
(Quelle: Projekt BioNET, UFZ)

► **Abbildung 9** zeigt zusammenfassend biobasierte negative Emissions-Technologien (NET)-Konzepte im Projekt BioNET (FKZ BMBF 01LS2107B). Einige dieser Konzepte können direkt mit der Wärmebereitstellung verbunden werden. Beispielsweise die Biomasse aus Paludikultur, Wald oder Landwirtschaft kann in Wärmetechnologien (z. B. durch Verbrennung) eingesetzt werden und mit CCS negative Emissionen erzeugen.

4. Zusammenfassung

Bioenergie hat einen hohen Anteil an der Wärmeversorgung, insbesondere bei Festbrennstoffen (Scheitholz und Pellets) im Gebäudesektor, vor allem als monovalente und grundlastorientierte Lösungen. Eine künftige Wärmeversorgung benötigt die smarte und systemdienliche Integration der Bioenergie. Die verschiedenen Szenarien zeigen, wie Biomasse mit weiteren Sektoren wie dem Strom- und Verkehrssektor zum Einsatz kommen. Durch neue Lösungsansätze kann Biomasse auch zukünftig ein intelligenter Baustein in der Wärmeversorgung sein. Vor allem bei der Biomasseaufbereitung von Rest- und Abfallstoffen, bei hybriden Wärmesystemen (z. B. als Spitzenbedarfsdeckung), als flexible Bioenergie zur Systemstabilisierung, zur stoffliche-energetischen Nutzung mit hoher stofflicher Wertschöpfung.

Referenzen

1. https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2020/10/ageb_20v_v1.pdf
2. Jordan, M., Millinger, M., Thrän, D., (2022): Benopt-Heat: An economic optimization model to identify robust bioenergy technologies for the German heat transition. *SoftwareX* 18, art. 101032
3. Millinger, M., Tafarte, P., Jordan, M., Hahn, A., Meisel, K., Thrän, D., (2021): Electrofuels from excess renewable electricity at high variable renewable shares: cost, greenhouse gas abatement, carbon use and competition. *Sustain. Energ. Fuels* 5 (3), 828–843
4. Interpreting long-term energy scenarios and the role of bioenergy in Germany – ScienceDirect
5. The crucial role of biomass-based heat in a climate-friendly Germany—A scenario analysis – ScienceDirect
6. Khalsa et al: Foliage and Grass as Fuel Pellets: Small Scale Combustion of Washed and Mechanically Leached Biomass *Energies* 2016, 9, 361. <https://doi.org/doi:10.3390/en9050361>
7. Agelidou, E.; Seliger-Ost, H.; Henke, M.; Dreißigacker, V.; Krummrein, T.; Kutne, P. The Heat-Storing Micro Gas Turbine—Process Analysis and Experimental Investigation of Effects on Combustion. *Energies* 2022, 15, 6289. <https://doi.org/10.3390/en15176289>
8. IZES (2020): Kurzuntersuchung zur Abschätzung der Dimension des Austauschs von Ölheizungen sowie der möglichen Auswirkungen alternativer Heizungssysteme im Besonderen auf die Luftqualität im städtischen und ländlichen Raum. Kurzstudie im Auftrag von My Energy G.I.E., Luxemburg und Saarbrücken