

IEA Energiespeicher (ES) Task 35: Flexible Sektorkopplung durch Implementierung von Energiespeicher

W. van Helden, G. Totschnig, F. Ochs

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

10/2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

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

Autorinnen und Autoren: Wim van Helden, AEE INTEC; Gerhard Totschnigg, AIT; Fabian Ochs, Universität Innsbruck

Wien, 2025

IEA Energiespeicher (ES) Task 35: Flexible Sektorkopplung durch Implementierung von Energiespeicher

Wim van Helden
AEE INTEC

Gerhard Totschnigg
AIT

Fabian Ochs
Universität Innsbruck

Wien, Jänner 2025

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchs-technologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM
Leiter der Abt. Energie und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhalt

1 Kurzfassung	7
2 Abstract	10
3 Ausgangslage	12
4 Projektinhalt	15
4.1 Ziele	15
4.2 Struktur und Methode	15
4.2.1 Subtask 1: Flexible Sektorkopplung (FSC) - Konzeptentwicklung	16
4.2.2 Subtask 2: Konfigurationsbezogene Speichertechnologiespezifikationen	18
4.2.3 Subtask 3: Aufbau und Betrieb eines lokalen Energiesystems	18
4.2.4 Subtask 4: Nationale Energiesystemanalyse des FSC-Potenzials	19
4.3. Teilnehmer	19
5 Ergebnisse	20
5.1 Flexible Sektorkopplung (FSC) Konzeptentwicklung.....	20
5.2 Konfigurationsbezogene Speichertechnologiespezifikationen.....	22
5.3 Aufbau und Betrieb eines lokalen Energiesystems.....	24
5.4 Nationale Energiesystemanalyse des FSC-Potenzials	27
5.5 Übersicht der Publikation aus dem Task/Annex.....	28
6 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	30

1 Kurzfassung

Die Haupteinspeisung in das künftige Stromnetz wird erneuerbarer Strom aus Wind und Photovoltaik sein. Das Erreichen höherer Anteile fluktuierender erneuerbarer Energien im Stromnetz kann eine Reihe von Problemen verursachen. Eine Option zur Bewältigung dieser Herausforderungen ist die Verteilung von Strom aus erneuerbaren Energien auf die Sektoren Heizung/Kühlung und Mobilität.

Aus Sicht des Verbrauchs muss die zukünftige Energieversorgung die benötigte Energieform bereitstellen. Das Energiesystem muss auf der Grundlage des tatsächlichen Bedarfs konzipiert werden. In den Industrieländern sind der Wärme- und der Mobilitätssektor für etwa 75 % des Endenergiebedarfs verantwortlich. Die Verteilung von Strom aus erneuerbaren Energien auf die Sektoren Heizung/Kühlung und Mobilität erhöht daher den Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Energiesystem.

Task 35 des IEA Energy Storage TCP bearbeitete Flexible Sektorkopplung (FSC) durch Implementierung von Energiespeichern und untersuchte die Rolle von Energiespeichern im Zusammenhang mit dem Konzept der Sektorkopplung. Als Sektoren gelten die Bedarfssektoren Elektrizität, Heizung/Kühlung und Mobilität.

Durch die Integration verschiedener Energiespeichertechnologien ist es möglich, einen Nachfragesektor bei Bedarf mit zuvor gespeicherter erneuerbarer Energie zu versorgen. Dadurch erhöht die Energiespeicherung die Flexibilität des gesamten Energiesystems. Mögliche Energiespeichertechnologien sind thermische, chemische und elektrische Energiespeicher.

Nach der Task 35 FSC-Definition sind fünf Pfade möglich, die von erneuerbarem Strom über die drei Arten von Energiespeichern zu den beiden Verbrauchssektoren Wärme und Mobilität führen. Die Pfade umfassen bekannte Konzepte wie Power-to-Heat, Power-to-Gas, Power-to-Fuel und E-Mobilität, siehe die nächste Abbildung.

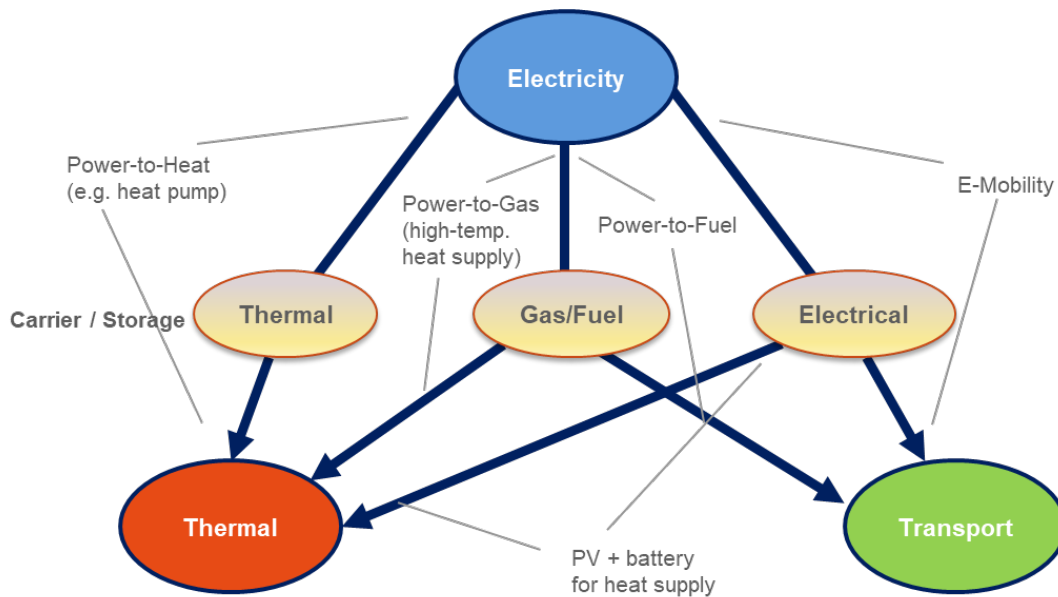


Abbildung 1: Diagramm mit den drei Sektoren und den fünf Umstetzungspfade.

In Task 35 entwickelte eine Gruppe internationaler Experten und Expertinnen für Energiespeicher und Energiesysteme das Konzept für Sektorkopplung (FSC), sammelte FSC-Anwendungsbeispiele, untersuchte die Vorteile von FSC für multi-Energiesysteme auf lokaler Ebene und führte eine nationale Energiesystemanalyse zum Einfluss von FSC für Deutschland im Jahr 2050 als Referenzfall durch.

Die Konzeptentwicklung wird durch die Formulierung wichtiger Empfehlungen für politische Entscheidungstragende ergänzt. Es wird eine stabile und integrierte Politik gefordert, um die Kopplung des Energiesektors zu unterstützen, einschließlich Energiespeicheroptionen, die Flexibilität bieten. Unter anderem werden die Abschaffung von Mehrfach-Energiesteuern über die FSC-Wertschöpfungsketten hinweg und Anreize für die Minimierung der Kürzung von VRE gefordert.

In fünfzehn Beispielen für FSC wird die Bandbreite von Energiespeichertechnologien herausgestrichen – nicht nur Batterien, sondern auch vergleichsweise günstige Alternativen wie Heißwasserspeicher, unterirdische thermische Energiespeicherung, fortschrittliche Konzepte der Wärme- und Kältespeicherung sowie Wasserstoffspeicherung und jede Form von synthetischen Kraftstoffen auf der Grundlage von Wasserstoff für den Mobilitätssektor. Etwa 40 % der gesammelten FSC-Anwendungsbeispiele sind industriell erprobt und auf dem Markt verfügbar - der gleiche Anteil wird in den nächsten fünf Jahren auf den Markt kommen. Verbleibende Hindernisse für die Marktintegration sind Herausforderungen bei der Systemintegration, einschließlich der Integration der Steuerung und der Schnittstellennormung, regulatorische Hindernisse, nicht flexible Stromtarife und Fragen der Hochskalierung/Technik.

Durchgeführte Studien zu lokalen Energiesystemen zeigen im Detail, wie wichtig FSC, hauptsächlich der Power-to-Heat- oder Power-to-Cold-Pfad, für die Integration von erneuerbarem Strom ist. In allen Studien verbessert die Implementierung von thermischen Speicherkapazitäten die Leistung des Energiesystems und seine wirtschaftliche Machbarkeit. Es wurde nachgewiesen, dass FSC

eine bessere Nutzung der installierten PV-/Windkraftanlagen ermöglicht und dadurch die Beschneidung der Stromerzeugung reduziert.

Um ein dekarbonisiertes deutsches Energiesystem im Jahr 2050 zu modellieren, wurde ein Referenz-Energiesystem basierend auf dem Projekt Heat Roadmap Europe¹ in der Software EnergyPLAN implementiert. Mit einer Szenarioanalyse wurde der Einfluss der installierten Energiespeicherkapazität in fünf verschiedenen Anwendungen (Fernwärme, Fernkälte, individuelle Heizung, Wasserstoff und Elektrofahrzeuge) auf das nationale Energiesystem untersucht. In vielen Fällen würde eine Verdoppelung der Energiespeicherkapazität im Vergleich zum Referenzsystem sowohl zu einer Reduzierung des Primärenergieverbrauchs als auch zu einer Senkung der Gesamtsystemkosten führen. Weitere anwendungsspezifische Vorteile verdeutlichen den Wert von FSC für das Energiesystem.

¹ <https://heatroadmap.eu/>

2 Abstract

The main input to the future power grid will be renewable electricity by wind and PV. Reaching higher shares of fluctuating renewables in the power grid may cause a variety of problems. One option to tackle these challenges, is to distribute renewable electricity to the heating/cooling and the mobility sectors.

From the consumer's perspective, future energy supply must provide the energy form needed. The energy system must be designed based on the actual demand. In developed countries, the thermal and the mobility sector are responsible for about 75% of the final energy demand. Thus, distributing renewable electricity to the heating/cooling and the mobility sectors increases the share of renewable energy in the overall energy system.

Task 35 of the IEA Energy Storage TCP worked on Flexible Sector Coupling (FSC) with energy storage and examined the role of energy storage in the FSC concept. Sectors are defined as the demand sectors electricity, heating/cooling, and mobility.

With the integration of different energy storage technologies, it is possible to supply a demand sector with previously stored renewable energy on demand. Thereby, energy storage adds flexibility to the overall energy system. Possible energy storage technologies are thermal, chemical, and electrical energy storage.

According to the Task 35 FSC definition, five pathways starting from renewable electricity via the three types of energy storage to the two consumption sectors thermal and mobility are possible. Pathways include well-known concepts like Power-to-Heat, Power-to-Gas, Power-to-Fuel, and E-Mobility.

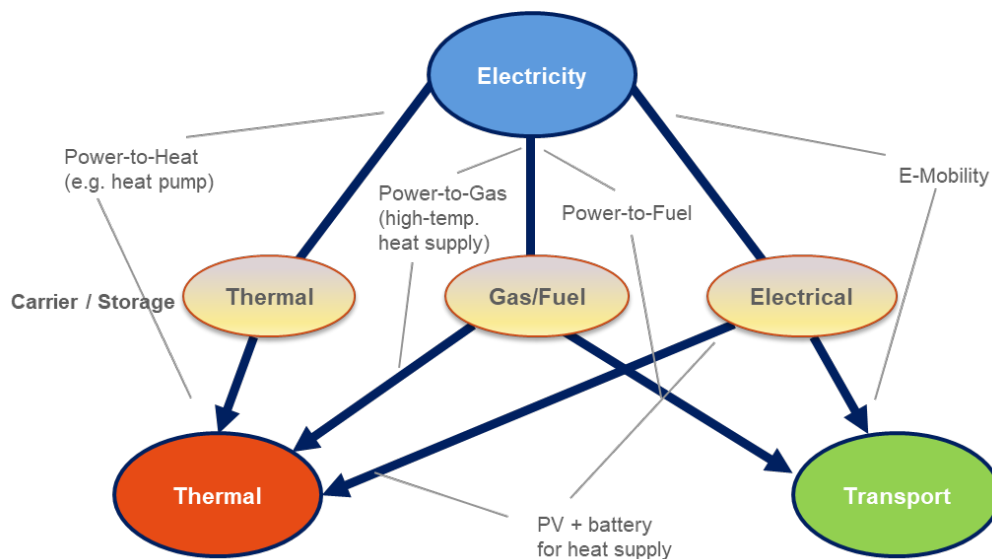


Abbildung 2: The three sectors and the five connecting paths, according to the Task 35 FSC definition. Source: Task 35

In Task 35, a group of international energy storage and energy system experts developed the concept of FSC, collected FSC application examples, studied the benefits of FSC for multi-energy systems on a local level, and conducted a national scale energy system analysis on the influence of FSC for Germany in 2050, as a reference case.

The FSC concept development was complemented by formulating key recommendations for policy makers. It is called for a stable and integrated policy to support energy sector coupling, including energy storage options that provide flexibility. Among others, removing multiple energy taxes across FSC value chains and incentivizing the minimization of curtailment of VRE are called for.

Fifteen collected FSC examples underline the available multitude of energy storage technologies – not only batteries, but also comparably affordable alternatives like hot water storage, underground thermal energy storage, advanced concepts of storing heating and cold, as well as hydrogen storage and any form of synthetic fuels derived from hydrogen for the mobility sector. About 40% of the collected FSC application examples are industrially proven and market available – the same fraction will come to the market in the next five years. Remaining barriers for market integration are challenges in the system integration, including control integration and interface standardisation, regulatory barriers, non-flexible electricity tariffs, and upscaling/engineering issues.

Performed studies on local energy systems show in detail how important FSC, mainly the power-to-heat or power-to-cold pathway, is for the integration of renewable electricity. In all studies, the implementation of mostly thermal storage capacity improves the energy system performance and its economic feasibility. It was demonstrated that FSC allows a better use of installed PV/wind assets, thereby reducing curtailment.

To model a decarbonized German energy system in 2050, a reference energy system based on the *Heat Roadmap Europe*² project was implemented in the software *EnergyPLAN*. With a scenario analysis, the influence of installed energy storage capacity in five different applications (district heating, district cooling, individual heating, hydrogen, and electric vehicles) on the national energy system was investigated. In many cases, doubling the energy storage capacity compared to the reference system would lead to both a reduction in primary energy consumption and a reduction in the overall system costs. Further application-specific advantages illustrate the value of FSC for the energy system.

² <https://heatroadmap.eu/>

3 Ausgangslage

Um das Ziel des Pariser Abkommen der COP21, nämlich die Erderwärmung auf deutlich unter 2°C zu begrenzen, erreichen zu können muss der Anteil an erneuerbar produzierter Energie drastisch erhöht werden. Das bedeutet, dass ein Großteil der erneuerbaren Energien im Stromnetz aus Windkraft und PV kommen wird, welche unsere Netze mit erneuerbarem Strom versorgen. Die höheren Anteile schwankender erneuerbarer Energien in den Netzen können eine Vielzahl von Problemen verursachen.

Durch den Einsatz von Energiespeichertechnologien wie thermische, chemische oder elektrische Speicherung kann erneuerbarer Strom bei Bedarf im Wärme- und Mobilitätsbereich bereitgestellt werden. Dies kann die lokalen Verteilnetze entlasten und den nutzbaren Anteil der erneuerbaren Energien insgesamt erhöhen.

Darüber hinaus sind Speichertechnologien auf der thermischen Seite in den meisten Fällen günstiger als Stromspeicher. Um die Verfügbarkeit von Wind und PV vom Mobilitätsbedarf zu entkoppeln, stehen synthetische Kraftstoffe für eine effiziente Speicherlösung zur Kopplung von Strom und Mobilitätssektor.

Die Vorteile der "Flexiblen Sektorkopplung durch Implementierung von Energiespeicher" sind:

- der Anteil an erneuerbaren Energien im Wärme- und Mobilitätssektor wird erhöht
- allen Sektoren wird Flexibilität geboten ("Renewables on Demand")

Durch den steigenden Anteil an erneuerbar erzeugter Energie aus Wind und PV kommt es zu einer stärkeren Fluktuation bei der Stromerzeugung. Diese schlägt sich auf die nationalen Strompreise aber auch auf die Netzstabilität nieder. Speichertechnologien können dabei helfen ein stabiles Netz zu garantieren und den erneuerbar erzeugten Strom flexibel zu nutzen.

Die Idee der Sektorenkopplung durch Speicher und somit die Flexibilisierung des Strommarktes hat in den letzten 2-3 Jahren stark an Interesse gewonnen. Dies vor allem auch durch den rasanten Anstieg vom Stromanteil aus PV und Wind und die daraus resultierende Fluktuationen im Stromnetz. Diese Belastungen und Engpässe sind nicht nur nationale, sondern internationale Herausforderungen, die nach gesamtheitlichen Lösungen verlangen. Die Plattform des IEA bietet daher den idealen Austausch von Know-How von Forschungsinstituten, Strommarktakteuren, sowie Herstellern von Speichertechnologien aus verschiedenen Nationalitäten.

PEAK SHAVING

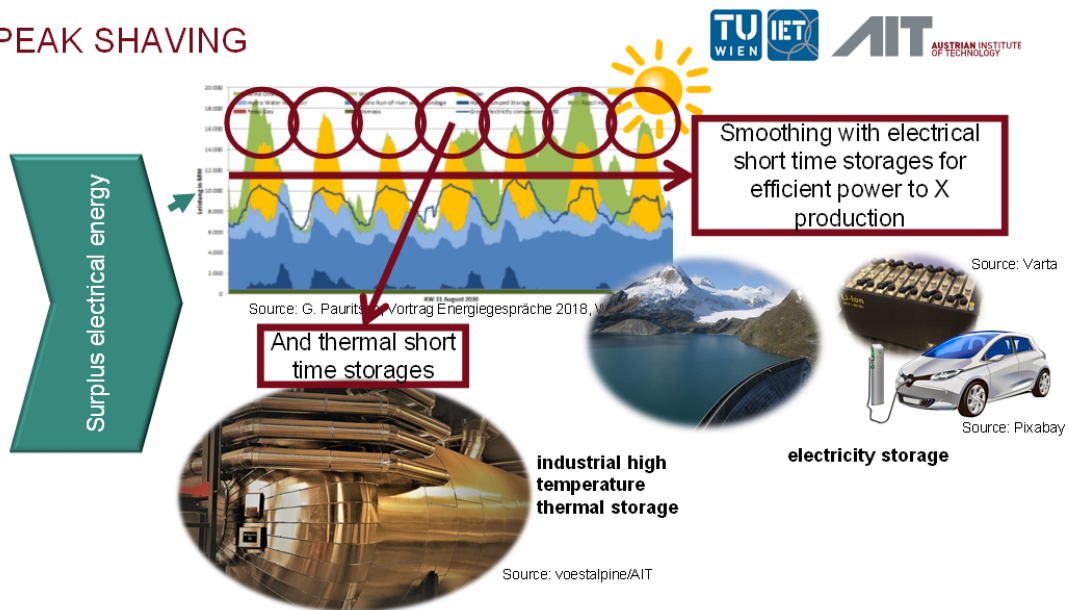


Abbildung 3: Überschussstrom mittels Speichertechnologien nutzbar machen³

Gleichzeitig wurde in den letzten Jahren auf nationaler Ebene vielseitiges Know-How im Bereich Speichertechnologien für den Wärme- sowie Mobilitätssektor in Österreich aufgebaut.

Auf dem Gebiet der Wärmespeicher, die auch netzdienlich eingesetzt werden können, wurde eine Serie von Projekten, sowohl national als auch europäisch gefördert, durchgeführt:

- Im EU-geförderten Projekt CREATE⁴ wurde ein kompakter Salzhydratspeicher für Warmwasser und Heizung von Gebäuden entwickelt und demonstriert
- Auf einer größeren Skala wurden im nationalen giga_TES⁵ Projekt Konzepte von Großwasserspeichern (bis zu 2 Mio m³) für Fernwärme in Österreich entwickelt und simuliert
- In das ebenfalls national geförderte Projekt HyStEPs⁶ wurde ein hybrider Dampfspeicher bestehend aus PCM-Teil und Dampftrommelteil entwickelt
- Im national geförderten Projekt StoreITup-IF⁷ wurden mehrere Latentwärmespeicher und deren industrielle Integration entwickelt.

Auf dem Gebiet von Integration und Flexibilisierung von Wärmenetzen wurde eine Serie von Projekten durchgeführt.

³ G. Drexler-Schmid, Präsentation im Rahmen des EERA JP Energy Storage

⁴ www.create-project.eu

⁵ gigaTES.at

⁶ www.nefi.at

⁷ www.ait.ac.at/themen/sustainable-thermal-energy-systems/projects/storeitup-if/

- In fit4power2heat⁸ (national gefördert) wurde eine Sondierung zur Realisierung des Wärmepumpenpooling für städtische Wärmenetze durchgeführt;
- Eine andere Sondierung wurde gemacht im ebenfalls national gefördertem Projekt CityStore⁹, nach dem wesentlichen F&E-Bedarf zur Optimierung von städtischen Energiespeichern in integrierten Energiesystemen;
- Das nationale Flex+¹⁰ Projekt studierte den großflächigen Einsatz von Prosumer-Flexibilität an kurzfristigen Strommärkten unter Berücksichtigung von Prosumer-Interessen;
- Das nationale Projekt store4grid¹¹ betraf die Entwicklung von optimierten Erdbecken-Wärmespeicher für Wärmenetze;
- Im EU geförderten Projekt REACT¹² wurden technische Lösungen zur Nutzung des EE-Potenzials und zur Umsetzung von Speicheranlagen auf geografischen Inseln entwickelt und demonstriert;
- Die Entwicklung und Demonstration der Richtlinie für Integration dem Energiespeicher in lokale Energiesysteme war Ziel des EU geförderten Projekt SMILES¹³;
- Das national geförderte Vorzeigeregionprojekt ThermaFlex¹⁴ hat komplexe technische Systemlösungen und methodische Grundlagen für die Simulation, Konzeption, Planung und Langzeitbewertung, Anwendbarkeit und Machbarkeit einer innovativen und nachhaltigen Wärme- und Kälteversorgung auf Basis von kalter Fernwärme, Wärmepumpe und Speichern entwickelt.

⁸ <https://projekte.ffg.at/projekt/2808472>

⁹ <https://projekte.ffg.at/projekt/3307433>

¹⁰ <https://www.flexplus.at/>

¹¹ <http://www.aee-now.at/cms/fileadmin/downloads/projekte/store4grid/Store4Grid%20publizierbarer%20Endbericht%20final.pdf>

¹² <https://cordis.europa.eu/project/rcn/218611/factsheet/en>

¹³ <https://www.ecria-smiles.eu/>

¹⁴ <https://www.greenenergylab.at/projekt/thermaflex/>

4 Projektinhalt

4.1 Ziele

Der Task 35 befasste sich mit der Umsetzung von Energiespeicherung und deren Auswirkung zwischen dem Strom, - Wärme-, und Mobilitätssektor.

Der Task beschäftigte sich mit:

- allen Energiespeichertechnologien
- allen Anwendungen im Bereich Heizung und Kühlung (Heizung und Kühlung von Gebäuden aller Art, Warmwasser, Prozesswärme/Kälte für die Industrie)
- allen Anwendungen im Mobilitätsbereich (Pkw, Lkw, Busse...) und alle Antriebstechnologien (E-Fahrzeuge, Brennstoffzelle, Wasserstoff, ...).

Das Hauptziel des Task 35 ist es, die Möglichkeiten und Auswirkungen der Umsetzung von Energiespeicherung für Sektorkopplung zu klären. Dabei sollen folgende Unterziele erreicht werden:

- Entwicklung von Konzepten der "Flexiblen Sektorkopplung".
- Identifizierung nicht-technischer Hindernisse für die Umsetzung der Energiespeicherung für die "Flexible Sektorkopplung".
- Identifizieren von Energiespeichertechnologien für aktuelle Sektorkopplungsanwendungen und Zusammenfassung von deren Eigenschaften/Anforderungen.
- Priorisierung der vielversprechendsten Speicherkonfigurationen für Sektorkopplungsanwendungen.
- Ermittlung des Potenzials für die Implementierung von Umwandlung und Speicherung zwischen Strom und Wärme sowie zwischen Strom und Mobilität.
- Technischer und wirtschaftlicher Vergleich verschiedener Szenarien.

4.2 Struktur und Methode

Die Arbeiten im Task 35 wurden auf 4 Subtasks aufgeteilt. Unterstehende Abbildung zeigt die Struktur des Task 35 und Scope von jedem Subtask.

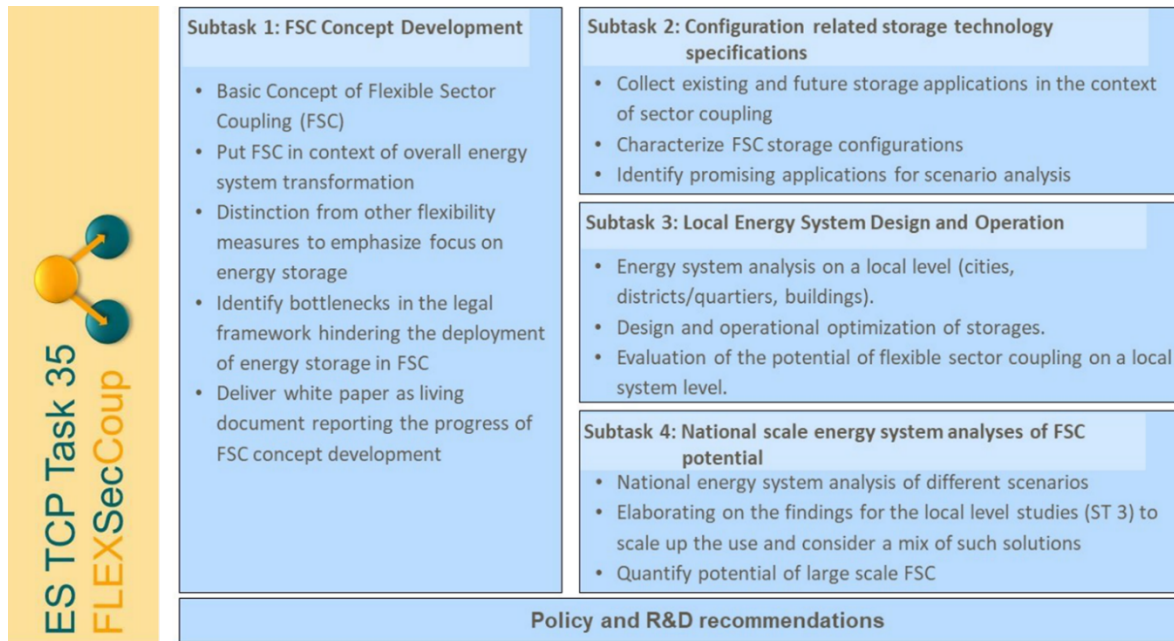


Abbildung 4: Struktur des Task 35

4.2.1 Subtask 1: Flexible Sektorkopplung (FSC) - Konzeptentwicklung

In der Phase der Aufgabendefinition dieses Tasks wurde Subtask 1, der sich mit der Entwicklung des Konzepts der flexiblen Sektorkopplung befasst, als fortlaufendes Diskussionsforum oder als lebendes Dokument definiert, da klar wurde, dass eine endgültige und ein für alle Mal gültige Konzeptdefinition nicht erreicht werden kann.

Die Kopplung von "Sektoren", wie industriellen Prozessen, landwirtschaftlichen Aktivitäten und Energiesystemen von Gebäuden, steht im Einklang mit der Abkehr von der isolierten Planung und Umsetzung von Infrastrukturen und Aktivitäten in der Gesellschaft hin zu einem integrierten Ansatz, wie er beispielsweise in der EU-Strategie für die Integration der Energiesysteme¹⁵ verfolgt wird. In dieser Strategie wird hervorgehoben, dass Europa auf einen großen Anteil an dezentraler Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien angewiesen sein wird und dass wir uns von den verschiedenen parallelen Energiewertschöpfungsketten lösen müssen, die sich entwickelt haben, um bestimmte Arten von Energieressourcen mit sehr spezifischen Endverbrauchssektoren zu verbinden. Die Strategie stützt sich auf die Kreislaufwirtschaft und abfallfreie Energiesysteme, die weitestgehende Elektrifizierung des Endverbrauchs, die Verwendung erneuerbarer Brennstoffe wie grüner Wasserstoff und ein multidirektionales System, das Prosumenten fördert. In all diesen Dimensionen kann die aktive Integration der Energiespeicherung in das Energiesystem „als Ganzes“, d. h. sektorübergreifend, kosteneffizient die erforderliche Flexibilität bieten.

¹⁵ European Commission. European Commission. (2020). EU's Strategy for Energy System Integration. [Online] 2020. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/eu-strategy-energy-system-integration_en.

Die Arbeiten in Task 35 dienen dazu, das Bewusstsein für die Sektorkopplung in Politik, Planung und Praxis zu wecken, mit besonderem Augenmerk auf die Flexibilität, die durch die Integration von Energiespeichertechnologien ermöglicht wird - das Konzept der flexiblen Sektorkopplung (FSC). FSC wird erst durch die Integration von Energiespeichertechnologien ermöglicht (Abbildung 5).

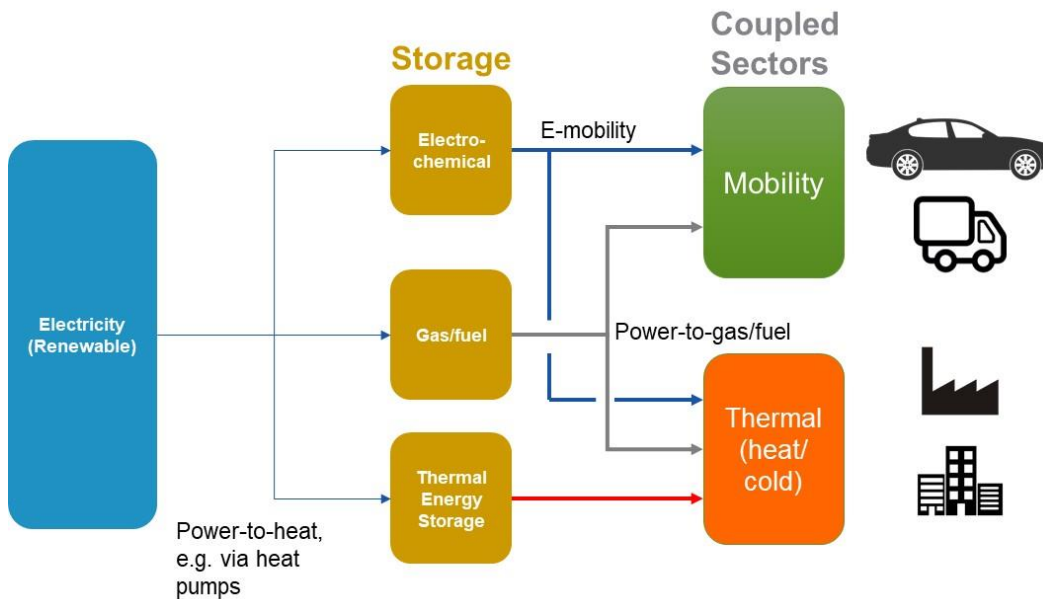


Abbildung 5: Das Konzept der flexiblen Sektorkopplung basiert auf variabler erneuerbarer Elektrizität, die an den Wärme- (Heizung und Kühlung) und Mobilitätsbedarf gekoppelt ist.

Bei einem hohen Anteil an erneuerbarer Elektrizität im Energiesystem wird ein erheblicher Teil aus variablen Quellen wie Sonne und Wind stammen, den sogenannten variablen erneuerbaren Energien (VRE). Die Herausforderungen, die mit der Erhöhung des VRE-Anteils und der Elektrifizierung unserer Energiesysteme insgesamt einhergehen, sind vielfältig. In einem Bericht an die G20-Arbeitsgruppe für die Energiewende hebt IRENA¹⁶ Folgendes hervor:

- Bei einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien ist es von grundlegender Bedeutung, Angebot und Nachfrage auszugleichen.
 - Der Ausgleich erfolgt auf vielen Zeitskalen: saisonal, täglich, stündlich und sogar innerhalb von Sekunden oder Millisekunden¹⁷.

¹⁶ IRENA. Solutions to integrate high shares of variable renewable energy. (Report to the G20 Energy Transitions Working Group). [Online] 2019. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jun/IRENA_G20_grid_integration_2019.pdf

¹⁷ *The Sector Coupling Concept: A Critical Review*. Ramsebner, J., et al. 2021, WIREs Energy and Environment, p. <https://doi.org/10.1002/wene.396>.

- Flexibilität in allen Teilen des Energiesystems ist ein Schlüssel: Flexibilität im Stromsektor, Sektorkopplung, Nachfragesteuerung - alles unter Berücksichtigung der Energiespeicherung.
- Herausforderungen, mit denen proaktiv umgegangen werden muss, sind Einschränkungen und der Bedarf an Reservestromerzeugungskapazität.
 - Bisher waren die Maßnahmen meist mit dem Stromsektor selbst verknüpft, wie z.B. die Anpassung des Netzbetriebs (Dynamic Line Rating), die Nachrüstung von Kraftwerken mit fossilen Brennstoffen für den Betrieb mit einer geringen Mindestlast und die Zusammenarbeit zwischen Netzgebieten für Reservekapazitäten.

Mit FSC ist es möglich, alle drei Probleme der Abstimmung von Angebot und Nachfrage, der Minimierung von Kürzungen und des Bedarfs an Reservekapazitäten anzugehen, und das alles mit einer großen Flexibilität, die es ermöglicht, große Anteile von VRE zu integrieren. Wir können mit dem Missverständnis aufräumen, dass VRE keine "planbare" Versorgungsoption ist. Die Versorgung wird nicht optimal in einem Silo betrachtet, sondern als Teil einer gut funktionierenden, sicheren und nachhaltigen Energiewertschöpfungskette.

4.2.2 Subtask 2: Konfigurationsbezogene Speichertechnologiespezifikationen

Ziel von Subtask 2 war es, bestehende und zukünftige Konfigurationsbeispiele für Sektorkopplung zu sammeln, um die Vielfalt der Möglichkeiten und das technische Potenzial für die Zukunft aufzuzeigen. Alle für die Sektorkopplung geeigneten Energiespeichertechnologien sollten innerhalb einer spezifischen Konfiguration technisch charakterisiert werden.

Die Fachgruppe hat im ersten Jahr von Task 35 eine erste Sammlung von FSC-Beispielen erstellt. Es wurde eine Tabelle mit den Hauptmerkmalen jedes FSC-Beispiels erstellt, und die Beispiele wurden in verschiedenen Clustern zusammengefasst, die einen bestimmten Pfad von erneuerbarem Strom über Speichertechnologie zum Mobilitäts- oder Wärmesektor darstellen. Im letzten Jahr von Task 35 wurde eine Aktualisierung der Beispiele vorgenommen, die zu einer Sammlung von 15 FSC-Konfigurationsbeispielen führte.

4.2.3 Subtask 3: Aufbau und Betrieb eines lokalen Energiesystems

Subtask 3 befasst sich mit der Integration von variablen erneuerbaren Energien in lokale Energiesysteme. Auf dieser Ebene spielt die flexible Sektorenkopplung eine wichtige Rolle. Da die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von Natur aus dezentral erfolgt, scheint eine sofortige Nutzung für den lokalen Bedarf die effizienteste Lösung zu sein. Dieser "lokale" Ansatz ist größer als die in Subtask 2 vorgestellten FSC-Systeme und immer noch kleiner als die in Subtask 4 entwickelten nationalen Szenarien.

Die in diesem Absatz vorgestellten Studien spiegeln die Komplexität von Multi-Energie-Systemen (MES) wider. Auf dieser Ebene - die Stadtteile, Städte und Bezirke umfasst - muss eine Vielzahl von

erneuerbaren Energiequellen alle Arten von Energiebedarf in allen Sektoren decken. Zwischen Angebot und Nachfrage sind Energiespeicherkapazitäten notwendig, um die erforderliche Systemflexibilität zu gewährleisten.

4.2.4 Subtask 4: Nationale Energiesystemanalyse des FSC-Potenzials

In Subtask 4 wurde eine Energiesystemanalyse auf nationaler Ebene zum Einfluss von FSC für Deutschland im Jahr 2050 durchgeführt. Um ein dekarbonisiertes deutsches Energiesystem im Jahr 2050 zu modellieren, wurde ein Referenz-Energiesystem basierend auf dem Projekt Heat Roadmap Europe in der Software EnergyPLAN implementiert. Mit einer Szenarioanalyse wurde der Einfluss der installierten Energiespeicherkapazität in fünf verschiedenen Anwendungen (Fernwärme, Fernkälte, individuelle Heizung, Wasserstoff und Elektrofahrzeuge) auf das nationale Energiesystem untersucht.

In vielen Fällen würde eine Verdoppelung der Energiespeicherkapazität im Vergleich zum Referenzsystem sowohl zu einer Verringerung des Primärenergieverbrauchs als auch zu einer Senkung der Gesamtsystemkosten führen.

4.3. Teilnehmer

Tabelle 1: Teilnehmer am Task 35

AEE Institute for Sustainable Technologies (AT)	ZAE Bayern (DE, Task Manager)
Austrian Institute of Technology (AT)	RSE Italy (IT)
University of Innsbruck (AT)	KIER (KR)
Natural Resources Canada (CA)	Nagoya University (JP)
PlanEnergi (DK)	HPTCJ (JP)
INSA Lyon (FR)	Takasago (JP)
DLR (DE)	ECN/TNO (NL)
Forschungsstelle für Energiewirtschaft (DE)	CE Delft (NL)
Fraunhofer IOSB-AST (DE)	KTH Royal Institute of Technology (SE)
Fraunhofer UMSICHT (DE)	Hochschule Luzern (CH)
Research Center Jülich (DE)	Cukurova Üniversitesi (TR)

5 Ergebnisse

5.1 Flexible Sektorkopplung (FSC) Konzeptentwicklung

Da fossile Energieträger in der Zukunft nicht mehr genutzt werden sollen, und daher „universelle“ Energieträger mit einer Eignung zum Speichern nicht mehr zur Verfügung stehen, werden neue Herangehensweisen notwendig. In Zukunft muss die Energie in der Form zur Verfügung gestellt werden, in der sie eingesetzt wird. Das Energiesystem muss auf Basis des tatsächlichen Bedarfs gestaltet werden. In den entwickelten Ländern sind Wärme- und Mobilitätsanwendungen für ca. 75% des Endenergiebedarfs verantwortlich. Dafür, dass die meiste erzeugte Energie zukünftig erneuerbar sein wird und in Form von Strom aus PV und Windanlagen kommt, wird Flexible Sektorkopplung (FSC) besonders relevant sein.

Die Kopplung des Elektrizitätssektors mit dem Wärme- und dem Transportsektor ermöglicht einen höheren Anteil Erneuerbarer Energien in allen Sektoren. Der Energiebedarf im Wärme- und Transportsektor kann bilanziell über Erneuerbare Energien abgedeckt werden. Dennoch bleibt die Herausforderung des zeitlichen Abgleichs zwischen Erzeugung und Verbrauch: hier kann die Einrichtung von Speicherkapazitäten eine Lösung darstellen. Die Nutzung von Energiespeichertechnologien bietet dem System notwendige Flexibilität und führt zum hier betrachteten Ansatz der flexiblen Sektorkopplung. In diesem Kontext tragen alle Speichertechnologien bei – thermische, chemische (Gas/Brennstoffe) und elektrische.

Der FSC-Ansatz unterstützt die Dekarbonisierung des Wärme- und Transport-/Mobilitätssektors. Diese beiden Sektoren weisen derzeit in den meisten Ländern einen deutlich geringeren Anteil Erneuerbarer Energien auf als der Stromsektor.

Die graphische Darstellung des Konzepts für FSC wurde in den Task Expert Meetings besprochen und erarbeitet. Abbildung 6 zeigt die finale Version des Darstellungsprozesses des Konzepts.

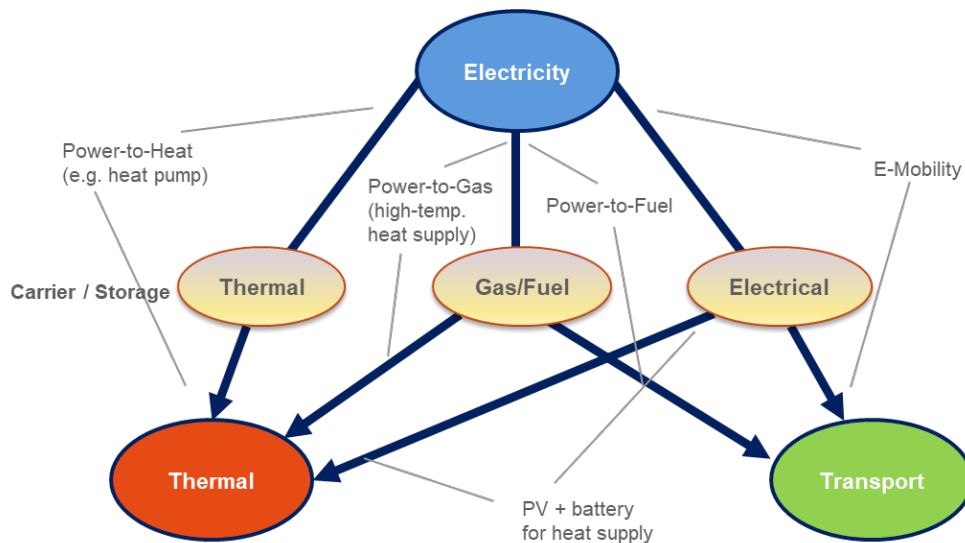


Abbildung 6: Finales Konzept der Visualisierung von Sektorkopplung aus Task 35

In Abstimmung auf die Definition von FSC nach Task 35 sind fünf Pfade möglich, die von Erneuerbaren Energien über drei Arten Energiespeicher zu den beiden Bedarfssektoren (Wärme und Transport) führen. Der Pfad Strom-Wärme-Mobilität ist aus technischen Gründen ausgeschlossen.

Die Vorteile von FSC sind:

- FSC mit Speichern ermöglicht Erneuerbare Energien auf Abruf
 - Macht Erneuerbare Energien, vor allem Elektrizität, für mehr Sektoren zugänglich, ein größerer Markt für Erneuerbare Energien entsteht
- FSC mit Speichern verringert Abregelung
- FSC mit Speichern ermöglicht die Bewegung von Energie in Raum und Zeit
- FSC mit Speichern minimiert die Gesamtsystemkosten über die Wertschöpfungskette
 - Bedarfsseitige Lösungen werden unterstützt, wenn diese kosteneffizienter sind als Investitionen in Energieversorgungsinfrastruktur.

Darüber hinaus wurde ein Flexibilitätsmodell entwickelt¹⁸. Das Modell beschreibt die Flexibilitätsoptionen in einem Multi-Energie-System (MES) und umfasst technologische, regulatorische und Marktaspekte. Die Rolle der Energiespeicherung kann wie ein Generator (im Entlademodus) oder wie ein Verbraucher (im Lademodus) wirken, was eine Auf- oder Abwärtsflexibilität für das System bedeutet. Der Wechsel der Energieträger - Strom, Wärme oder Gas - steht für das Konzept der "trägerübergreifenden Flexibilität" und ist identisch mit der Definition von FSC. Das Modell zeigt die Möglichkeiten und Grenzen dieses Ansatzes auf.

¹⁸ Abschnitt 2.7 des internationalen Abschlussberichts der ES TCP Task 35

5.2 Konfigurationsbezogene Speichertechnologiespezifikationen

In Subtask 2 wurden Beispiele für bestehende und zukünftige FSC-Speicherkonfigurationen gesammelt, um die Vielfalt der Möglichkeiten und das technische Potenzial aufzuzeigen. Die Fachgruppe erstellte eine Sammlung von FSC-Beispielen, die in fünf Gruppen unterteilt wurden, die die Pfade von erneuerbarer Elektrizität über Energiespeichertechnologien zum Mobilitäts- und Wärmesektor repräsentieren. Insgesamt wurde eine Sammlung von 15 FSC-Konfigurationsbeispielen erstellt. Die gesammelten FSC-Beispiele unterstreichen die Vielfalt der verfügbaren Energiespeichertechnologien: nicht nur elektrochemische Batterien, sondern auch vergleichsweise erschwingliche Alternativen wie Warmwasserspeicher, unterirdische thermische Energiespeicher, fortschrittliche Konzepte zur Speicherung von Wärme und Kälte sowie Wasserstoffspeicher und synthetische Kraftstoffe auf Wasserstoffbasis für den Mobilitätssektor.

Ein Beispiel für den Power-to-Heat-Weg ist in Abbildung 7 dargestellt.

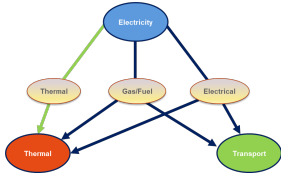
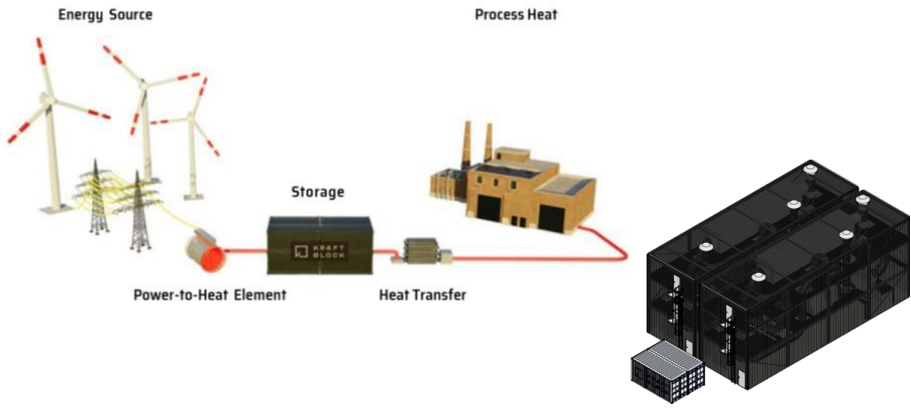
Example Power-to-heat	Kraftblock			
Long Title:	Net-Zero Heat System at PepsiCo food production	Storage Period:	hours - few days	
Application:	High-temperature sensible heat storage for process heat supply from renewable electricity	Status Technology:	6-8	
Storage technology:	Sensible solid heat storage at high temperatures (800 °C)	Place, Country:	The Netherlands	
Energy Source:	renewable electricity (wind)	Capacity:	70 000 kWh	
Energy Output:	Process heat at about 300 °C	Power:	22 MW	
Pictures:				

Abbildung 7: FSC-Beispiel für eine power-to-heat-Anwendung

In einem Werk des Lebensmittelherstellers PepsiCo ersetzt Kraftblock in Zusammenarbeit mit dem niederländischen Energieversorger Eneco Gas durch saubere Energie. Erneuerbarer Strom von Eneco wird in den thermischen Hochtemperatur-Energiespeicher von Kraftblock eingespeist, um Prozesswärme zum Frittieren von Kartoffelchips zu liefern. Ein gasbefuehrter Kessel wird durch ein fossilfreies System ersetzt, das Prozesswärme in Form von Thermoöl liefert.

Im Living Lab Energy Campus, der in Abbildung 8 dargestellt ist, werden mehrere FSC-Pfade berücksichtigt.

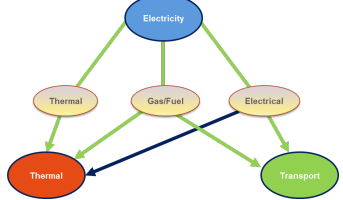

Example D:	Living Lab Energy Campus, Jülich		
Long Title:	Living Lab Energy Campus at Forschungszentrum Jülich	Storage Period:	seconds to seasonal
Application:	Highly integrated energy supply and storage system demonstrator on the campus; Possible application in urban districts for renewable energy long term storage and sector coupling	Status Technology:	7
Storage technology:	Li-Ion Batteries, Hydrogen Storage System (Electrolyzer, LOHC storage, Pressurized H2 storage, Fuel cell, CHP), DSM	Place, Country:	Jülich, Germany
Energy Source:	CHP, Solar, Wind	Capacity:	331.750 kWh
Energy Output:	electricity, heat, hydrogen	Power:	1.800 kW
Picture(s):			

Abbildung 8: FSC-Beispiel für mehrere Pfade von Erneuerbarer Elektrizität zu Wärme- und Mobilitätsanwendungen

Das in Abbildung 8 dargestellte System umfasst eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage mit Wasserstoff-Zufeuerung, Lithium-Ionen-Batterien als USV-, Speicher- und Spitzenausgleichseinheit, eine Wasserstoffinfrastruktur mit Elektrolyseur, LOHC-Speicher und Brennstoffzelle sowie eine HPC-Abwärmenutzung für ein Niedertemperatur-Fernwärmenetz. Die Integration von Batterie- und Wasserstoff-Elektrofahrzeugen ist optional. Dieser hochintegrierte Energieversorgungs- und -speichersystem-Demonstrator wird auf dem Campus entwickelt und zielt auf eine mögliche Anwendung in Stadtteilen für die Langzeitspeicherung erneuerbarer Energien und FSC ab.

Etwa 40 % der gesammelten FSC-Anwendungsbeispiele sind industriell erprobt und am Markt verfügbar - der gleiche Anteil wird in den nächsten fünf Jahren auf den Markt kommen. Verbleibende Hindernisse für die Marktintegration sind Herausforderungen bei der Systemintegration, einschließlich der Steuerungsintegration und der Schnittstellennormung, regulatorische Hindernisse, nicht flexible Stromtarife und Fragen der Hochskalierung/Technik.

5.3 Aufbau und Betrieb eines lokalen Energiesystems

Subtask 3 befasst sich mit der Integration von variablen erneuerbaren Energien in lokale Energiesysteme. Auf dieser Ebene spielt die flexible Sektorenkopplung eine wichtige Rolle. Da die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von Natur aus dezentral erfolgt, scheint eine sofortige Nutzung für den lokalen Bedarf die effizienteste Lösung zu sein. Dieser "lokale" Ansatz ist größer als die in Subtask 2 vorgestellten FSC-Systeme und immer noch kleiner als die in Subtask 4 entwickelten nationalen Szenarien.

Die in diesem Kapitel vorgestellten Studien spiegeln die Komplexität von Multi-Energie-Systemen (MES) wider. Auf dieser Ebene - die Stadtteile, Städte und Bezirke umfasst - muss eine Vielzahl von erneuerbaren Energiequellen alle Arten von Energiebedarf in allen Sektoren decken. Zwischen Angebot und Nachfrage sind Energiespeicherkapazitäten notwendig, um die erforderliche Systemflexibilität zu gewährleisten.

Die vorgestellten Studien befassen sich eingehend mit diesem Ansatz. Die meisten von ihnen befassen sich mit Power-to-Heat-Anwendungen in Fernwärme- (oder Kühl-)netzen.

- In der ersten Studie wurde Power-to-Heat und thermische Speicherung in **Wärmenetzen in den Niederlanden** diskutiert. Für P2H werden zwei Techniken betrachtet: Wärmepumpen und elektrische Warmwasserbereiter. Für die thermische Speicherung wurden Tankspeicher (TTES), Speicher in einer isolierten Grube im Boden (PTES) und Hochtemperaturspeicher in einem unterirdischen Aquifer (HT-ATES) in Betracht gezogen. Ziel der Studie ist es, die Welten der Elektrizität und der Wärme zu verbinden, indem ein Einblick in das Potenzial und die Entwicklung von P2H und Speicherung (P2H+S) gegeben wird. Der Business Case wurde definiert und das technische Potenzial von P2H+S wurde ermittelt. Die Auswirkungen auf das Elektrizitätssystem wurden durch eine integrierte Modellierung der Stromerzeugung und der Quellen in Wärmenetzen dargestellt. Schließlich wurden die Hindernisse analysiert und politische Empfehlungen formuliert, um P2H und Wärmespeicherung zum Laufen zu bringen.

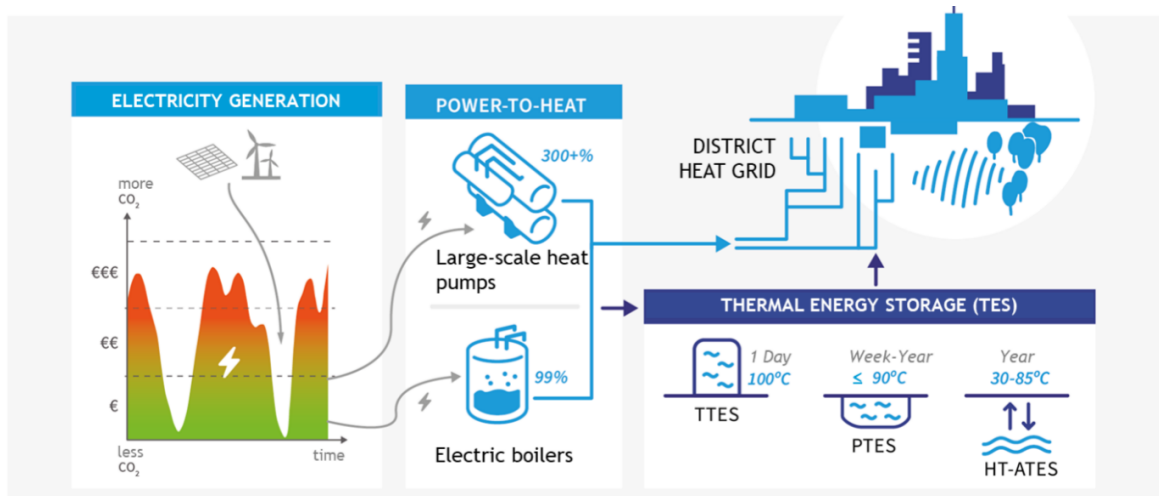


Abbildung 9: Veranschaulichung des Konzepts von Power-to-Heat in Kombination mit thermischen Energiespeichern für Wärmenetze

- Der Schwerpunkt der zweiten Studie liegt auf Kältespeichern in **einem Fernkältesystem in Schweden**. Thermische Energiespeicherung in Form von Kältespeichern (CS) in Fernkältesystemen (DC) kann die Investitionen in Spitzenkapazitäten durch Peak Shaving und Lastverschiebung minimieren. In DC-Systemen mit einem hohen Anteil an erneuerbarem Strom und Überschüssen, die sich im Preis widerspiegeln, werden CSs besonders wertvoll, um den Power-to-Cold-Betrieb zu übernehmen und so FSC zu ermöglichen, indem dieser überschüssige Strom im CS gespeichert wird. Eine Fallstudienanalyse des Gleichstromsystems von Norrenergi AB, Schweden (das die Gemeinden Solna und Sundbyberg mit Gleichstrom versorgt), zeigt, dass eine Kombination aus zentralen und dezentralen CSs erfolgreich FSC ermöglicht. Die Studie zeigt, dass diese CSs Wettbewerbsvorteile gegenüber einigen anderen typischen Kapazitätsinvestitionen wie neuen Kältemaschinen oder Leitungen bieten. Außerdem bieten besonders verteilte CSs zusätzliche Vorteile für das Gleichstromnetz selbst, indem sie Differenzdruckengpässe bei bestimmten Konfigurationen wie Schleifen vermeiden. Die Studie unterstreicht auch, wie wichtig es ist, wirksame und relevante Leistungsindikatoren zu verwenden, um den tatsächlichen Nutzen von FSC zu bewerten. Dies bedeutet, dass man über den Rahmen typischer Leistungsindikatoren hinausgeht und sich auf die Vermeidung von Spitzenlasten und die Lastverschiebung im Zusammenhang mit Stromüberschüssen konzentriert
- In der dritten Studie untersuchen die Verfassenden die Auswirkungen der PV-Integration, des Ersatzes fossiler Heizungen und der Integration thermischer Speicher auf das **Energieversorgungsszenario von Gemeinden in der Schweiz**. Zu diesem Zweck wird ein Modell eingesetzt, das das Multi-Energie-System der Gemeinde darstellt. Für verschiedene Szenarien wurden Simulationen über ein Betriebsjahr durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen die Auswirkungen der Integration von PV-Solarstrom, des Ersatzes fossiler Heizungen und der Integration von Wärmespeichern auf das Multi-Energie-System einer Gemeinde. Es wird gezeigt, dass die Integration von PV-Solarstrom allein nur zu begrenzten Vorteilen führt, da aufgrund eines Missverhältnisses zwischen Angebot und

Nachfrage nicht der gesamte erzeugte Strom genutzt werden kann. Der Ersatz fossiler Heizungen durch Wärmepumpen kann einen Teil des überschüssigen PV-Stroms durch Sektorkopplung nutzen und die mit der Verbrennung von Öl und Gas verbundenen Kohlenstoffemissionen reduzieren. Der Einsatz von Wärmespeichern kann den Export von PV-Solarstrom überflüssig machen, da die Wärmeversorgung rechtzeitig umgestellt werden kann. In Zeiten hohen Wärmebedarfs und geringer oder fehlender PV-Stromverfügbarkeit kann der Wärmespeicher zur Wärmebereitstellung genutzt werden, wodurch sich die Notwendigkeit des Betriebs von Wärmepumpen verringert. Die verstärkte Nutzung des lokal erzeugten PV-Stroms führt zu einer Verringerung der grenzüberschreitenden Stromimporte, was wiederum zu einer Verringerung der mit der Energieerzeugung verbundenen Kohlenstoffemissionen führt.

In dieser Studie wurde nur der technische Aspekt der Wärmespeicherung untersucht und die mit der Planung, der Installation und dem Betrieb der Systeme verbundenen Kosten wurden nicht berücksichtigt.

- Bei der vierten Studie handelt es sich um eine reale Anwendung eines Fernwärmesystems, nämlich das **Fernwärmesystem der Stadt Mailand** in Italien. Sie wird vorgeschlagen, um die Vorteile von Energiespeichersystemen bei der flexiblen Sektorenkopplung zu veranschaulichen. Insbesondere wird gezeigt, wie die Multi-Energie-Flexibilität zunächst für die Deckung des Wärmebedarfs und dann für die Teilnahme am Day-Ahead- und Flexibilitätsstrommarkt eingesetzt werden könnte. Es werden Flexibilitätsspannen sowohl nach oben als auch nach unten auf dem elektrischen Träger und durch die Verlagerung von Flexibilität über mehrere Energievektoren, insbesondere durch Power-to-Heat-Vorrichtungen, ermittelt. So wird beispielsweise auch erörtert, wie Gas-zu-Wärme-Technologien indirekt Flexibilität auf der elektrischen Träger-/Energieebene bieten. Dies zeigt deutlich alle möglichen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Energieträgern in Multi-Energie-Systemen, die die Flexibilität dort freisetzen, wo sie vorhanden ist. Insbesondere das Mailänder DH-System ermöglicht es, alle komplexen technischen Merkmale im Zusammenhang mit der MES-Flexibilität zu verdeutlichen, und insbesondere, wie der Energiebedarf eines Energievektors die Gesamtflexibilität der Anlage beeinflussen kann.

5.4 Nationale Energiesystemanalyse des FSC-Potenzials

In Subtask 4 wurde eine Energiesystemanalyse auf nationaler Ebene zum Einfluss von FSC für Deutschland im Jahr 2050 durchgeführt. Um ein dekarbonisiertes deutsches Energiesystem im Jahr 2050 zu modellieren, wurde ein Referenz-Energiesystem basierend auf dem Projekt Heat Roadmap Europe in der Software EnergyPLAN implementiert. Mit einer Szenarioanalyse wurde der Einfluss der installierten Energiespeicherkapazität in fünf verschiedenen Anwendungen (Fernwärme, Fernkälte, individuelle Heizung, Wasserstoff und Elektrofahrzeuge) auf das nationale Energiesystem untersucht.

In vielen Fällen würde eine Verdoppelung der Energiespeicherkapazität im Vergleich zum Referenzsystem sowohl zu einer Verringerung des Primärenergieverbrauchs als auch zu einer Senkung der Gesamtsystemkosten führen.

Als Beispiel zeigt die folgende Abbildung die Szenarioanalyse für den Einfluss der installierten Speicherkapazität in der Fernwärme (DH).

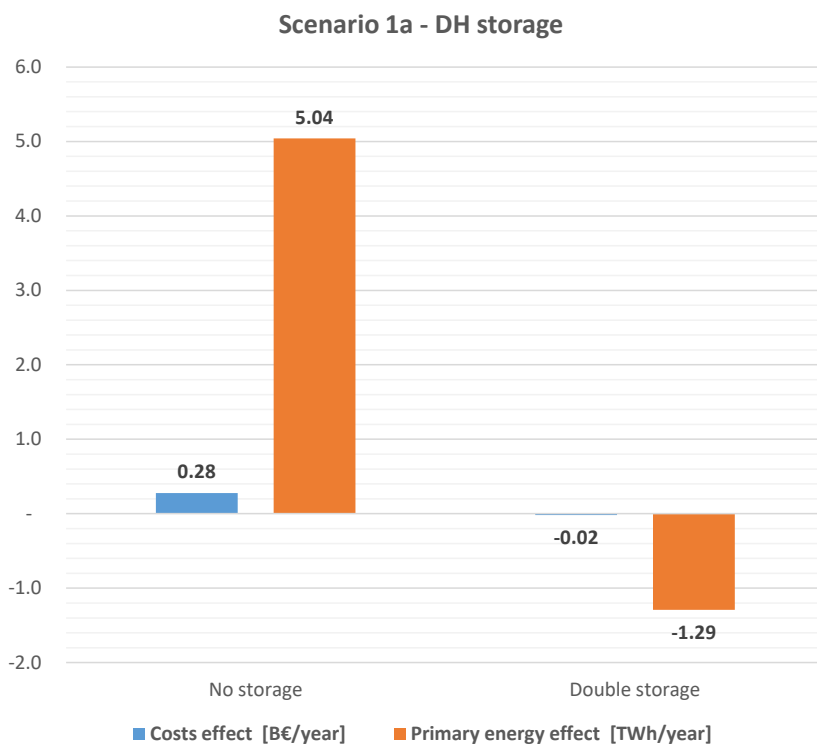


Abbildung 10: Ergebnisse für die Veränderungen der Gesamtkosten und des Primärenergieangebots in Szenario 1a (DH-Speicher) durch Ausbau und Verdopplung des DH-Speichers im Vergleich zum Referenzszenario.

Abbildung 10 zeigt den Kosteneffekt und den Primärenergieeffekt des Ausbaus und der Verdopplung der DH-Speicherkapazität im Vergleich zum Referenzszenario, d.h. die Veränderung der Gesamtkosten und des Primärenergieangebots im Vergleich zum Referenzszenario.

Es ist zu erkennen, dass sowohl die Gesamtkosten als auch das Primärenergieangebot erheblich steigen, wenn der Warmwasserspeicher entfernt wird. Dies kann auf die geringere Flexibilität des Systems zurückgeführt werden, wodurch sich die Möglichkeit für intermittierende Erzeugungseinheiten verringert, bei günstigen Brennstoffpreisen usw. zu arbeiten. Da ihr Betrieb reduziert wird, machen weniger effiziente Erzeugungseinheiten, z. B. Heizkessel, einen größeren Anteil des Erzeugungsportfolios aus, was die Primärenergieversorgung im Szenario erhöht.

Die Verdopplung des DH-Speichers hat den gegenteiligen Effekt auf das Energiesystem. Die Gesamtkosten im Modell sind im Vergleich zur Referenz leicht reduziert. Da ein größerer Speicher einen flexibleren Betrieb intermittierender KWK-Anlagen, z. B. Wärmepumpen, ermöglicht, verringert sich auch das Primärenergieangebot im Vergleich zur Referenz, d. h. das Gesamtsystem ist mit einer größeren Speicherkapazität sowohl kostengünstiger als auch energieeffizienter.

5.5 Übersicht der Publikation aus dem Task/Annex

Die folgende Tabelle zeigt Publikationen von den österreichischen ProjektpartnerInnen.

Tabelle 2: Liste der Publikationen der österreichischen ProjektpartnerInnen

Autor	Titel	Konferenz/Publikation	Datum
Totschnig, Resch, Vögel, Esterl, Schöniger, Von Roon, Strömer et al	Nachfrage und Deckung des Flexibilitätsbedarfes des Strommarktes In Österreich 2030	17. Symposium Energieinnovation (16.-18.02.2022) – TUGRAZ ¹⁹	Feb 2022
D. Suna, G. Totschnig, F. Schöniger, G. Resch, J. Spreitzhofer, T. Esterl	Assessment of flexibility needs and options for a 100% renewable electricity system by 2030 in Austria	Smart Energy, 6 (2022), S. 1 - 10 ²⁰	Apr 2021
Alice Tosatto, Abdulrahman Dahash, Fabian Ochs	Simulation-based performance evaluation of large-scale thermal energy storage coupled with heat pump in district heating systems	Journal of Energy Storage ²¹	May 2023

¹⁹ https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/tugrazExternal/738639ca-39a0-4129-b0f0-38b384c12b57/files/allg/EnInnov2022_Programm_22_02_17.pdf

²⁰ <https://doi.org/10.1016/j.segy.2022.100077>

²¹ <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106721>

Autor	Titel	Konferenz/Publikation	Datum
Fabian Ochs, Alice Tosatto	Integration of Heat Pump in Renewable-based DH with Thermal Storage	1st international Conference on Seasonal Thermal Energy Storage	2022-12-20
Alice Tosatto, Fabian Ochs	Integration of Heat Pumps coupled with large-scale seasonal Thermal Energy Storage in District Heating grids	Conference Eurotherm Seminar (Lleida, Spain)	24-26 May 2023
Gerhard Totschnig	Modelling of Heat Pumps for the Decarbonisation of District Heat	Openmod Workshop Vienna - IIASA, Laxenburg, Österreich 22. – 24. März 2023 ²²	März 2023
<u>Totschnig, G., Nemeč-Begluk, S., Schmidt, R., Leimgruber, F. M. & Seragiotto, C.</u>	Optimaler Erzeugungspark in einem dekarbonisierten Fernwärmesystem - Ergebnisse einer modellbasierten Untersuchung	13. Internationalen Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, Proceedings of IEWT 2023. 2 S. 262 ²³	Feb. 2023

²² <https://publications.ait.ac.at/de/publications/modelling-of-heat-pumps-for-the-decarbonisation-of-district-heat>

²³ https://iewt2023.eeg.tuwien.ac.at/download/contribution/abstract/262/262_abstract_20230208_131619.docx

6 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Aus den Subtasks des Tasks wurden verschiedene Empfehlungen und Kernaussagen abgeleitet. Die ausführlichen Task-Ergebnisse sind zu finden im Internationalen Abschlussberichts der ES TCP Task 35, siehe Literaturverzeichnis.

Aus **Subtask 1 "Flexible Sector Coupling (FSC) Concept Development"** wurden die folgenden Empfehlungen formuliert:

- Stabile und integrierte Politik zur Unterstützung der Kopplung des Energiesektors, einschließlich flexibler Energiespeicheroptionen.
 - Vermeidung von mehrfachen Energiesteuern entlang der Wertschöpfungskette - Besteuerung von Energieträgern (z.B. Strom) am Ort des Verbrauchs.
 - Anreize für die Minimierung der Kürzung von EE-Anlagen und die Ableitung von industrieller Überschusswärme schaffen.
 - Gleiche Besteuerung von Brennstoffen und Strom (Erdgas vs. Strom, fossile Brennstoffe für die Stromerzeugung vs. für die Wärmeerzeugung)
- Modernisierte Marktstrukturen - Energiespeicher, die mit Preisarbitrage arbeiten, die Grundlage eines Kapazitätsmarktes - ein Markt für schnelles Hochfahren und schnelle Reaktion.
- Ermöglichung fairer, "gleicher" Wettbewerbsbedingungen für die technischen und wirtschaftlichen Vorteile und Werte, die Energiespeicherlösungen bieten können.

In **Subtask 2 "Technische Lösungen für die FSC-Umsetzung"** wurden FSC-Beispiele gesammelt und die folgenden Kernaussagen abgeleitet:

- Nach der FSC-Definition gibt es fünf Pfade von erneuerbarem Strom zu den Nachfragesektoren Wärme und Mobilität (Wärmespeicher für Mobilität sind aus technischen Gründen ausgeschlossen).
- Die Beispiele zeigen eine große Vielfalt an Anwendungen, und es ist gut, dass es so viele verschiedene Energiespeichertechnologien gibt!
- Etwa 40 % der gesammelten Technologien sind industriell erprobt und auf dem Markt verfügbar; der gleiche Anteil wird in den nächsten fünf Jahren auf den Markt kommen; andere Technologien müssen noch weiterentwickelt werden (z. B. Hochtemperaturwärmepumpen (über 100 °C)).
- Als technische Hindernisse für die Marktintegration wurden Herausforderungen bei der Systemintegration, einschließlich der Integration von Steuerungen und der Schnittstellennormung, rechtliche Hindernisse/unflexible Stromtarife und Probleme bei der Hochskalierung/Technik genannt.

In **Subtask 3 "Implementierung von FSC in lokalen Energiesystemen"** zeigen die durchgeführten Studien im Detail, wie wichtig die Sektorkopplung, hauptsächlich der Power-to-Heat- oder Power-to-Cold-Pfad, für die Integration von erneuerbarem Strom aus PV und Wind ist. In allen Studien verbessert die Implementierung von thermischen Speicherkapazitäten vor allem die Leistung des Energiesystems und seine wirtschaftliche Machbarkeit.

Die folgenden Kernaussagen können aus den durchgeführten Studien formuliert werden:

- FSC ermöglicht eine bessere Nutzung der installierten PV-/Windanlagen und reduziert die Abregelung.
- Die Speicherkapazität innerhalb des FSC-Ansatzes (in allen Studien thermische Energiespeicher für P2H und P2C) führt zu höheren Anteilen erneuerbarer Energien im System und reduziert die CO₂-Emissionen.
- FSC bietet notwendige/zusätzliche Flexibilität für lokale Multi Energy Systems (mit hoher Komplexität), die z.B. das Stromnetz einschließen.
- Die installierte Speicherkapazität in Kombination mit Sektorkopplung, hauptsächlich P2H und P2C, führt zu niedrigeren Systemkosten.

Die wichtigsten Schlussfolgerungen, die in **Subtask 4 "Nationale Energiesystemanalyse des FSC-Potenzials"** aus der nationalen Energiesystemanalyse zum Einfluss von FSC gezogen wurden, sind:

- Thermische Energiespeicherung in elektrifizierter Fernwärme kann die Kosten senken und die Energieeffizienz des Systems verbessern.
- Das Vorhandensein von überschüssiger Wärme in einem zentralen Heizsystem reduziert die Systemkosten, erhöht aber die Notwendigkeit eines thermischen Speichers im Hinblick auf die Energieeffizienz.
- Die Wärmeerzeugung mit einzelnen Wärmepumpen ist ohne thermische Speicherung erheblich teurer, da eine größere Produktionskapazität erforderlich ist.
- Kältespeicher für Fernkälte können die Systemkosten und den Primärenergieverbrauch senken.
- Wasserstoffsysteme und -speicher spielen eine zentrale Rolle bei der Systemintegration fluktuierender erneuerbarer Energien, da Wasserstoff zur direkten Deckung des Bedarfs oder zur Umwandlung in andere Brennstoffe verwendet werden kann und so gleichzeitig eine FSC für den Wärme- und Mobilitätsbedarf schafft.
- Ein vollständig auf erneuerbaren Energien basierendes Energiesystem ohne Wasserstoffspeicher benötigt deutlich höhere Kapazitäten zur Erzeugung erneuerbarer Energien, was die Kosten erheblich erhöht.
- Intelligente Ladesysteme für batterieelektrische Fahrzeuge können eine bessere Energieeffizienz und niedrigere Gesamtsystemkosten bewirken.
- Batterieelektrische Fahrzeuge mit einer V2G-Option zusätzlich zum intelligenten Laden können den Energieverbrauch und die Gesamtkosten weiter senken.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Diagram mit den drei Sektoren und den fünf Umsetzungspfade.....	8
Abbildung 2: Überschussstrom mittels Speichertechnologien nutzbar machen.....	13
Abbildung 3: Struktur des Task 35.....	16
Abbildung 4: Das Konzept der flexiblen Sektorkopplung basiert auf variabler erneuerbarer Elektrizität, die an den Wärme- (Heizung und Kühlung) und Mobilitätsbedarf gekoppelt ist.....	17
Abbildung 5: Finales Konzept der Visualisierung von Sektorkopplung aus Task 35	21
Abbildung 6: FSC-Beispiel für eine power-to-heat-Anwendung	22
Abbildung 7: FSC-Beispiel für mehrere Pfade von Erneuerbarer Elektrizität zu Wärme- und Mobilitätsanwendungen	23
Abbildung 8: Veranschaulichung des Konzepts von Power-to-Heat in Kombination mit thermischen Energiespeichern für Wärmenetze	25
Abbildung 9: Ergebnisse für die Veränderungen der Gesamtkosten und des Primärenergieangebots in Szenario 1a (DH-Speicher) durch Ausbau und Verdopplung des DH-Speichers im Vergleich zum Referenzszenario.....	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Teilnehmer am Task 35.....	19
Tabelle 2: Liste der Publikationen der österreichischen ProjektpartnerInnen	28

Literaturverzeichnis

Internationaler Abschlussberichts der ES TCP Task 35

<https://iea-es.org/publications/final-report-task-35-flexible-sector-coupling/>

Executive Summary des Internationalen Abschlußberichts der ES TCP Task 35

<https://iea-es.org/publications/executive-summary-task-35-flexible-sector-coupling/>

Assessment of flexibility needs and options for a 100% renewable electricity system by 2030 in Austria. Demet Suna, Gerhard Totschnig, Franziska Schöniger, Gustav Resch, Johanna Spreitzhofer, Tara Esterl. Smart Energy, Volume 6,2022, ISSN 2666-9552

<https://doi.org/10.1016/j.segy.2022.100077>

EU's Strategy for Energy System Integration. European Commission. (2020). [Online] https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/eu-strategy-energy-system-integration_en.

Modelling of Heat Pumps for the Decarbonisation of District Heat; Gerhard Totschnig. Openmod Workshop, Vienna – IIASA, Laxenburg, Austria, 22-24 March 2023.

<https://forum.openmod.org/t/vienna-2023-workshop-posters/3624/19>

Nachfrage und Deckung des Flexibilitätsbedarfes des Strommarktes In Österreich 2030, 17. Symposium Energieinnovation (16.-18.02.2022) – TUGRAZ, Feb 2022, Totschnig, Resch, Vögel, Esterl, Schöniger, Von Roon, Strömer et al.

https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/tugrazExternal/738639ca-39a0-4129-b0f0-38b384c12b57/files/pr/Session_C5/355_PR_Totschnig.pdf

Optimaler Erzeugungspark in einem dekarbonisierten Fernwärmesystem - Ergebnisse einer modellbasierten Untersuchung, Proceedings of IEWT 2023. 2 S. 262, 16 Feb. 2023, Totschnig, G., Nemeč-Begluk, S., Schmidt, R.-R., Leimgruber, F. M. & Seragiotto, C.

<https://publications.ait.ac.at/de/publications/optimaler-erzeugungspark-in-einem-dekarbonisierten-fernwaerme%C3%A4rmesyste>

The Sector Coupling Concept: A Critical Review. Ramsebner, J., et al. 2021, WIREs Energy and Environment, p. <https://doi.org/10.1002/wene.396>.

Simulation-based performance evaluation of large-scale thermal energy storage coupled with heat pump in district heating systems. Alice Tosatto, Abdulrahman Dahash, Fabian Ochs. Journal of Energy Storage, Volume 61, 2023, 106721, ISSN 2352-152X,

<https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106721>

Solutions to integrate high shares of variable renewable energy. (Report to the G20 Energy Transitions Working Group). IRENA [Online] 2019.

<https://www.irena.org/>

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jun/IRENA_G20_grid_integration_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jun/IRENA_G20_grid_integration_2019.pdf)

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at