

IEA Bioenergy Task 44: Flexible Bioenergie und Systemintegration

Arbeitsperiode 2022 - 2024

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 52/2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leitung: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Kontakt zu „IEA Forschungsk Kooperation“: Mag.^a Sabine Mitter

Autorinnen und Autoren:

Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Gölls, Carina Deutsch, MA BA, Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas
Reiter-Nigitz (BEST - Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH)

Univ.Lektor Mag.rer.nat. Dr.techn. Fabian Schipfer (Institute of Chemical, Environmental &
Bioscience Engineering Thermal Process Engineering - Computational Fluid Dynamics)

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Wien, Graz, 2025, Stand April 2025

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an
iii3@bmimi.gv.at.

Disclaimer:

Dieser Ergebnisbericht wurde von der Fördernehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die Fördernehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die Fördernehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die Fördernehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts im Rahmen der IEA Forschungsk Kooperation. Es wurde vom Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) initiiert, um österreichische Forschungsbeiträge zu den Kooperationsprojekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu unterstützen.

Die IEA Forschungsk Kooperationen umfassen eine breite Palette an Energiethemen mit dem Ziel Energiesysteme, Städte, Mobilitäts- und Industriesysteme fit für eine nachhaltige Zukunft bis 2050 zu machen. Auch Themen wie Gendergerechtigkeit oder Ressourcen- und Kreislaufwirtschaftsaspekte werden berücksichtigt.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen und Unternehmen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch die vielen IEA-Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und neue internationale Standards. Auch in der Marktumsetzung konnten richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Daher werden alle Berichte nach dem Open Access Prinzip in der Schriftenreihe des BMIMI über die Plattform nachhaltigwirtschaften.at veröffentlicht.

Inhalt

1 Kurzfassung	9
2 Abstract	11
3 Ausgangslage	13
4 Projektinhalt	14
4.1 Der IEA Bioenergy Task 44	14
4.1.1 Zielsetzung	14
4.1.2 Arbeitsprogramm	14
4.2 Ziele der österreichischen Beteiligung	15
4.3 Methodik, durchgeführte Aktivitäten	16
5 Ergebnisse	17
5.1 Best Practice Beispiele	17
5.2 Flexible Bioenergie - Technische Optionen	19
5.3 TCP-übergreifende Vernetzung	22
5.3.1 IEA-Cross-TCP-Workshop: „Wege zu einer flexiblen, sektorübergreifenden Energieversorgung mit besonderem Fokus auf die Flexibilitätsbereitstellung über den Wärmesektor“	22
5.3.2 TCP Coordination Groups	26
5.4 Flexibilisierung in der Bioenergiepolitik	27
5.4.1 Weitere Berichte	30
5.5 Der Wert flexibler Bioenergie	31
5.5.1 Hintergrund	31
5.5.2 Status Quo der flexiblen Bioenergie	32
5.5.3 Methodik	32
5.5.4 Ergebnisse und Diskussion	32
5.5.5 Allgemeine Diskussion und Schlussfolgerungen	32
5.5.6 Zukünftige Forschung	32
5.5.7 Methodik im Detail	33
6 Vernetzung und Ergebnistransfer	34
6.1 Berichte	34
6.2 Best-Practice-Sammlung	35
6.3 Webinare und Veranstaltungen	35
6.4 Österreichischer Bioenergy Newsletter	36
6.4.1 Erschienene Newsletter der Arbeitsperiode 2022-2024:	36
6.5 Wissenschaftliche Publikationen	36
6.5.1 Bioenergy for Provision of Flexibility to Multi-energy Systems through Model-based Control	36
6.5.2 Defining bioenergy system services to accelerate the integration of bioenergy into a low-carbon economy	37
6.5.3 Defining the value of bioenergy system services for accelerating the integration of bioenergy into a low-carbon economy	37

6.5.4 Status of and expectations for flexible bioenergy to support resource efficiency and to accelerate the energy transition.	38
7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....	39
7.1 Schlussfolgerungen	39
7.2 Weiterführende Aktivitäten	42
7.3 Empfehlungen für die österreichische FTI-Politik	42
Tabellenverzeichnis	44
Abbildungsverzeichnis	45

1 Kurzfassung

Hintergrund

Flexible Bioenergie ist ein wichtiger Baustein für die Energiewende, um eine Balance und einen Ausgleich für fluktuierende erneuerbare Energiesysteme (VRE) zu liefern. Insbesondere Wind- und Solarenergie können witterungsbedingt zu schnellen Veränderungen des Energiemix führen, was wiederum eine große Herausforderung für die Widerstandsfähigkeit des Energiesystems darstellt. Aus diesem Grund besteht ein klarer Bedarf an neuen Technologien und Lösungen, die flexibel auf die Gegebenheiten reagieren können und damit die Widerstandsfähigkeit des Energiesystems unterstützen, ohne die Bestrebungen zur Emissionsreduktion zu gefährden. Bioenergie kann deshalb zur Energiewende und zu einer Flexibilisierung des Energiesystems beitragen.

Ziele des IEA Bioenergy Task 44

Ziel war es, das Verständnis für die Arten, die Qualität und den Status der Bioenergieflexibilität und ihre zukünftige Rolle zu verbessern sowie Barrieren und zukünftige Entwicklungsbedürfnisse im Kontext des gesamten Energiesystems (Strom, Wärme und Transport) zu identifizieren. Dazu wurden die folgenden drei übergeordneten Ziele verfolgt: i) Identifizierung und Bewertung zukunftsfähiger flexibler Bioenergiekonzepte zur Unterstützung kohlenstoffarmer Energiesysteme, ii) die Beschleunigung der Umsetzung dieser Konzepte und iii) die Identifizierung von Systemanforderungen für flexible Bioenergiekonzepte.

Wesentliche Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Zunehmende Komplexität und Volatilität des Energiesystems sowie auch geopolitische Veränderungen **erfordern flexible Technologien** zur Kompensation von Volatilitäten und Steigerung der Resilienz – **Biomassebasierte Technologien** haben dahingehend **ob ihrer Steuerbarkeit** eine Sonderstellung und das **Potential** einen essenziellen Beitrag zu leisten.

Flexibilitätsbereitstellung lag bisher nur in Ausnahmefällen (in moderatem Rahmen zur Wärmebereitstellung) im Fokus der Biomassenutzungsstrategien, weshalb noch **relevante Forschungs- und Entwicklungsarbeiten** im Bereich der (i) **Flexibilitätsbewertung**, (ii) deren Berücksichtigung in der **Energiesystemmodellierung** und (iii) der **technologischen Weiterentwicklung** insbesondere im Bereich deren **Regelung und Automatisierung** erforderlich sind.

Anreize und gesetzliche Rahmenbedingungen (von Forschungsförderung über Investitions- und Betriebsförderungen bis zu Normen) müssen so weiterentwickelt werden, dass sie einen Transfer der Biomassenutzung hin zur Flexibilitätsbereitstellung bewirken (neben anderen wichtigen Nutzungspfaden wie stoffliche Nutzung oder Bereitstellung von Hochtemperaturwärme).

Ausblick

In der nächsten Arbeitsperiode 2025-2027 wird die Forschung auf die Erweiterung systemischer Ansätze über den Energiesektor hinaus ausgerichtet. Aus technologischer Sicht wird der Fokus einerseits auf dem Wärme- und Stromsektor und andererseits auf nachhaltigen chemischen Energieträgern liegen. Weiterhin werden in verschiedenen Arbeitspaketen Konzepte zur Flexibilität von Bioenergieversorgungsketten entwickelt, Integrationsansätze erarbeitet und politische sowie marktbezogene Empfehlungen formuliert.

2 Abstract

Background

Flexible bioenergy is an important building block for the energy transition to provide a balance and compensation for fluctuating renewable energy systems (VRE). Wind and solar energy can lead to rapid changes in the energy mix due to weather conditions, which in turn represents a major challenge for the resilience of the energy system. For this reason, there is a clear need for new technologies and solutions that can react flexibly to the circumstances and thus support the resilience of the energy system without compromising the ambitions for emission reduction. Bioenergy can therefore contribute to the energy transition and to making the energy system more flexible.

Objectives of IEA Bioenergy Task 44

The aim was to improve the understanding of the types, quality and status of flexible bioenergy and its future role, and to identify barriers and future development needs in the context of the overall energy system (electricity, heat and transportation). To this end, the following three overarching objectives were pursued: i) the identification and evaluation of sustainable flexible bioenergy concepts to support low-carbon energy systems, ii) the acceleration of the implementation of these concepts and iii) the identification of system requirements for flexible bioenergy concepts.

Key results and conclusions

Increasing complexity and volatility of the energy system as well as geopolitical changes **require flexible technologies** to compensate for volatilities and increase resilience - **biomass-based technologies** have a special position and the **potential** to make an essential contribution in this respect **due to their controllability**.

Flexibility provision has so far only been the focus of biomass utilization strategies in exceptional cases (to a moderate extent for heat provision), which is why **relevant research and development** work is still required in the area of (i) **flexibility assessment**, (ii) their consideration in **energy system modelling** and (iii) **technological development**, especially in the area of **automation and control**.

Incentives and legal framework conditions (from research funding to investment and operating subsidies to standards) must be further developed in such a way that they bring about a shift from biomass use to the provision of flexibility (in addition to other important utilization paths such as material use or the provision of high-temperature heat).

Outlook

In the next working period 2025-2027, research will focus on expanding systemic approaches beyond the energy sector. From a technological perspective, the focus will be on the heat and electricity sector on the one hand and on sustainable chemical energy sources on the other. Furthermore, concepts for the flexibility of bioenergy supply chains will be developed in various work packages, integration approaches will be developed, and political and market-related recommendations will be formulated.

3 Ausgangslage

Die laufende Energiewende führt zu einem zunehmenden Anteil erneuerbarer Stromquellen (PV, Wind, Wasserkraft), bei denen die Stromerzeugung von den Wetterbedingungen bzw. der Jahreszeit abhängt. Dies stellt unser Stromnetz vor deutliche Herausforderungen bzgl. Stabilität und Zuverlässigkeit. Diese Herausforderung wird verstärkt durch den zunehmenden Anteil erneuerbarer, strom-basierter Wärmeversorgung in der kalten Jahreszeit. Zugleich steigt der Anteil an erneuerbarem Wasserstoff in unserem Energiesystem, welcher in Reinform nur bedingt wirtschaftlich gespeichert werden kann. Ein weiterer Aspekt der Energiewende, welcher in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen hat, ist die Abscheidung, Nutzung und Speicherung von CO₂ (CCUS).

Die Forschungsfrage dieses IEA Bioenergy Task 44 bestand darin, wie flexible Bioenergie unser Energiesystem stabilisieren und den erhöhten Energiebedarf in der kalten Jahreszeit unterstützen kann. Zusätzlich soll erforscht werden, wie die Umwandlung von Biomasse in Energieträger mittels flexibel erzeugten erneuerbaren Wasserstoffs und biomasse-basierten CCUS (BECCUS) ergänzt werden kann.

Die Zielsetzung des IEA Bioenergy Task 44 wurde so gewählt, dass sie die Forschungsfrage aus unterschiedlichen Blickwinkeln beleuchtet und diese Blickwinkel miteinander vernetzt. So wurden folgende Ziele definiert:

- Analyse der rechtlichen Rahmenbedingung, welche in Bezug auf Flexibilitätsbereitstellung durch Bioenergie zu berücksichtigen sind
- Quantitative Bewertung der Flexibilitätsbereitstellung, welche Bioenergie in repräsentativen Energiesystemen leisten kann
- Analyse technologischer Optionen inkl. Reifegrade unter Hervorhebung der Flexibilitätspotentiale
- Vernetzung mit anderen Arbeitsgruppen und Tasks innerhalb des Technology Collaboration Programme (TCP)
- Sammlung von Best-Practice Beispielen, welche die bereits vorhandene Flexibilitätsbereitstellung durch Bioenergie zeigt.

4 Projekinhalt

4.1 Der IEA Bioenergy Task 44

4.1.1 Zielsetzung

Übergeordnetes Ziel des TASKs ist es zur Entwicklung und Analyse von Bioenergielösungen beizutragen, die flexible Ressourcen für ein kohlenstoffarmes Energiesystem liefern können. Besonderer Fokus liegt darauf das Verständnis für die Arten, die Qualität und den Status flexibler Bioenergie und ihre künftige Rolle zu verbessern, sowie der Identifikation von Hindernissen und künftigem Entwicklungsbedarf im Zusammenhang mit dem gesamten Energiesystem (Strom, Wärme und Verkehr).

4.1.2 Arbeitsprogramm

Der Fokus liegt auf der Verbesserung der Umsetzung von flexiblen Bioenergiekonzepten, um den laufenden Übergang zu einem kohlenstoffarmen Energiesystem zu unterstützen. Bioenergie hat einige einzigartige Eigenschaften, die viele der Probleme im Zusammenhang mit der Energiewende lösen und auch langfristig dazu beitragen können. Bei nachhaltiger Beschaffung und Nutzung kann Bioenergie Wind- und Solarenergie ergänzen und eine Sektorkopplung ermöglichen, Hochtemperaturwärme für die Industrie und nachhaltige Brennstoffe für Sektoren bereitstellen, in denen andere Dekarbonisierungsoptionen nur schwer umsetzbar sind, und in einer einzigen hocheffizienten Verarbeitungsanlage Wärme, Strom, Brennstoffe und andere Produkte erzeugen, die für CCS/U verwendet werden können. Um diese Ziele zu erreichen, ist ein grundlegender Wandel in der Art und Weise der Nutzung von Bioenergie erforderlich, doch gibt es derzeit nur ein begrenztes Verständnis für die Einzelheiten eines solchen Wandels.

Der Zweck des Task 44 besteht darin, flexible Konzepte zu identifizieren und zu analysieren, um ihr Potenzial zu realisieren. Task 44 baut auf dem breiten Verständnis von flexibler Bioenergie auf, das im ersten Triennium (2019-2021) aufgebaut wurde. Der Schwerpunkt in diesem Triennium (2022-2024) lag auf der Generierung von Informationen durch konkrete Best-Practice-Beispiele, der Untersuchung der Konzepte als Teil des umfassenderen Energiesystems und der Erweiterung des Wissens über flexible Bioenergie in der Gemeinschaft der Energiesystemmodellierer und der Erfassung ihrer Datenanforderungen. Task 44 überwacht die Entwicklung flexibler Bioenergiekonzepte und vertieft das Wissen über erfolgreiche finanzielle Maßnahmen durch Best Practice Beispiele, die unter Anderem in Zusammenarbeit mit den technologischen Tasks von IEA Bioenergy und auch anderen TCPs identifiziert wurden. Synergien mit grünen Wasserstoffstrategien und BECCS/U-Ansätzen waren von besonderem Interesse. Die Arbeit zur Überbrückung der Kluft zwischen der

Energieproduktion und den Systemanforderungen wurde im Rahmen der inter-TCP-Zusammenarbeit fortgesetzt.

Das Arbeitsprogramm war vier Arbeitspakete unterteilt:

WP1: Flexible Bioenergiekonzepte - Best Practice Beispiele

WP2: Flexible Bioenergie-Integration in Energiesysteme

WP3: Beschleunigung der Umsetzung flexibler Bioenergie-Konzepte

WP4: Task-übergreifende Projekte und Kooperationsprojekte

Dazu wurde die Erarbeitung der folgenden wesentlichen Ergebnisse geplant:

D1.1 Workshop zu Flexibilitätsbereitstellung durch Bioenergie und Workshopbericht

D1.2 Best Practice Beispiele zu flexibler Bioenergie

D1.3 Bericht zu „Flexible Bioenergie - Technische Optionen“

D2.1 Workshop zu Flexibilität in der Energiesystemmodellierung und Workshop-Bericht

D2.2 Gemeinsamer Workshop mit anderen IEA-TCPs

D3.1 Bericht über „Flexible Bioenergiepolitik“

D3.2 Bericht über „Wert der Flexibilität“

4.2 Ziele der österreichischen Beteiligung

Ziel war es, das Verständnis für die Arten, die Qualität und den Status der Bioenergieflexibilität und ihre zukünftige Rolle zu verbessern sowie Barrieren und zukünftige Entwicklungsbedürfnisse im Kontext des gesamten Energiesystems (Strom, Wärme und Transport) zu identifizieren. Dazu wurden die folgenden drei übergeordneten Ziele verfolgt:

1. Identifizierung und Bewertung zukunftsfähiger flexibler Bioenergiekonzepte zur Unterstützung kohlenstoffarmer Energiesysteme
2. Die Beschleunigung der Umsetzung dieser Konzepte
3. Identifizierung von Systemanforderungen für flexible Bioenergiekonzepte

Um die übergeordneten Ziele zu erreichen, wurden für das Triennium 2022-2024 die folgenden Teilziele definiert:

1. Vertiefung des Verständnisses von flexibler Bioenergie durch konkrete Best Practice Beispiele
2. Beobachtung der Entwicklungen von flexiblen Bioenergiekonzepten
3. Verbesserung der Identifikation des flexiblen Bioenergiepotenzials durch Verstärkung der Kapazitäten zur Energiemodellierung
4. Verständnis für die Randbedingungen und finanziellen Maßnahmen schaffen, die die Umsetzung unterstützen
5. Identifikation der Anforderungen in Energiesystemen, die durch Bioenergie gut adressiert werden

4.3 Methodik, durchgeführte Aktivitäten

Die Informationsbeschaffung erfolgte einerseits durch bilaterale Fachgespräche mit unterschiedlichen Stakeholdern, von Anlagenbauern, über Anlagenbetreiber bis hin Interessensvertretungen sowie der Wissenschaft, durch die Teilnahme an spezifischen Workshops sowie gezielte Expert:innen-Interviews mit Hilfe von Fragebögen und andererseits durch zielgerichtete Literaturrecherche sowie Analyse nationaler F&E-Ergebnisse bzw. des Standes der Technik.

Die nationale und internationale Dissemination der gewonnenen Erkenntnisse erfolgte durch eine Vielzahl an Maßnahmen: nationaler 6-monatiger IEA Bioenergy Newsletter, Vorträge auf Fachveranstaltungen und Konferenzen, wissenschaftliche Publikationen, in Workshops, in bilateralen Fachgesprächen sowie als gezielter Input in laufende nationale und internationale F&E-Projekte. Die Zusammenarbeit innerhalb des internationalen Konsortiums erfolgte vor allem im Rahmen der regelmäßigen TASK-Meetings sowie auch in Aufgabenspezifischen Arbeitsmeetings in Kleingruppen.

5 Ergebnisse

Das folgende Kapitel fasst die wesentlichen Ergebnisse der Arbeiten des TASK 44 zusammen. Es wird dabei nicht explizit auf jedes einzelne Deliverable des internationalen Arbeitsprogrammes eingegangen, sondern versucht, die übergeordneten Ergebnisse entsprechend zusammenzufassen und relevante österreichische Beiträge hervorzuheben. Bei allen Zusammenfassungen wird aber auch auf die entsprechenden Berichte von TASK 44 für ein weiterführendes Studium referenziert.

5.1 Best Practice Beispiele

Task 44 hat Best-Practice-Beispiele für flexible Bioenergie veröffentlicht (D1.2 des internationalen Arbeitsprogrammes), um die vielfältigen Vorteile und Dienstleistungen aufzuzeigen, die flexible Bioenergie bieten kann. Die globale Abdeckung der Best Practice Beo zielt darauf ab, verschiedene Betriebsumgebungen hervorzuheben und zu zeigen, wie Bioenergie unterschiedliche Anforderungen erfüllen kann. Sie können verschiedene Best Practices entweder über die interaktive Karte oder die Liste der Best Practices erkunden.

Die Sammlung mit Best Practice Beispielen wurde laufend erweitert, und soll auch im nächsten Triennium weiter erweitert werden. Der Fokus liegt dabei darauf, eine möglichst große Vielfalt (technologisch wie auch hinsichtlich der Standorte) abzudecken. Ein Beispiel musste wieder von der Liste genommen werden, da die Anlage aus ökonomischen Gründen stillgelegt werden musste, was die Wichtigkeit entsprechender politischer Rahmenbedingungen unterstreicht.



Abbildung 1: Sammlung der internationalen Best-Practice-Beispiele

Im gegenständlichen Triennium wurde auch ein österreichisches Best Practice Beispiel vor den Vorhang geholt. Dabei standen grundsätzlich eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Auswahl, wobei viele der Möglichkeiten auch durch andere internationale Partner abgedeckt werden konnten, und somit die Wahl auf das Waste2Value-Konzept (From Waste to Value: Gasification and Upgrading of Syngas) an der Synpasplattform Vienna der Syngas-Platform-Vienna der BEST - Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH fiel, da diese auch international eine Alleinstellung hat, und deshalb als besonders relevant befunden wurde. Dieser innovative Ansatz verwandelt Abfallbrennstoffe wie Klärschlamm, Industrierückstände, Altholz und biogene Materialien in wasserstoffreiches Synthesegas, das zu hochwertigem Diesel, Kerosin und wertvollen Chemikalien weiterveredelt werden kann - ein großer Schritt auf dem Weg von Abfall zu nachhaltigen Ressourcen!

Alle gesammelten Best Practice Beispiele finden sich unter folgendem Link:

<https://task44.ieabioenergy.com/best-practices/>



Abbildung 2: Foto des DFB-Gaserzeugers mit doppelter Wirbelschicht (DFB). Die nachgeschaltete Synthese befindet sich in den grünen Hallen im Hintergrund. © BEST, 2021

5.2 Flexible Bioenergie - Technische Optionen

Tabelle 1: Flexible Bioenergie – Technische Optionen

Originaltitel des Berichts	Technologies for Flexible Bioenergy
Kurzbeschreibung	Der zunehmende Anteil erneuerbarer Energien erfordert mehr Flexibilität im Energiesystem, wobei flexible Bioenergie aufgrund ihrer zeitlichen, räumlichen und rohstoffbezogenen Anpassungsfähigkeit eine Schlüsselrolle spielt, insbesondere durch kurzfristige Ausgleichsenergien und langfristig speicherbare Energieträger, die Synergien mit Power-to-X-Prozessen und Wasserstoffstrategien ermöglichen.
Veröffentlicht	März 2025
Autor:innen	Tilman Schildhauer, Pieter Kroon, Jaap Kiel, Ernst Höftberger, Markus Gölls, Emanuele Moioli, Hossein Madi, Gabriel Reichert, Florian Kupelwieser
Link	https://task44.ieabioenergy.com/iea-publications/ (Detaillierter Link zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch nicht verfügbar; Veröffentlichung des Berichts für April 2025 geplant)

Die wesentlichen Inhalte des Berichts werden in der Folge kurz zusammengefasst. Für ein ausführliches Studium des Themas sei auf den Bericht verwiesen.

Der zunehmende Anteil erneuerbarer Stromquellen (PV, Wind, Wasserkraft), bei denen die Stromerzeugung von den Wetterbedingungen abhängt, führt zu einem Bedarf an mehr Flexibilität und Steuerbarkeit anderer Energiequellen, Energieträger und Energiespeicher. Flexibilität kann aus verschiedenen Blickwinkeln definiert werden, z. B. auf System-, Prozess- oder Komponentenebene. Flexible Bioenergie hat großes Potential wesentliche Flexibilität für das übergeordnete Energie- und Ressourcensystem bereitzustellen, und umfasst mehrere Dimensionen der Flexibilität, darunter zeitliche und räumliche Flexibilität sowie Flexibilität in Bezug auf Rohstoffe, Betrieb und Endprodukte. Die nachstehende Abbildung 3 zeigt schematisch die große Vielfalt der Wege vom Rohstoff bis zur Anwendung, einschließlich der Möglichkeiten, Ort und Zeitpunkt der Nutzung der Bioenergie zu ändern.

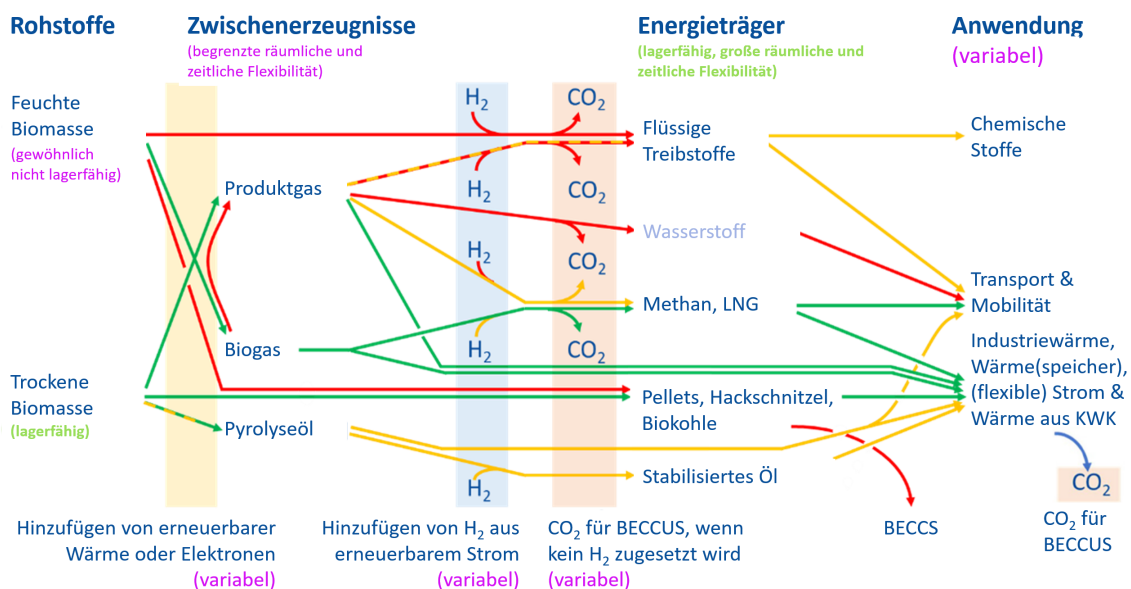


Abbildung 3: Das Netzwerk flexibler Technologien für die flexible Energieumwandlung von Biomasse.

Die Pfeile stehen für Technologien (Prozesse), wobei es häufig mehrere Optionen gibt. Der Reifegrad dieser Technologien wird über die Pfeilfarbe angezeigt: Grüne Pfeile zeigen Technologien an, die bereits angewendet werden; gelbe Pfeile zeigen Technologien an, die technisch demonstriert wurden, aber noch kein funktionierendes Geschäftsmodell haben; rote Pfeile zeigen Technologien an, die sich in Entwicklung befinden. Die Grafik wurde dem Originalbericht (Details siehe Tabelle 1) entnommen und von den Autor:innen dieses Berichts ins Deutsche übersetzt. CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>; <https://doi.org/10.1002/bbb.2649>)

Die Flexibilität der Bioenergie hat grundsätzlich mehrere Dimensionen und lässt sich übergeordnet in zwei Zeithorizonte unterteilen:

- **Kurzfristige Flexibilität** zum Ausgleich und zur Stabilisierung des Stromnetzes durch **positive** und **negative Ausgleichsenergie**, d. h. die Lieferung von mehr oder weniger Strom oder sogar die Aufnahme von Strom aus dem Netz. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, flexible Wärme aus Biomasse für Spitzenlastzeiten bereitzustellen, um Fernwärmenetze zu unterstützen (auf der Grundlage von Wärmepumpen oder Biomasse oder industrieller Abwärme).
- **Langfristige Flexibilität** durch biomassebasierte Energieträger, die (saisonal) gelagert und innerhalb der bestehenden Infrastruktur transportiert werden können und die Verwendung in verschiedenen Sektoren wie Industriewärme, Verkehr und Chemie/Materialien ermöglichen. Darüber hinaus ermöglichen einige Biomasse-Konversionspfade negative CO₂-Emissionen.

Bei weitem nicht alle der technisch möglichen und erfolgreich demonstrierten Technologien werden regelmäßig angewandt. Die Verbrennung von Biomasse oder biomassebasierten Zwischenprodukten und Energieträgern zur Erzeugung von Wärme, z.B. Fernwärme, oder Kraft-Wärme-Kopplung ist durchaus üblich. Die Flexibilität dieser Anlagen für **positive Ausgleichsenergie**, d.h. die flexible Erzeugung von Wärme und/oder Strom, wird jedoch im Wärmesektor nicht zur Gänze und im Stromsektor nur marginal genutzt, da die meisten aktuellen Fördersysteme den Volllastbetrieb der biomassebasierten Stromerzeugung begünstigen. Folglich sind sie auch nicht unbedingt in der Lage, ihr volles Flexibilitätspotenzial auszuschöpfen, da ihre Integrationskonzepte und insbesondere ihre Regelungsstrategien nicht auf einen hochflexiblen Betrieb ausgelegt sind.

Negative Ausgleichsenergie, d.h. die flexible Abnahme von Strom, der zum Zeitpunkt und am Ort seiner Erzeugung nicht anderweitig genutzt werden kann, z.B. durch Power-to-Gas-Verfahren, ist technisch gelöst und wurde jedoch nur für die Biogasaufbereitung durch Methanisierung erfolgreich demonstriert. Die flexible Wasserstoffbeimischung zum Vergasungsproduktgas oder innerhalb der Prozesse der Trockenvergasung, der hydrothermalen Vergasung oder der Verflüssigung befindet sich noch in der Entwicklung. Diese kurzfristige Flexibilität durch negative Ausgleichsenergie ist in Abbildung 1 als vertikale farbige Balken eingezeichnet.

Langfristige Flexibilität, d. h. die Umwandlung von Biomasse in Energieträger, die innerhalb der bestehenden Infrastruktur leicht transportiert oder gelagert werden können, ist bei der Biogasaufbereitung durch CO₂-Abscheidung und bei einer Reihe fester Biomasse-Energieträger, z. B. getrocknete oder torrefizierte Pellets, durchaus üblich. Die Umwandlung von holzartiger Biomasse in nicht feste Energieträger wie Methan, Methanol, (stabilisiertes) Pyrolyseöl, Fischer-Tropsch-Diesel oder ähnliches wurde bereits demonstriert, aber die meisten Wertschöpfungsketten haben noch kein gutes Geschäftsmodell gefunden, weder für die Defossilisierung von Industriewärme noch für Kraftstoffe im Verkehr oder in der chemischen Industrie. Ebenso befinden sich negative Emissionen durch BECCS oder die Herstellung von Biokohle in einer frühen Phase der Umsetzung. Diese langfristige Flexibilität ist in Abbildung 1 durch grünen Text in Klammern enthalten.

Es ist allgemein zu beobachten, dass viele flexible Bioenergieanwendungen, die in den meisten Ländern funktionieren, von Abfallströmen ausgehen, die behandelt werden müssen, aber nicht ohne weiteres anderweitig verwertet werden können, z. B. Klärschlamm zu Biogas und Biomethan. Die flexible Nutzung von holzartigen Rohstoffen gemäß den oben genannten Kategorien ist bisher von zwei Seiten her begrenzt: Einerseits ist die Verbrennung zur Deckung des Wärmebedarfs eine finanziell attraktivere Alternative zu komplexeren Umwandlungsprozessen, solange ein ausreichender Wärmebedarf besteht. Andererseits haben Energieträger auf der Basis von Holz aufgrund des Wertes von Energieholz und der komplexeren Prozesse einen höheren Preisunterschied zu fossilen Energieträgern als solche, die aus Abfällen gewonnen werden. Da bei allen Kraftstoffherstellungsprozessen aus Holz biogenes CO₂ als Nebenprodukt anfällt, wird der zunehmende Bedarf an negativen CO₂-Emissionen in Zukunft eine weitere Einnahmequelle schaffen. Dies kann als eine Form der Bioenergie-Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (BECCS) betrachtet werden, die noch effizienter ist als die Abscheidung von CO₂ im Anschluss an die Verbrennung.

Mit dem weiter zunehmenden Anteil variabler erneuerbarer Energien wie PV und Wind im Energiesystem wird die Flexibilität der Bioenergie - neben der Stromerzeugung auf Abruf auch z.B. die Synergien mit Power-to-X-Prozessen - immer notwendiger und damit wertvoller werden. Insbesondere die anstehenden Wasserstoffstrategien in verschiedenen Ländern werden viele neue Möglichkeiten für Synergien eröffnen, wie die vielfältigen Optionen zur Einbindung von erneuerbarem Wasserstoff in Bioenergie-Wertschöpfungsketten zeigen (siehe den blauen, senkrechten Balken in Abbildung 1). Auch der neue World Energy Outlook 2024 der IEA zeigt, dass der flexiblen Bioenergie in Zukunft eine wichtige Rolle zukommen wird.

5.3 TCP-übergreifende Vernetzung

Task 44 war grundsätzlich um einen intensiven Austausch mit anderen TCPs bemüht. Die wesentliche Aktivität war die Organisation eines IEA-Cross-TCP-Workshops (D2.2 des internationalen Arbeitsprogrammes), worauf im folgenden Abschnitt 5.3.1 näher eingegangen wird. Zusätzlich formierten sich gegen Ende des Trienniums auch sogenannte TCP Coordination Groups, worauf im nachfolgenden Abschnitt 5.3.2 näher eingegangen wird.

5.3.1 IEA-Cross-TCP-Workshop: „Wege zu einer flexiblen, sektorübergreifenden Energieversorgung mit besonderem Fokus auf die Flexibilitätsbereitstellung über den Wärmesektor“

Eine nachhaltige Energieversorgung kann nur durch ein flexibles, sektorübergreifendes Energiesystem erreicht werden, das die spezifischen Vorteile der verschiedenen erneuerbaren Technologien nutzt. Anhand von spezifischen Präsentationen zu den Nutzer:innen-Bedürfnissen der verschiedenen Sektoren wurden die möglichen Rollen der verschiedenen Technologien diskutiert. Der Workshop fand als Side-Event der Mitteleuropäischen Biomassekonferenz 2023 in Graz als physische

Veranstaltung statt. Die Veranstaltung war offen für alle Interessierten und erreichte mehr als 50 Teilnehmer. Der Workshop gliederte sich in zwei Präsentationsteile und eine Abschlussdiskussion. Organisiert und geleitet von Markus Göllles von BEST - Bioenergy and Sustainable Technologies, Österreich, lag ein besonderer Schwerpunkt auf der Bereitstellung von Flexibilität durch den Wärmesektor. Durch die Zusammenführung verschiedener Nutzer, die die kommunale und industrielle Energieversorgung repräsentieren, und von Technologieexperten aus verschiedenen IEA Technology Collaboration Programmes (TCP), unterstützte der Workshop eine ganzheitliche Diskussion.

Programm und Referent:innen



Workshop: IEA-Cross-TCP: Wege zu einer flexiblen, sektorübergreifenden Energieversorgung mit besonderem Fokus auf die Flexibilitätsbereitstellung über den Wärmesektor; Saal 8, 09:00 – 12:30



„Ein nachhaltiges Energie- und Ressourcensystem erfordert ein intelligentes, sektorübergreifendes Zusammenspiel verschiedener nachhaltiger Technologien. Hierzu gilt es die Flexibilität steuerbarer Technologien deutlich zu verbessern, sodass sie die Volatilität nicht steuerbarer Technologien kompensieren können.“

Chair: Markus Göllles, BEST, AUT

Eine nachhaltige Energieversorgung kann nur durch ein flexibles, sektorübergreifendes Energiesystem erreicht werden, das die spezifischen Vorteile der verschiedenen erneuerbaren Technologien nutzt. In diesem Workshop werden die möglichen Rollen der verschiedenen Technologien auf der Grundlage einer vorangegangenen Diskussion über die Anforderungen der Nutzer in den verschiedenen Sektoren diskutiert. Dabei soll ein besonderer Schwerpunkt auf die Flexibilitätsbereitstellung durch den Wärmesektor gelegt werden. Durch das Zusammenbringen verschiedener Nutzer, die die kommunale und industrielle Energieversorgung repräsentieren, und Technologieexperten aus verschiedenen IEA Technology Collaboration Programmes (TCP) soll der Workshop eine ganzheitliche Diskussion unterstützen.

09:00 Eröffnung
Markus Göllles, BEST, AUT

Block A – Künftige Anforderungen der Nutzer und die besondere Rolle der Biomasse

Vision der Wien Energie für eine nachhaltige Energie- und Ressourcensversorgung von Wien
Teresa Schubert, Wien Energie, AUT

Digitalisierung von Energiemanagementsystemen – Optimierung innerbetrieblicher Energienutzung
Maria Lechner, INNIO Jenbacher, AUT

Flexible Bioenergie und Systemintegration
Elina Mäki, VTT Technical Research Centre of Finland, FIN

Use Case: Syngas Plattform Wien zur Nutzung von biogenen Reststoffen
Matthias Kuba, BEST, AUT

10:30 Kaffeepause

11:00 **Block B – Bereitstellung von Flexibilität durch den Wärmesektor**

Transformation von Fernwärme- und Fernkältesystemen hin zu einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien
Ingo Leusbrock, AEE INTEC & IEA DHC Annex TS5, AUT

Möglichkeiten durch Langzeitwärmespeicher und solarthermische Großanlagen
Viktor Unterberger, BEST & IEA SHC Task 68, AUT

Möglichkeiten durch Digitalisierung am Beispiel von Fernwärme und Fernkälte
Dietrich Schmidt, Fraunhofer IEE & IEA DHC Annex TS4, DEU

12:00 Interaktive Diskussion mit den Vortragenden und dem Publikum

12:30 Mittagspause



Vortragssprache Englisch



21

Abbildung 4: Programm der 7. Mitteleuropäischen Biomassekonferenz 2023: IEA-Cross-TCP-Workshop am 18.01.2023. Quelle: https://eventmaker.at/uploads/29125/downloads/cebc2023_programm_180123_de_kleiner.pdf

Liste der Präsentationen:

- Wien Energie's vision of a sustainable energy and resource supply of Vienna, Teresa Schubert, Wien Energie, Austria
- Digitalization of energy management systems – optimization of internal energy use as an industrial company, Maria Lechner, INNIO Jenbacher, Austria
- Flexible Bioenergy and System Integration, Elina Mäki, VTT Technical Research Centre of Finland, Finland Task Leader – IEA Bioenergy Task 44 Flexible Bioenergy and System Integration
- Use Case: Syngas platform Vienna for utilization of biogenic residues, Matthias Kuba, BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies, Austria
- Transformation of District Heating and Cooling Systems towards high share of renewables, Ingo Leusbrock, AEE INTEC, Austria – Lead of Austrian delegation – IEA DHC Annex TS5 Integration of Renewable Energy Sources into existing District Heating and Cooling Systems
- Opportunities offered by long-term heat storages and large-scale solar thermal systems, Viktor Unterberger, BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies, Austria Task Manager – IEA SHC Task 68 Efficient Solar District Heating Systems
- Possibilities through digitalization on the example of District Heating and Cooling, Dietrich Schmidt, Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology IEE, Germany – Operating Agent – IEA DHC Annex TS4 Digitalisation of District Heating and Cooling

Alle Präsentationen online abrufbar unter diesem Link: <https://task44.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/12/2022/12/CEBC-2023-IEA-Cross-TCP-WS-Presentations.pdf>



Abbildung 5: Referenten von links nach rechts: Matthias Kuba (BEST, Österreich), Ingo Leusbrock (AEE INTEC, Österreich), Teresa Schubert (Wien Energie, Österreich), Maria Lechner (INNIO Jenbacher, Österreich), Elina Mäki (VTT, Finnland), Markus Göllles (BEST, Österreich), Dietrich Schmidt (Fraunhofer IEE, Deutschland), Viktor Unterberger (BEST, Österreich)

Schlussfolgerungen

Aus den Vorträgen und der anschließenden Diskussion konnten folgende Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

- **Nachhaltige Energieträger für Großstädte:** Großstädte haben derzeit einen vergleichsweise geringen Anteil an erneuerbaren Energien. Sie benötigen sehr hohe Energiezuflüsse, da es nicht möglich ist, die gesamte benötigte Energie innerhalb der Städte zu erzeugen. Für eine nachhaltige Energieversorgung von Großstädten sind nachhaltige Energieträger notwendig.
- **Sektorkopplung:** Es ist sehr wichtig, die durch die verschiedenen Sektorkopplungstechnologien, z.B. KWK oder Elektrolyseure, freigesetzte Wärme zu nutzen, um hohe Wirkungsgrade und Nutzungsgrade zu erreichen. Um dies zu erreichen, müssen Fernwärme und Energieraumplanung eine große Rolle spielen.
- **Energiebedarf:** Die Senkung des Energiebedarfs darf dabei nicht vergessen werden.
- **Politische Rahmenbedingungen:** Eine erfolgreiche Umstellung unserer Energie- und Ressourcenversorgung erfordert die angemessene Einbindung aller Akteure und geeignete politische Rahmenbedingungen.
- **Multi-Energie-Systeme:** Die Lösungen werden Multi-Energie-Systeme sein, die viele verschiedene Technologien umfassen. Dies bedeutet, dass gut ausgebildete Arbeitskräfte mit Fachwissen in vielen verschiedenen Bereichen benötigt werden. Auch sollte ein Wettbewerb zwischen den verschiedenen erneuerbaren Energien vermieden werden, da sie alle benötigt werden. Der Schwerpunkt sollte darauf liegen, den optimalen Einsatz der verschiedenen verfügbaren Technologien zu ermitteln. Aufgrund der Volatilität der meisten erneuerbaren Energiequellen und der stark variierenden geografischen Randbedingungen werden Speicher und Energieträger sehr wichtig sein.
- **Digitalisierung:** Aufgrund der zunehmenden Komplexität und Begrenztheit der Arbeitskräfte wird eine verstärkte Digitalisierung notwendig sein.

Publikumsbefragung

Die abschließende Publikumsbefragung verdeutlicht die Komplexität des Übergangs zu einer nachhaltigen Energie- und Ressourcenversorgung und gibt einen Überblick über die vielen verschiedenen Aufgaben, die es zu bewältigen gilt. Neben einzelnen Technologien wie Wärmepumpen werden Digitalisierung und Speichertechnologien als zentrale Punkte in einem nachhaltigen Energiesystem gesehen.

5.4 Flexibilisierung in der Bioenergiepolitik

Basierend auf umfassenden Recherchen in einzelnen Ländern wurde versucht ein übergeordnetes Bild hinsichtlich des politischen Status der Flexibilitätsbereitstellung durch Bioenergie abzuleiten. Hierzu wurden zwei detaillierte Berichte jeweils zum aktuellen Status und ein Ausblick in die Zukunft erstellt (siehe Abschnitt 5.4.1), die darüber hinaus in dem in der Folge skizzierten Zusammenfassungsbericht kondensiert wurden (D3.1 des internationalen Arbeitsprogramms).

Tabelle 2: Flexibilisierung in der Bioenergiepolitik – Zusammenfassung

Originaltitel des Berichts	Flexible bioenergy policies in different countries - Summary report
Kurzbeschreibung	Die Energiepolitik in 14 Ländern wurde betrachtet, mit Fokus auf politische Rahmenbedingungen (Strategien, Investitionsförderung, Energienetzgesetzgebung, etc.), langfristige Zeitpläne und Empfehlungen für ein erfolgreiche Energiewende.
Veröffentlicht	März 2025
Autor:innen	Daniela Thrän, Nora Lange, Elina Mäki, Heidi Saastamoinen, Thomas Schleker, Miia Nevander
Link	https://task44.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/12/2025/03/IEAB-Task-44_Flexible-bioenergy-policies-in-different-countries_Summary-report.pdf

Bioenergie wird in Zukunft eine entscheidende Rolle in Energiesystemen mit einem hohen Anteil an Solar- und Windenergie spielen, besonders in Bereichen, in denen andere erneuerbare Quellen schwer zugänglich sind. Ihre Flexibilität ist wichtig für die Bereitstellung von Strom, Biokraftstoffen, erneuerbarer Wärme und für die Reduzierung von Netzbetriebskosten. Damit das Potenzial von Bioenergie vollständig genutzt werden kann, sind jedoch unterstützende politische Rahmenbedingungen notwendig.

Die Bioenergiepolitik wurde durch eine **Analyse der Entwicklungen bei der Implementierung flexibler Bioenergie in 14 Ländern und der Europäischen Union** beleuchtet. Diese Länder weisen unterschiedliche Anteile bei der Bereitstellung erneuerbarer Energien sowie bei der Bioenergie-Beteiligung auf, die zwischen 260.610 TJ/a und 12.148.736 TJ/a variieren. Die Untersuchung stützte sich hauptsächlich auf Fragebögen, die von Bioenergie-Experten aus den jeweiligen Ländern ausgefüllt wurden, die über das IEA-Bioenergie-Netzwerk kontaktiert wurden. Obwohl alle befragten Länder OECD-Mitglieder sind, ist der Status, der politische Rahmen und die Beispiele heterogen. So legen die untersuchten Länder unterschiedliche Prioritäten auf kurzfristige flexible Bioenergie, Mehrprodukt-Systeme und langfristige Flexibilitätsdienste.

Flexible Bioenergie wird in vielen verschiedenen Anwendungsbereichen betrachtet. In den letzten drei Jahren wurden zunehmende Anstrengungen zur flexiblen Bioenergieproduktion und/oder

zur gleichzeitigen Produktion von Strom, Wärme und Kraftstoffen unternommen, unterstützt durch Strategien, Investitionsförderungen und Anpassung der Energienetzgesetzgebung. Viele dieser Bemühungen sind mit Bioenergie in Verbindung mit Kohlenstoffabscheidung und -nutzung oder -speicherung (BECCU/BECCS) verknüpft, die in fast allen untersuchten Ländern in den politischen Bereich aufgenommen wurden. Was die flexible Stromversorgung betrifft, so unterscheiden sich die Länder in ihrem Fokus und Ansatz, z.B. bei der Betonung von Tagesflexibilität oder saisonaler Flexibilität, Polygeneration, der Kombination mit Überschussenergie, Wasserstoff und/oder Power-to-X. Zudem befinden sich die meisten Anstrengungen noch in der Forschungs-, Entwicklungs- und Pilotphase; Unterstützung für die Umsetzung dieser Flexibilitätsoptionen ist selten.

Flexibilität im Energiesektor gewinnt zunehmend an Bedeutung, da der Anteil variabler erneuerbarer Energien (VRES) steigt. Flexibilitätsfragen im Bereich der Stromversorgung sind seit den letzten drei Jahren auf die Agenda gerückt. Fast alle untersuchten Länder erwarten Investitionen in Flexibilität oder haben bereits in diese investiert. Auch die Statistik und Überwachung flexibler Bioenergie werden immer relevanter. Es gibt jedoch immer noch sehr unterschiedliche Ansätze zur Beschreibung flexibler Kapazitäten zwischen den Ländern, sodass eine klare Definition und ein standardisiertes Verfahren die Vergleichbarkeit der Zahlen verbessern könnten. In mehr als der Hälfte der untersuchten Länder werden bis 2030 fortschrittliche Technologien zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit erwartet. In vielen Ländern werden derzeit verschiedene Flexibilitätsoptionen umgesetzt, die hauptsächlich durch Forschung und Entwicklung sowie Pilot- und Demonstrationsanlagen vorangetrieben werden, in einigen Fällen jedoch auch bereits auf dem Markt verfügbar sind. Der Vergleich der verschiedenen Flexibilitätsoptionen aus erneuerbaren Quellen zeigt, dass in den Ländern eine Innovations- und Implementierungspipeline für flexible Stromerzeugung sichtbar ist. Diese ist jedoch eher bei Wasserstoff und Wasserkraft ausgeprägt als bei Biogas und festen Biokraftstoffen.

Im Hinblick auf **Marktbarrieren und -chancen für die Einführung flexibler Bioenergie** wurden die Länder gebeten, verschiedene Faktoren hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Einführung flexibler Bioenergie zu bewerten. Die Ergebnisse zeigen, dass hohe Rohstoffpreise den größten negativen Einfluss haben, während die Anforderungen an die Energieversorgung einen positiven Einfluss auf die Einführung flexibler Bioenergie haben.

Viele **Unterstützungsmechanismen für die Umsetzung der erneuerbaren Energieproduktion** werden genannt, wobei die meisten flexible Bioenergie und die Systemintegration nur indirekt unterstützen. Direkte politische Unterstützung wird aus Österreich, Dänemark, Deutschland, Italien, den Niederlanden, Schweden, der Schweiz und der Türkei angegeben. Diese Mechanismen fördern den Aufbau flexibler Bioenergie-Kapazitäten in Biogasanlagen (in Deutschland), Einspeisevergütungen und Prämien für flexible Bioenergie (Dänemark) oder fokussieren sich auf die Kapital- und Betriebskostenbeiträge für biomasse-basierte KWK-Anlagen (Schweiz). Der Effekt dieser Mechanismen hängt jedoch auch vom Grad der Unterstützung ab.

Neben unzureichenden politischen Instrumenten und Marktmechanismen, die in fast allen untersuchten Ländern als Hauptbarrieren gelten, sind in einigen Ländern auch technische Barrieren (in den USA) und Akzeptanzprobleme (in den Niederlanden) von Bedeutung. Der Wettbewerb mit anderen Flexibilitätsoptionen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Infrastrukturprobleme werden jedoch nicht als Barriere genannt, was flexible Bioenergie von anderen Optionen der Systemintegration unterscheidet und als Vorteil bei der kurzfristigen Umsetzung angesehen werden kann.

Für eine erfolgreiche Energiewende wird flexible Bioenergie als ein wichtiger Beitrag zur Energiesicherheit identifiziert, insbesondere zur Unterstützung des Übergangs von fossilen zu erneuerbaren Energiesystemen. Zum Beispiel betonen Länder wie Dänemark und Österreich ihre Rolle bei der Pufferung von Unsicherheiten und der Aufrechterhaltung der Stromversorgung angesichts der zunehmenden Abhängigkeit von variablen erneuerbaren Energien (VRE). Bioenergie wird auch als ein entscheidender Faktor für die Dekarbonisierung schwer zu entkarbonisierender Sektoren erwartet, wobei Kanada, das Vereinigte Königreich und andere ihre Bedeutung für industrielle Wärme, den Schwertransport und die Integration mit Kohlenstoffabscheidungs- und -speichertechnologien (Carbon Capture and Storage, CCS) hervorheben (Bioenergie mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung, BECCS). Trotz ihres Potenzials wird flexible Bioenergie in nationalen Strategien inkonsistent behandelt, oft von breiteren Zielen für erneuerbare Energien überschattet oder durch die Verfügbarkeit von Biomasse-Ressourcen begrenzt.

Insgesamt sind internationale Zusammenarbeit und klare politische Rahmenbedingungen erforderlich, um die Flexibilitätsvorteile der Bioenergie im großen Maßstab zu erschließen. Während einige Länder wie Dänemark und Schweden die Bedeutung von Flexibilität in ihren Energiestrategien anerkennen, bleiben explizite Verweise auf flexible Bioenergie in den meisten politischen Dokumenten begrenzt.

Länder haben wichtige **Chancen für flexible Bioenergiesysteme in zwei Zeiträumen** identifiziert. Für den Zeitraum 2020-2030 umfassen die Prioritäten die Nutzung biogener Reststoffe, die Ergänzung der Nutzung erneuerbarer Energien und die Unterstützung des industriellen Energiebedarfs. Für 2030-2050 verschiebt sich der Fokus auf Wasserstoffsynergien, CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage) und E-Fuels, wobei ihre Rolle bei der Dekarbonisierung der Schwerindustrie und der Verbesserung der Speicherung erneuerbarer Energien hervorgehoben wird. Die Bereitstellung nachhaltiger Kraftstoffe bleibt in beiden Zeiträumen entscheidend, während die Verwertung biogener Reststoffe bis 2050 an Bedeutung verliert. Insgesamt spiegelt der Wandel einen Übergang von der kurzfristigen Einführung zur langfristigen Integration in umfassendere Dekarbonisierungsstrategien wider. Allerdings machen Unsicherheiten bezüglich der Verfügbarkeit von Biomasse ihren potenziellen Einfluss in vielen Ländern unklar. Zudem gibt es Unterschiede im Fortschritt der Energiewende zwischen den Ländern, die durch Unsicherheiten in Bezug auf konkurrierende Technologien wie Elektromobilität im Schwerlastverkehr, bidirektionales Laden im Bereich der Elektrofahrzeuge und Hochtemperatur-Wärmepumpen für die Industrie verstärkt werden.

Um das Potenzial flexibler Bioenergie zu erschließen, sollte die Politik koordinierte Maßnahmen auf nationaler und internationaler Ebene ergreifen. Dazu gehört die Klärung des Biomassepotenzials, die Verbesserung der Modellierung von Energiesystemen, um den Bedarf an Flexibilität in Energie- und Ressourcensystemen besser zu verstehen, die Festlegung, wie Flexibilität bereitgestellt werden kann, die Entwicklung unterstützender Politiken und die Abstimmung technologischer Fortschritte über verschiedene Sektoren hinweg. Darüber hinaus sollten politische Strategien für flexible Bioenergie die Verbindung zu grünen Wasserstoffstrategien berücksichtigen, die in immer mehr Energieszenarien bewertet werden, um die Synergien zwischen flexibler Biomasse und grünem Wasserstoff zu erschließen.

5.4.1 Weitere Berichte

Task 44 analysierte schon 2021 im Bericht „Expectation and implementation of flexible bioenergy in different countries“ den Status und die Erwartungshaltung an flexible Bioenergie in verschiedenen Ländern. Im Triennium 2022-2024 wurde die Situation erneut analysiert und als zweiteiliger Bericht veröffentlicht. Zusätzlich wurden die Ergebnisse in einem dritten Bericht zusammengefasst.

Tabelle 3: Flexibilisierung in der Bioenergiepolitik – Aktueller Status

Originaltitel des Berichts	Implementation of flexible bioenergy in different countries
Kurzbeschreibung	Dieser Bericht analysiert die Entwicklungen und Herausforderungen der Implementierung flexibler Bioenergie in 14 Ländern und der EU, wobei er den steigenden Bedarf an Flexibilität zur Integration variabler erneuerbarer Energien und die Notwendigkeit geeigneter politischer Rahmenbedingungen hervorhebt, um das Potenzial flexibler Bioenergie in der Transformation des Energiesystems zu nutzen.
Veröffentlicht	Mai 2024
Autor:innen	Daniela Thrän, Nora Lange, Elina Mäki, Heidi Saastamoinen, Thomas Schleker
Link	https://task44.ieabioenergy.com/publications/implementation-of-flexible-bioenergy-in-different-countries/

Tabelle 4: Flexibilisierung in der Bioenergiepolitik – Ausblick

Originaltitel des Berichts	Expectations on flexible bioenergy in different countries
Kurzbeschreibung	Dieser Bericht untersucht die zunehmende Bedeutung flexibler Bioenergie als Schlüssel zur Erreichung von Klimaneutralität und Energieunabhängigkeit, wobei er die unterschiedlichen nationalen Ansätze zur Integration flexibler Bioenergie in Energiesysteme, deren Potenziale und die Notwendigkeit klarer politischer Rahmenbedingungen und internationaler Zusammenarbeit hervorhebt.
Veröffentlicht	Februar 2025
Autor:innen	Daniela Thrän, Nora Lange, Elina Mäki, Heidi Saastamoinen, Thomas Schleker, Miia Nevander
Link	https://task44.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/12/2025/02/IEAB-T44_Expectations-on-flexible-bio-energy-in-different-countries_1.2.pdf

5.5 Der Wert flexibler Bioenergie

Dieser Bericht entspricht D3.2 des internationalen Arbeitsprogramms, und wird in der Folge kurz zusammengefasst.

Tabelle 5: Der Wert flexibler Bioenergie

Originaltitel des Berichts	The Value of Flexible Bioenergy
Kurzbeschreibung	In drei Ländern (Österreich, Deutschland und Finnland) wurde der Wert der Flexibilität von Bioenergie für den Strommarkt innerhalb eines vereinfachten Merit-Order-Modells betrachtet und in einem Bericht zusammengefasst.
Veröffentlicht	März 2025
Autor:innen	M.Sc. Martin Dotzauer, Daniela Thrän, editiert von Nora Lange
Link	https://task44.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/12/2025/04/IEAB-Task-44_Value_of_flexible_bio-energy.pdf

5.5.1 Hintergrund

Bioenergie ist eine erneuerbare Energiequelle, die zur Dekarbonisierung des Stromsektors beiträgt. Im Gegensatz zu Photovoltaik und Windenergie, die wetterabhängig sind und fast keine Grenzkosten haben, erfordert Bioenergie den Kauf von Brennstoffen der jedoch saisonal gespei-

chert und dann eingesetzt werden kann, wenn er am dringendsten gebraucht wird. Diese Eigenschaft macht Bioenergie zu einer flexiblen Option im Stromsystem, um die schwankende Erzeugung aus Wind und Photovoltaik auszugleichen.

5.5.2 Status Quo der flexiblen Bioenergie

In vielen Ländern wird flexible Bioenergie zunehmend wichtig, da der Anteil intermittierender erneuerbarer Energien wächst. Biogas- und Biomethananlagen sowie KWK-Anlagen, die feste Biomasse nutzen, sind etablierte Flexibilitätslösungen. Einige Länder unterstützen flexible Bioenergie direkt durch politische Maßnahmen, wie z.B. Marktprämien in Deutschland oder Einspeisetarife in Dänemark.

5.5.3 Methodik

Die Hauptdatenquelle für diese Studie ist die Transparenzplattform des Europäischen Netzwerks der Übertragungsnetzbetreiber für Strom (ENTSO-E). Die Methode umfasst die Auswahl von drei geeigneten Ländern (Österreich, Deutschland und Finnland), die Entwicklung eines vereinfachten Merit-Order-Modells und die Untersuchung des Wertes flexibler Bioenergie innerhalb dieses Modells. Die Methodik im Detail ist am Ende dieses Dokuments zusammengefasst.

5.5.4 Ergebnisse und Diskussion

- **Österreich:** Die flexible Erzeugung aus Biomasse führte zu einer Kosteneinsparung von 93 Millionen Euro im Jahr 2023.
- **Deutschland:** Die flexible Erzeugung reduzierte die spezifischen Strompreise um 0,58 €/MWh, was zu einer Gesamteinsparung von 266 Millionen Euro führte.
- **Finnland:** Die flexible Erzeugung führte zu einer erheblichen Kostensenkung von 9,11 €/MWh, was einer Gesamteinsparung von 719 Millionen Euro entspricht.

5.5.5 Allgemeine Diskussion und Schlussfolgerungen

In allen drei Fallstudien trägt die flexible Stromerzeugung aus Biomasse zu Kosteneinsparungen im Vergleich zu einem inflexiblen Grundlastbetrieb bei. Die Ergebnisse zeigen, dass saisonale Flexibilität hauptsächlich durch thermische Kraftwerke mit fester Biomasse bereitgestellt wird, während kurzfristige Flexibilität durch KWK-Anlagen mit Biogas oder Biomethan erfolgt.

5.5.6 Zukünftige Forschung

Zukünftige Untersuchungen sollten sich auf die Auswirkungen flexibler Bioenergie in zukünftigen Energiesystemen konzentrieren, da sich die Bedingungen bis zur Mitte des Jahrhunderts erheblich

ändern werden. Hierfür sind fortschrittlichere Methoden erforderlich, um ex-ante Analysen durchzuführen.

5.5.7 Methodik im Detail

Die Methodik dieser Studie basiert auf der Nutzung der Transparenzplattform des Europäischen Netzwerks der Übertragungsnetzbetreiber für Strom (ENTSO-E). Zunächst wurden drei Länder ausgewählt (Österreich, Deutschland und Finnland), die jeweils signifikante Anteile an Bioenergie aufweisen. Ein vereinfachtes Merit-Order-Modell wurde entwickelt, um die Auswirkungen flexibler Bioenergie auf die Strompreise zu bewerten. Dieses Modell berücksichtigt die Grenzkosten der verschiedenen Erzeugungstechnologien und ordnet sie entsprechend ihrer Kosten in einer Merit-Order-Liste. Die historischen Zeitreihen für Last, Erzeugung und Strompreise wurden verwendet, um die Preisreaktionskurven (PRC) für die nicht-erneuerbaren, steuerbaren Erzeugungstechnologien (NRDG) zu ermitteln. Diese PRCs wurden dann invertiert, um die Grenzkostenkurven zu erhalten und die Merit-Order-Liste zu erstellen. Durch den Vergleich der modellierten Strompreise für flexible und inflexible Bioenergieerzeugung konnte der zusätzliche Wert der Flexibilität quantifiziert werden.

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Das Projekt zielt darauf ab, die Kommerzialisierung von Systemlösungen auf Basis der Bioenergie zu forcieren. Daher unterstützt das Projekt die Erreichung internationaler und auch nationaler Klima- und Energieziele, und hat auch zum Ziel eine breite Interessensgruppe von Technologielieferanten, über Anlagenbetreiber:innen bis hin zu politischen Entscheidungsträger:innen sowie der einschlägigen Wissenschaft anzusprechen.

Die Einschätzung der eigenen Stärken und Schwächen und die Positionierung im globalen Wettbewerb ist für einen Erfolg österreichischer Firmen und für die forschungsfördernden Stellen wichtig. Ebenfalls wichtig ist, die politischen Rahmenbedingungen in Ländern mit starken Bioenergiesektor zu kennen und auf das technologische Wissen in diesen Ländern zugreifen zu können. Der Informationsaustausch zu bereits eingesetzten Flexibilisierungsmaßnahmen für Bioenergie, politischen Rahmenbedingungen und Implementierungsfragen innerhalb von IEA Bioenergy Task 44 leistet hierzu einen wichtigen Beitrag und kommt allen österreichischen Einrichtungen zugute, die sich mit Flexibilisierung von Bioenergie im Rahmen von F&E-Arbeiten befassen.

Die Ergebnisse des internationalen Tasks werden in Berichten, Best-Practice-Beispielen und über eine Vielzahl an Webinaren und wissenschaftlichen Publikationen verbreitet. Im Rahmen des nationalen Bioenergy Newsletters werden diese Ergebnisse innerhalb Österreichs verbreitet und beworben.

6.1 Berichte

- [BECCUS and flexible bioenergy – finding the balance](#) (08/2023)
- [Implementation of flexible bioenergy in different countries](#) (05/2024)
- [Expectations on flexible bioenergy in different countries](#) (02/2025)
- [Flexible bioenergy policies in different countries – Summary report](#) (03/2025)
- [The Value of Flexible Bioenergy](#) (04/2025)
- Technologies for Flexible Bioenergy (05/2025)

<https://task44.ieabioenergy.com/iea-publications/>

(Detaillierter Link zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch nicht verfügbar; Veröffentlichung des Berichts für April 2025 geplant)

6.2 Best-Practice-Sammlung

Die aktuellen Best-Practices finden sich auf der internationalen Task Homepage und werden laufend erweitert: <https://task44.ieabioenergy.com/best-practices/>

Insbesondere das österreichische Best-Practice-Beispiel (s. auch Abschnitt 5.1) soll hier hervorgehoben werden: Waste2Value – From Waste to Value: Gasification and Upgrading of Syngas.

6.3 Webinare und Veranstaltungen

- Collaboration-Workshop „Regional development opportunities based on flexible biomass value networks (FlexSys / BioSyn)“ von Fabian Schipfer und Biljana Kulišić am 02.11.2022. Online. <https://www.ieabioenergy.com/blog/ieaevent/intertask-collaboration-workshop-regional-development-opportunities-based-on-flexible-biomass-value-networks/>
- Expert:innen-Workshop „IEA Bioenergy Task 44 - Workshop on Flexibility Provision from Biogenic Gases“, 23.11.2022, online. <https://task44.ieabioenergy.com/ieaevent/iea-bio-energy-task-44-workshop-on-flexibility-provision-from-biogenic-gases/>. Auch online als Video abrufbar: <https://www.youtube.com/watch?v=jL33KLaMFW0>
- IEA-Cross-TCP-Workshop: Wege zu einer flexiblen, sektorübergreifenden Energieversorgung mit besonderem Fokus auf die Flexibilitätsbereitstellung über den Wärmesektor (Am 18. Jänner 2023 im Rahmen der CEBC in Graz)
- Ein gemeinsamer Workshop mit dem IEA ETSAP TCP zum Thema „Optionen und Anforderungen der Energiesystemmodellierung für die Planung von Flexibilität durch Bioenergie und Wasserstoff“ wurde in Turin (Italien) organisiert.
Joint workshop: Exploring Flexibility from Renewable Hydrogen and Bioenergy in Energy Systems Modelling. 17.11.2023. Torino, Italien.
- Workshop über „Flexibilität in der Energiesystemmodellierung“ organisiert vom Fachverband Metalltechnische Industrie (FMTI). 01.12.2023. Online.
- Webinar on Bioenergy for Flexibility in Energy Systems. 02.09.2024. Online.
- Webinar Synergies of renewable hydrogen and biobased value chains: case studies. 26.09.2024. Online.
- WBA Webinar – Bioenergy for Flexibility in Energy Systems – Part II: Heat Demand. 08.10.2024. Online. Auch als Video abrufbar.
- BBEST & IEA Bioenergy 2024 Conference. 25.10.2024. São Paulo, Brazil. Der Vortrag kann unter vorliegendem Link angesehen werden: <https://youtu.be/YJT5TyyEvvY?si=OPwNRR-vR-KmQotu>

6.4 Österreichischer Bioenergy Newsletter

Der IEA Bioenergy Österreich Newsletter gibt halbjährlich Einblick in die nationalen und internationalen Arbeiten in IEA Bioenergy und dessen Tasks. Neben Highlights aus den einzelnen Tasks werden ausgewählte Projekte, Veröffentlichungen und Veranstaltungen präsentiert. Im [Newsletter-Archiv](#) können alle bisher erschienen Ausgaben abgerufen werden.

6.4.1 Erschienene Newsletter der Arbeitsperiode 2022-2024:

- [Österreich Newsletter – Ausgabe 5 – Mai 2022](#)
- [Österreich Newsletter – Ausgabe 6 – November 2022](#)
- [Österreich Newsletter – Ausgabe 7 – Juni 2023](#)
- [Österreich Newsletter – Ausgabe 8 – Dezember 2023](#)
- [Österreich Newsletter – Ausgabe 9 – Juni 2024](#)
- [Österreich Newsletter – Ausgabe 10 – Jänner 2025](#)

6.5 Wissenschaftliche Publikationen

Folgende Publikationen wurden innerhalb der Arbeitsperiode 2022-2024 veröffentlicht:

6.5.1 Bioenergy for Provision of Flexibility to Multi-energy Systems through Model-based Control

Bioenergy for Provision of Flexibility to Multi-energy Systems through Model-based Control.

Gölles, M., Hollenstein, C., Kaisermayer, V., Muschick, D., Unterberger, V., Zemann, C. 32nd European Biomass Conference and Exhibition. 2024. DOI: [10.5071/32ndEUBCE2024-3BO.9.1](https://doi.org/10.5071/32ndEUBCE2024-3BO.9.1)
<https://task44.ieabioenergy.com/7137-2/>

Synopsis: In einem zukünftigen nachhaltigen Energie- und Ressourcensystem spielt Biomasse eine zentrale Rolle, indem sie jene Lücken schließt, die andere erneuerbare Quellen nicht abdecken können. Neben ihrer Funktion als nachhaltige Kohlenstoffquelle muss Biomasse auch regelbare Technologien bieten, um die Schwankungen erneuerbarer Energien auszugleichen. Aktuelle Technologien bieten jedoch noch nicht die nötige Flexibilität, um stark variierende Betriebsbedingungen zu bewältigen. Daher sind neue, fortschrittliche Regelungsstrategien erforderlich, die eine optimale Interaktion von Produktionseinheiten, Speichern und Verbrauchern ermöglichen. Der Artikel beleuchtet die aktuellen Herausforderungen und zeigt auf, wie modellbasierte Regelung das Potenzial der Bioenergie zur Flexibilitätsbereitstellung in Multi-Energiesystemen maximieren kann.

6.5.2 Defining bioenergy system services to accelerate the integration of bioenergy into a low-carbon economy

Defining bioenergy system services to accelerate the integration of bioenergy into a low-carbon economy. Mäki, E., Hennig, C., Thrän, D., Lange, N., Schildhauer, T., Schipfer, F. (2024): Defining bioenergy system services for accelerating the integration of bioenergy into a low-carbon economy. Journal Biofuels, Bioproducts and Biorefining (BioFPR). <https://doi.org/10.1002/bbb.2649>
<https://task44.ieabioenergy.com/publications/defining-bioenergy-system-services-to-accelerate-the-integration-of-bioenergy-into-a-low-carbon-economy/>

Synopsis: Der globale Energiesektor strebt bis 2050 Netto-Null-Emissionen an, was die Rolle der Bioenergie verändert. Aufgrund begrenzter Biomasseressourcen ist ihre flexible Nutzung entscheidend, um Emissionsziele zu erreichen und ein kohlenstoffarmes Energiesystem zu unterstützen. Flexible Bioenergie bietet vielseitige Systemdienstleistungen, wie die Integration erneuerbarer Energien, negative CO₂-Emissionen und Synergien mit wasserstoffbasierten Wertschöpfungsketten. Die Publikation definiert flexible Bioenergie als Systemdienstleistung basierend auf Arbeiten der IEA (Task 44) und zeigt Beispiele sowie Wechselwirkungen mit Dienstleistungen anderer erneuerbarer Energien auf. Die Publikation betont, dass Bioenergie weit über kurzfristige Stromflexibilität hinausgeht, wobei weitere Analysen nötig sind, um ihren Wert und tragfähige Geschäftsmodelle zu erschließen.

6.5.3 Defining the value of bioenergy system services for accelerating the integration of bioenergy into a low-carbon economy

Defining the value of bioenergy system services for accelerating the integration of bioenergy into a low-carbon economy. Mäki, E., Henning, C., Thrän, D., Lange, N., Schildhauer, T., Schipfer, F. 31st European Biomass Conference and Exhibition. 2023. DOI: 10.5071/31stEUBCE2023-2DO.2.4.
https://task44.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/12/2023/06/Defining-the-value-of-bioenergy-system-services-for-accelerating-the-integration-of-bioenergy-into-a-low-carbon-economy_EUBCE-2023.pdf

Synopsis: Die angestrebte Umstellung der globalen Energiesysteme auf Netto-Null-Emissionen bis Mitte des Jahrhunderts bedeutet, dass sich die Rolle der Bioenergie ändern wird. Das Potenzial der Bioenergie, auf flexible Weise zum Energiesystem beizutragen, ist der Schlüssel für die Erfüllung der globalen Emissionsreduktionsziele und das Funktionieren des kohlenstoffarmen Energiesystems und der Wirtschaft. Da die nachhaltig verfügbaren Biomasseressourcen mengenmäßig begrenzt sind, wird es sehr wichtig sein, ein Gleichgewicht - und idealerweise Synergien - zwischen den verschiedenen möglichen Energie- und Klimasystemdienstleistungen zu finden. Der vorläufige Valorisierungsrahmen, der von IEA Bioenergy TCP Task 44 Flexible Bioenergy and System Integration entwickelt wurde, enthält Überlegungen zu Systemdienstleistungen, Wechselwirkungen und Synergien zwischen den Dienstleistungen sowie Key Performance Indicators (KPIs) zur Bewertung des Wertes von Systemdienstleistungen.

6.5.4 Status of and expectations for flexible bioenergy to support resource efficiency and to accelerate the energy transition.

In einem frei zugänglichen (open-access) wissenschaftlichen Review wurden die Ergebnisse aus dem ersten Triennium 2019-2021 zusammengefasst.

Status of and expectations for flexible bioenergy to support resource efficiency and to accelerate the energy transition. Schipfer, F., Mäki, E., Schmieder, U., Lange, N., Schildhauer, T., Hennig, C., Thrän, D. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022(158): 112094.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112094>

<https://task44.ieabioenergy.com/publications/status-of-and-expectations-for-flexible-bioenergy-to-support-resource-efficiency-and-to-accelerate-the-energy-transition/>

Synopsis: In diesem Jahrzehnt ist eine bemerkenswerte Expansion von Photovoltaik (PV) und Windkraft zu erwarten, wobei die intermittierende Natur dieser erneuerbaren Energien Herausforderungen bei der Abstimmung von Energieangebot und -nachfrage mit sich bringt. Studien zur Lösung dieses Problems vernachlässigen häufig das Flexibilitätspotenzial moderner und nachhaltiger Bioenergie, obwohl diese heute eine führende erneuerbare Energiequelle darstellt. In einer Untersuchung zur Bioenergie-Flexibilität, basierend auf aktuellen Umfragedaten aus dem IEA Bioenergy TCP, werden der technologische Status und die Erwartungen von Stakeholdern in elf Ländern analysiert. Es werden kommerziell verfügbare Bioenergiotechnologien vorgestellt, die Flexibilitätsdienste bieten können. Es zeigt sich, dass nachhaltige Biomasse unter verschiedenen Betriebsbedingungen zur Energiesicherheit beitragen kann, jedoch die praktische Umsetzung oft als Nischeninnovation angesehen wird, da es an „Landschaftsdruck“ mangelt und wirtschaftliche Gewinne schwer umsetzbar sind. Angesichts der Vielzahl an Flexibilitätsdiensten müssen Märkte und Rahmenbedingungen so gestaltet werden, dass sie die Qualitäten und Einschränkungen der verschiedenen Dienstleistungen widerspiegeln. Daher wird eine heterodoxe energiewirtschaftliche Debatte gefordert, um fundamentale Fragen zur Effektivität von Marktdesigns zu klären.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

7.1 Schlussfolgerungen

Zusammenfassung Kernaussagen

- **Zunehmende Komplexität und Volatilität** des Energiesystems sowie auch geopolitische Veränderungen **erfordern flexible Technologien** zur Kompensation von Volatilitäten und Steigerung der Resilienz – **Biomassebasierte Technologien** haben dahingehend **ob ihrer Steuerbarkeit** eine Sonderstellung und das **Potential** einen essenziellen Beitrag zu leisten.
- Flexibilitätsbereitstellung lag bisher nur in Ausnahmefällen (in moderatem Rahmen zur Wärmebereitstellung) im Fokus der Biomassenutzungsstrategien, weshalb noch **relevante Forschungs- und Entwicklungsarbeiten** im Bereich der (i) **Flexibilitätsbewertung**, (ii) deren Berücksichtigung in der **Energiesystemmodellierung** und (iii) der **technologischen Weiterentwicklung** insbesondere im Bereich deren **Regelung und Automatisierung** erforderlich sind.
- **Anreize und gesetzliche Rahmenbedingungen** (von Forschungsförderung über Investitions- und Betriebsförderungen bis zu Normen) müssen so weiterentwickelt werden, dass sie einen Transfer der Biomassenutzung hin zur Flexibilitätsbereitstellung bewirken (neben anderen wichtigen Nutzungspfaden wie stoffliche Nutzung oder Bereitstellung von Hochtemperaturwärme).

Hauptteil

- Der **Anteil volatiler erneuerbarer Energie**, wie beispielsweise PV, Solarthermie oder Windkraft, **nimmt** in den meisten Ländern **zu**, was in den letzten Jahren noch zusätzlich durch die zunehmend unsicherere geopolitische Situation und die damit einhergehenden **verstärkten Bemühungen um Energieautonomie** beschleunigt wurde. Erste Länder erreichten bereits den Punkt, an dem volatile, erneuerbare Energie zu manchen Zeiten den gesamten Bedarf abdeckt (vergleiche Abbildung 7). Dies **verändert die Struktur und den Betrieb des gesamten Energiesystems**, angefangen vom Stromsektor über den Wärmesektor bis hin zum Transportsektor.

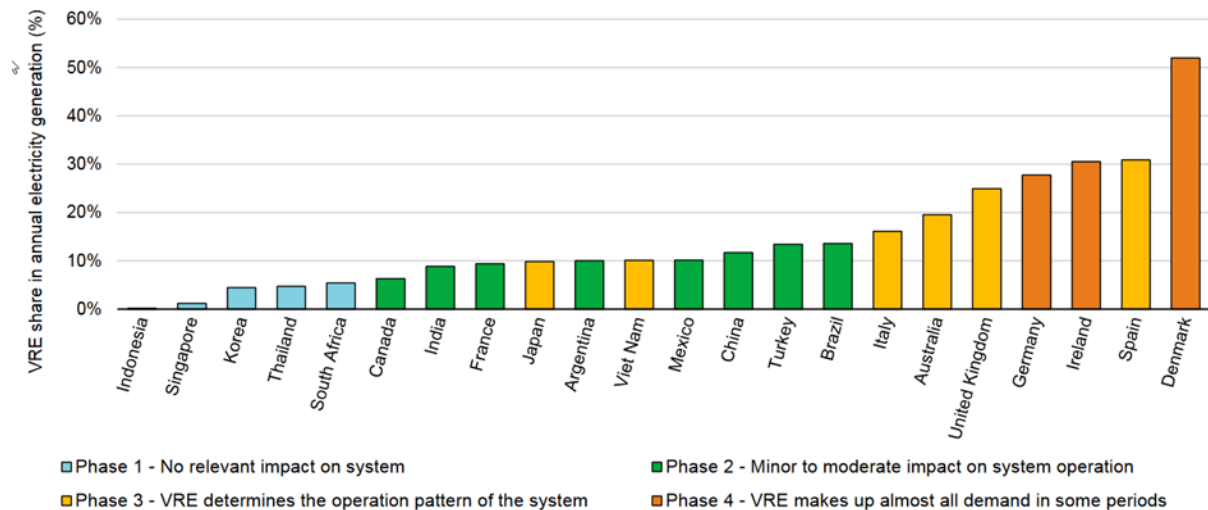


Abbildung 7: Anteil erneuerbarer Stromerzeugung nach Ländern (Managing Seasonal and Interannual Variability of Renewables, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/managing-seasonal-and-interannual-variability-of-renewables>, Licence: CC BY 4.0)

- Eine **nachhaltige Energieversorgung kann nur durch ein flexibles, sektorübergreifendes Energiesystem erreicht werden**, das die spezifischen Vorteile der verschiedenen erneuerbaren Technologien nutzt. Die Bioenergie kann dabei durch ihre Steuerbarkeit und weitere Flexibilitätseigenschaften eine ganz besondere Rolle einnehmen. Die somit erforderliche Flexibilität kann aus verschiedenen Blickwinkeln (z. B. aus der System-, Technologie- oder Anlagenebene) definiert werden und mehrere Dimensionen der Flexibilität (z.B. zeitliche und räumliche Flexibilität, Rohstoffflexibilität, Betriebsflexibilität, Produktflexibilität) umfassen. Abbildung 3 in Abschnitt 5.2 fasst die **große Variationsbreite flexibler Technologien zur Nutzung biogener Roh- und Reststoffe** mit unterschiedlichen technologischen Reifegraden zusammen.
- **Österreich** zählt sowohl in der Wissenschaft als auch seitens der Technologieanbieter zu den führenden Nationen im Bereich der Nutzung von biogenen Roh- und Reststoffen. Um dies auch nach dem bevorstehenden Wandel der Nutzungspfade noch zu sein, ist es aber wichtig, dies sowohl durch entsprechende Forschungs- und Entwicklungsförderung als auch durch gesetzliche Rahmenbedingungen für den Einsatz dieser Technologien am Heimatmarkt (Österreich als großes Reallabor für die heimische Wissenschaft und Wirtschaft) zu unterstützen.
- **Größte Herausforderungen**, an denen seit Bestehen in TASK 44 und weit darüber hinaus gearbeitet wird, die aber noch lange nicht hinreichend gelöst sind:
 - In einem ersten Schritt braucht es entsprechende Kriterien zur **Bewertung** von Flexibilitätseigenschaften, aus denen in einem weiteren Schritt auch geeignete **Marktmodelle und gesetzliche Rahmenbedingungen** abgeleitet werden.
 - In weiterer Folge muss das Thema Flexibilität und deren Bewertung geeigneten in die **Energiesystemmodellierung** integriert werden.

- Viele der möglichen Nutzungspfade erzeugen oder benötigen auch relevante Teile an Wärme, weshalb die **Positionierung und wärmetechnische Anbindung** an Wärmenetze von besonderer Bedeutung **für das Erreichen hoher Gesamteffizienzen** sein wird.
- Die Flexibilitätsbereitstellung lag bisher nur in Ausnahmefällen (in moderatem Rahmen zur Wärmebereitstellung) im Fokus der Biomassenutzungsstrategien, weshalb bei deren Entwicklung und Konzeption kein Augenmerk auf Flexibilität gelegt wurde und insbesondere deren Regelungsstrategien nicht für einen flexiblen Betrieb ausgelegt sind. **Es müssen daher für einen flexiblen Betrieb maßgeschneiderte Technologien samt fortschrittlichen Regelungsstrategien entwickelt werden**, die in der Lage sind, stark schwankende Betriebsbedingungen (Brennstoffschwankungen, Lastmodulation usw.) automatisch zu bewältigen. Um dies zu erreichen, muss nicht nur die Regelung der eigentlichen Biomasse-Umwandlungstechnologien berücksichtigt werden, sondern auch die übergeordnete Einsatzsteuerung der entstehenden Multi-Energie- und Ressourcen-Systeme, d.h. die Planung der verschiedenen steuerbaren Produktionseinheiten und steuerbaren Verbraucher sowie die Verwaltung der vorherrschenden Speicher.
- **Anreizsysteme, Förderbedingungen und gesetzliche Rahmenbedingungen** (von Forschungsförderung über Investitions- und Betriebsförderungen bis zu Normen) sollen sich vor allem darauf konzentrieren, eine schrittweise **Veränderung der Nutzung von biogenen Roh- und Reststoffen** hin zu Flexibilitätsbereitstellung (neben anderen wichtigen Nutzungspfaden wie stoffliche Nutzung oder Bereitstellung von Hochtemperaturwärme) herbeizuführen. D.h. sie müssen so gestaltet sein, dass es eine **betriebswirtschaftliche Konsequenz für Betreiber** ist, **in flexible Technologien zu investieren und diese flexibel und nicht als Grundlasttechnologie zu betreiben**. So soll zum Beispiel der betriebswirtschaftlich sinnvollste Betrieb von Biomasse-KWK-Anlagen nicht die Nennlast (maximale Stromeinspeisung) sondern der modulierende Betrieb (flexible, systemdienliche Stromerzeugung) sein, wobei unbedingt auch sichergestellt sein muss, dass die Wärme bestmöglich genutzt wird und nicht wie jetzt in Folge der Maximierung der Stromproduktion zum Teil über Dachkühler vernichtet wird. Die Rahmenbedingungen müssen unbedingt so ausgestaltet sein, dass sie entsprechende **Planungssicherheit für Investoren und Betreiber** über hinreichend lange Zeiträume gewährleisten.
- Die wenigen **bisherigen Maßnahmen in anderen Ländern** zur Flexibilitätsbereitstellung durch biogene Roh- und Reststoffe sind meist auf die **flexible Strombereitstellung** aus Biogas oder Biomethan beschränkt. Besonders hervorzuheben sind vor allem die **negativen Auswirkungen der Rücknahme von Besteuerungen fossiler Technologien in Schweden und Dänemark**. Aus Sicht der Autor:innen haben nämlich genau diese hohe Besteuerung fossiler Energieträger und damit indirekt der Flexibilität, die damit technologisch deutlich einfacher bereitgestellt werden kann, zur Vorreiterrolle dieser Länder geführt. Die entsprechenden Berichte innerhalb der IEA untermauern auch deutlich die negative Auswirkung auf den weiteren Ausbau erneuerbarer, flexibler Technologien und hybrider Systeme, der in vielen Bereiche nahezu zum Stillstand gekommen ist.

7.2 Weiterführende Aktivitäten

IEA Bioenergy Task 44 hat das Ziel, verschiedene Sektoren intelligent zu verknüpfen und die Systemintegration für eine nachhaltige Energiezukunft zu fördern. Im Zeitraum 2022-2024 lag der Fokus auf der Flexibilisierung des Energiesystems durch Bioenergie. In der nächsten Arbeitsperiode 2025-2027 wird die Forschung auf die Erweiterung systemischer Ansätze über den Energiesektor hinaus ausgerichtet. Ein Schwerpunkt wird auf der Verbesserung des Verständnisses von Speicher- und Infrastrukturanforderungen sowie Bewertungstechniken für die Mehrsektorenkopplung und Systemintegration gelegt. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Entwicklung von Systemarchitekturen für die Kreislaufwirtschaft und Kreislaufbioökonomie, die Resilienz und Zuverlässigkeit nachhaltiger Transformationspfade fördern. Langfristig, nach 2045, soll die Rolle nachhaltiger chemischer Energieträger wie Bioenergie und Wasserstoff in einer zunehmend elektrifizierten Welt gestärkt werden. Weiterhin werden in verschiedenen Arbeitspaketen Konzepte zur Flexibilität von Bioenergieversorgungsketten entwickelt, Integrationsansätze erarbeitet und politische sowie marktbezogene Empfehlungen formuliert. Aus Österreichischer Sicht neben der Weiterführung der Schwerpunkte auf die Flexibilitätsbewertung und die Energiesystemmodellierung insbesondere der neue Fokus auf die Anbindung an den Wärmesektor sowie die Regelungs- und Automatisierungstechnik relevant.

7.3 Empfehlungen für die österreichische FTI-Politik

Forschungs- und Entwicklungsförderung zu

- **Flexibilitätsbewertung** und darauf basierender Entwicklung geeigneter Marktmodelle und Ableitung für einen Transfer der Biomassenutzung erforderlichen gesetzlichen Rahmenbedingungen (insbesondere zur Gegenüberstellung von den bisherigen Förderorientierten Maßnahmen und den international in der Vergangenheit durchaus erfolgreichen erhöhten Besteuerung fossiler Energie wie beispielsweise in Dänemark oder Schweden)
- Erweiterung der Methoden der **Energiesystemmodellierung** hin zu einer dynamischen Modellierung flexibler Systeme
- Entwicklung von **für Flexibilität maßgeschneiderten Technologien und insbesondere von entsprechenden Regelungsstrategien sowohl auf technologischer Ebene als auch für die übergeordnete Einsatzsteuerung der entstehenden Multi-Energie- und Ressourcen-Systeme**

Anreize, Gesetzliche Rahmenbedingungen, Normen

- Investitions- und Betriebsförderungen UND/ODER gezielte Besteuerung fossiler Technologien zur Beschleunigung des Transfers hin zur Flexibilitätsbereitstellung
 - Entsprechende gesetzliche Rahmenbedingungen am Heimmarkt können hier ein Treiber für entsprechende technologische Entwicklungen seitens der österreichischen Technologieanbieter sein, wodurch sich die internationale Wettbewerbsfähigkeit durch einen entsprechenden Technologievorsprung erhöhen würde, denn

die Flexibilitätsbereitstellung durch biogene Roh- und Reststoffe in zukünftigen, nachhaltigen Energie- und Ressourcensystemen ist unausweichlich.

- Beschleunigte Nachführung von Normen, die Innovationen, dem Stand des Wissens, den generellen technischen Möglichkeiten meist mit sehr großen Zeitverzögerungen hinterherhinken.
- Die Planungssicherheit für Investoren und Betreiber ist unerlässlich, und nur mit entsprechender betriebswirtschaftlicher Sicherheit werden die Entwicklungen und Investitionen in ausreichend schneller Geschwindigkeit erfolgen.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Flexible Bioenergie – Technische Optionen.....	19
Tabelle 2: Flexibilisierung in der Bioenergiepolitik – Zusammenfassung	27
Tabelle 3: Flexibilisierung in der Bioenergiepolitik – Aktueller Status.....	30
Tabelle 4: Flexibilisierung in der Bioenergiepolitik – Ausblick	31
Tabelle 5: Der Wert flexibler Bioenergie.....	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sammlung der internationalen Best-Practice-Beispiele	18
Abbildung 2: Foto des DFB-Gaserzeugers mit doppelter Wirbelschicht (DFB). Die nachgeschaltete Synthese befindet sich in den grünen Hallen im Hintergrund. © BEST, 2021	19
Abbildung 3: Das Netzwerk flexibler Technologien für die flexible Energieumwandlung von Biomasse.	20
Abbildung 4: Programm der 7. Mitteleuropäischen Biomassekonferenz 2023: IEA-Cross-TCP-Workshop am 18.01.2023. Quelle: https://eventmaker.at/uploads/29125/downloads/cebc2023_programm_180123_de_kleiner.pdf	23
Abbildung 5: Referenten von links nach rechts: Matthias Kuba (BEST, Österreich), Ingo Leusbrock (AEE INTEC, Österreich), Teresa Schubert (Wien Energie, Österreich), Maria Lechner (INNIO Jenbacher, Österreich), Elina Mäki (VTT, Finnland), Markus Gölles (BEST, Österreich), Dietrich Schmidt (Fraunhofer IEE, Deutschland), Viktor Unterberger (BEST, Österreich).....	24
Abbildung 6: Mentimeter-Umfrage im Rahmen des IEA-Cross-TCP-Workshops.....	26
Abbildung 7: Anteil erneuerbarer Stromerzeugung nach Ländern (Managing Seasonal and Interannual Variability of Renewables, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/managing-seasonal-and-interannual-variability-of-renewables , Licence: CC BY 4.0)	40

