

IEA Industrielle Energietechnologien und Systeme (IETS) Annex 15: Industrielle Abwärmenutzung

A. Beck, L. Burrell, S. Puschnigg,
J. Fluch, H. Walter, R. Hofmann

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

15/2023

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Copyright und Haftung:

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:

<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

IEA Industrielle Energietechnologien und Systeme (IETS) Annex 15: Industrielle Abwärmenutzung

Dipl.-Ing. Dr. Anton Beck, Mag. Leisa Burrell,
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. René Hofmann
Austrian Institute of Technology

Dipl.-Ing. Jürgen Fluch
AEE – Institut für nachhaltige Technologien

Dipl.-Ing. Stefan Puschnigg
Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz

Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Heimo Walter
Institut für Energietechnik und Thermodynamik und Energietechnik,
Technische Universität Wien

Wien, April 2022

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

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, Endverbrauchstechnologien 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)

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	6
2	Abstract	7
3	Ausgangslage	8
4	Projekthalt	11
	4.1. Subtask 1: Kombination von Methoden zur Identifizierung und Quantifizierung von Überschusswärme	11
	4.2. Subtask 2: Auswirkungen künftiger Veränderungen in den industriellen Energiesystemen auf den Wärmeüberschuss	12
	4.3. Subtask 3: Betriebliche Aspekte in industriellen Energiesystemen.....	12
	4.4. Subtask 4: Chancen- und Risikobewertung für Wärmeüberschussprojekte	12
	4.5. Subtask 5: Zusammenstellung innovativer Wärmeüberschussprojekte	13
	4.6. Darstellung des internationalen Konsortiums	13
	4.7. Einbettung der österreichischen Partner in den Annex	14
	4.8. Innovationsgehalt des Vorhabens und erwartete Ergebnisse.....	15
	4.9. Verwertungsstrategie auf Annex-Ebene.....	16
	4.10.Zusammenarbeit mit anderen IEA-Aktivitäten	16
5	Ergebnisse	17
	5.1. Ergebnisse aus den Subtasks 1-4	17
	5.1.1. Subtask 1: Kombination von Methoden zur Identifizierung und Quantifizierung von Überschusswärme.....	17
	5.1.2. Subtask 2: Auswirkungen künftiger Veränderungen in den industriellen Energiesystemen auf den Wärmeüberschuss.....	23
	5.1.3. Subtask 3: Betriebliche Aspekte in industriellen Energiesystemen.....	28
	5.1.4. Subtask 4: Chancen- und Risikobewertung für Wärmeüberschussprojekte	31
	5.2. Zusammenstellung innovativer Wärmeüberschussprojekte.....	36
	5.2.1. Projektzusammenfassungen.....	36
	5.2.2. Schlussfolgerungen.....	42
6	Vernetzung und Ergebnistransfer	44
	6.1. Zielgruppe für die Verbreitung der Projektergebnisse	44
	6.2. Einbindung relevanter Stakeholder in das Projekt	44
	6.3. Relevanz und Nutzens der Projektergebnisse	45
7	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	46
	7.1. Zusammenfassung der Erkenntnisse	46
	7.2. Vorschlag für die weitere Arbeit in Task 15.....	48

1 Kurzfassung

Fortschritt in energierelevanten Technologien ist von großer Bedeutung zur Erreichung kollektiver Ziele der Energiesicherheit, Umweltschutz und ökonomisch und sozialer Entwicklungen. Die Beteiligung am Implementing Agreement IEA-IETS erlaubt es österreichischen Stakeholdern auf internationalem Niveau Kooperationen zu knüpfen, Projekte durchzuführen und F&E Leistungen im Bereich industrieller energie-relevanter Technologien und Systeme anzubieten. Die Teilnahme erlaubt den Zugang zu wertvollem Knowhow sowie eine erhöhte Sichtbarkeit im internationalen Umfeld.

Hauptziel für das nationale Konsortium war die Einbindung österreichischer Forschungseinrichtungen in das internationale Netzwerk sowie die Partizipation an einer Plattform für den Informationsaustausch sowie die Initiierung internationaler Projekte im Bereich Abwärmennutzung in Industrieprozessen. Es wird angestrebt die Entwicklung neuer Kooperationen und Partnerschaften in Industrie und Forschung voranzutreiben, den Wissenstransfer und die Weiter-/Entwicklung technologischer Kompetenzen zu vereinheitlichen und zu stärken sowie existierendes Knowhow anzubieten und auszubauen.

Auf internationaler Ebene wurde durch die Leitung des Annex durch Prof. René Hofmann ein wesentlicher Beitrag zur Weiterführung der Abwärmethemen im IEA TCP IETS geleistet. Ebenso wurden vom österreichischen Konsortium Projektbeiträge als Inputs für den internationalen Annex aufbereitet und so die Sichtbarkeit der heimischen Forschung im Bereich Energietechnik gestärkt. Es wurden alle fünf Themenfelder (Subtasks) mit Beiträgen bespielt - von der Erhebung von Abwärme über Technologieintegration, Optimierung von Systemdesign- und Betrieb, hin zur Risikominimierung und der Aufbereitung von Vorzeigeprojekten für innovative Abwärmennutzung im Annex.

Durch die Sammlung und Aufbereitung der Beiträge von den teilnehmenden Nationen konnte eine breite Wissensbase über Erfahrungen zur Durchführung von Potentialerhebungen für die Nutzung von Überschusswärme aufgebaut werden. Die zukünftigen Änderungen in industriellen Energiesystemen für die Nutzung von Wärmeüberschuss sind von großer Bedeutung. Potentiale für Wärmeüberschüsse müssen in einer industriellen Systemperspektive betrachtet werden. Es wurde aufgezeigt, wie wichtig es ist, solche Folgen durch Systemstudien zu ermitteln. Auf technologischer Ebene sind vor allem erhebliche Potentiale für die Steigerung der Energieeffizienz durch den Einsatz von Hochtemperatur-Wärmepumpen zu nennen. Als entscheidende Strategien für erfolgreiche Umsetzung von Abwärmeprojekten sind eine iterative Risikoanalyse und -minderung sowie ein starkes Engagement der Interessengruppen für eine bessere Risikoerkennung und -minderung zu empfehlen.

Das gewonnene Knowhow wurde auf nationaler Ebene durch Vorträge, Publikationen und die Einbindung in die Lehre an Hochschulen verbreitet. Auf internationaler Ebene konnte die Sichtbarkeit des Forschungsstandorts Österreich durch die enge Zusammenarbeit und den Wissenstransfer gestärkt werden.

2 Abstract

Progress in energy-relevant technologies is of great importance for achieving the collective goals of energy security, environmental protection and economic and social development. Participation in the Implementing Agreement IEA-IETS allows Austrian stakeholders to establish cooperation at an international level, to carry out projects and to offer R&D services in the field of industrial energy-relevant technologies and systems. Participation allows access to valuable know-how as well as increased visibility in the international environment.

The main objective for the national consortium was the integration of Austrian research institutions into the international network and the participation in a platform for the exchange of information as well as the initiation of international projects in the field of excess heat utilisation in industrial processes. The aim is to promote the development of new cooperations and partnerships in industry and research, to standardize and strengthen knowledge transfer and the development of technological competencies as well as to offer and expand existing know-how.

At the international level, Prof. René Hofmann managed the Annex and made a significant contribution to the continuation of the waste heat topics in the IEA TCP IETS. The Austrian consortium also prepared project contributions as inputs for the international annex and thus strengthened the visibility of domestic research in the field of energy technology. All five topics (subtasks) were covered with contributions - from the collection of waste heat to technology integration, optimization of system design and operation, to risk minimization and the preparation of showcase projects for innovative waste heat utilization.

By collecting and processing the contributions from the participating nations, a broad knowledge base on experiences for conducting potential surveys for the use of surplus heat could be built. Future changes in industrial energy systems for the use of surplus heat are of great importance. Potentials for surplus heat need to be considered in an industrial system perspective. The importance of identifying such consequences through system studies has been demonstrated. On a technological level, significant potentials for increasing energy efficiency through the use of high-temperature heat pumps should be mentioned above all. Iterative risk analysis and mitigation, as well as strong stakeholder engagement for better risk identification and mitigation, are recommended as critical strategies for successful implementation of waste heat projects.

The know-how gained was disseminated at the national level through lectures, publications, and involvement in teaching at universities. At the international level, the visibility of Austria as a research location was strengthened through close cooperation and knowledge transfer.

3 Ausgangslage

Trotz des politischen Drucks und gesetzter Klimaziele ist der weltweite Energieverbrauch in den letzten zwanzig Jahren um über 30% gestiegen. Die Coronapandemie hat diesen Trend im Jahr 2020 zwar etwas gebremst, eine nachhaltige Verlangsamung für die Steigerung des Energieverbrauchs lässt sich jedoch nicht erkennen. Der industrielle Energieverbrauch ist etwa für ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs verantwortlich. Daher sind Aktivitäten zur Förderung einer effizienten Energienutzung mit geringen Umweltauswirkungen für die zukünftige Entwicklung, Implementierung und Nachhaltigkeit industrieller Prozesse von entscheidender Bedeutung. Nutzung von industrieller Überschusswärme stellt dabei einen wesentlichen Hebel zur Effizienzsteigerung dar. Obwohl industrielle Überschusswärme bisher bereits in großem Umfang genutzt wird, kann das Potenzial für eine noch umfassendere Nutzung als beträchtlich angesehen werden. Die kosteneffiziente Nutzung industrieller Abwärme ist eine der fünf im SET-Plan Action No.6¹ angeführten Prioritäten, um die europäischen Klimaziele zu erreichen. Auch der *Umsetzungsplan zur Energieforschungsinitiative in der Klima- und Energiestrategie* des BMK² beschreibt die Nutzung industrieller Abwärme als ein wesentliches Ziel zur Erfüllung der österreichischen Klima- und Energiestrategie *#mission2030*. Die SPIRE 2050 Vision sieht eine deutliche Reduktion der ungenutzten Abwärmeströme vor, um so die Ausnutzung der eingesetzten Primärenergie zu maximieren.

In energieintensiven Produktionsbetrieben sind in den letzten Jahren zusätzliche Herausforderungen entstanden: Die fluktuierenden Energiepreise und zunehmend auch limitierende Netzauslastungen erschweren eine konventionelle Planung von Produktion, Energiebedarf bzw. Lieferung überschüssiger Energie. Zusätzlich liegt in natürlich gewachsenen Betrieben meist eine heterogene Landschaft von Technologien mit entsprechenden Insellösungen für die Regelung und Optimierung zur Abwärmenutzung vor.

Bisher wurden im Zuge des Annex 15 bereits zwei Tasks durchgeführt. Die Berichte zu den jeweiligen Tasks sind auf der IETS-Website³ verfügbar und enthalten die vollständigen Ergebnisse, die im Folgenden zusammengefasst sind.

Um industrielle Überschusswärme nutzen zu können, muss diese zuerst identifiziert werden. Dazu wurden in den Tasks 1 und 2 unterschiedliche Erhebungsmethoden (Bottom-Up, Top-Down; Fragebögen, detaillierte Pinch-Analysen, Hybride Methoden) diskutiert, verglichen und Lücken bei der Identifikation von Überschusswärme aufgezeigt. Studien zur Verfügbarkeit von Überschusswärme, die in den einzelnen Teilnehmerländern durchgeführt wurden, wurden ebenso gesammelt. Dadurch konnte ein klareres Bild über die verfügbaren Informationen zu Überschusswärme erarbeitet werden.

¹ SET-Plan ACTION n°6 -Implementation Plan – Endorsed 27/09/2017: "Continue efforts to make EU industry less energy intensive and more competitive"

² Umsetzungsplan Mission Innovation Austria, <https://www.nachhaltigwirtschaften.at/de/e2050/highlights/mission-innovation-austria-fokusgruppen.php>, (abgerufen am 25.4.2022; 14:34)

³ <https://iea-industry.org/annexes/annex-xv-industrial-excess-heat-recovery/>, (abgerufen am 25.2.2019; 11:12)

Sind Informationen zu den verfügbaren Überschusswärmequellen in ausreichender Qualität vorhanden, können Prozessintegrationsmethoden eingesetzt werden, um mögliche Projekte zur Effizienzsteigerung durch Nutzung der Überschusswärme zu identifizieren. Im internationalen Konsortium wurden in Task 2 Workshops organisiert um den Austausch zu Prozessintegrationsmethoden, die in den teilnehmenden Ländern entwickelt wurden, voranzutreiben. Hierbei wurden potentielle Synergieeffekte der einzelnen Ansätze deutlich.

In den Diskussionen über die Methoden und die Art und Weise der Ermittlung von Überschusswärmepotentialen wurde festgestellt, dass Kenntnisse über das gesamte Energiesystem sehr wichtige Informationen über solche Möglichkeiten liefern können. Daher wurden im Konsortium insgesamt 17 Beispiele aus verschiedenen Industriezweigen zusammengestellt, die detaillierte Informationen über Wärmeströme, Temperaturniveaus usw. enthalten.

Um das volle Potential vorhandener Überschusswärme ausnutzen zu können, müssen Technologien für die Wärmerückgewinnung genutzt werden. Diese können unterteilt werden in Direktnutzung ohne Upgrade, Upgrade durch Wärmepumpen und Technologien zur Stromerzeugung. In Systemen mit schwankenden oder intermittierenden Überschusswärmemengen kann die Wärmespeicherung ein attraktiver oder notwendiger Bestandteil eines Wärmerückgewinnungssystems sein. In den Tasks 1 und 2 wurden dazu Projekteinhalte zur Technologieentwicklung gesammelt und aufbereitet.

Neben der technischen Machbarkeit der Überschusswärmenutzung spielen auch politische Instrumente eine entscheidende Rolle für die tatsächliche Umsetzung von Überschusswärmeprojekten. In Task 1 wurden dazu vier wesentliche Kategorien politischer Instrumente identifiziert: Regulative / Administrative; Wirtschaft / Steuern / Subvention; Informations- / Verhaltensänderungen; Technische Verbesserungen / Forschung. Aufgrund der Notwendigkeit einer radikalen Dekarbonisierung der Gesellschaft werden sich die politischen Instrumente in naher Zukunft höchstwahrscheinlich sukzessive ändern. Da überschüssige Wärme in den meisten Fällen sehr geringe THG-Emissionen aufweist, wird dieser Sektor sehr wahrscheinlich von einer solchen Entwicklung profitieren.

Mit dem Abschluss von Task 2 wurden folgende Punkte für weiterführende Arbeiten identifiziert:

- Alle teilnehmenden Länder scheinen die Nutzung von Überschusswärme als einen ihrer vorrangigen Energieeffizienzbereiche zu betrachten.
- Obwohl Nutzung von Wärmeüberschuss in allen teilnehmenden Ländern üblich ist, gibt es in diesem Bereich noch ein großes Potenzial für Energieeinsparungen. Das technische Potenzial scheint riesig zu sein, und es gibt auch ein großes wirtschaftliches Potenzial. Dies geht aus den zahlreichen Umfragen hervor, in denen vielversprechende Möglichkeiten ermittelt wurden.
- Es gibt aber auch viele Hürden für die Umsetzung der Abwärmenutzung. Viele Möglichkeiten wurden aufgrund einer oder mehrerer dieser Hürden nicht verwirklicht. Diese sind z.B.:
 - Fehlen einer angemessenen Bestandsaufnahme, d. h. die tatsächlichen Mengen und Temperaturniveaus der überschüssigen Wärme wurden nicht ermittelt
 - Ungewissheit über die Integration, die Steuerung und das Zusammenspiel mit anderen Teilen des Energiesystems
 - Unterschiedliche Anforderungen an die Rentabilität von Investitionen zwischen Anbieter und Nutzer

- Unwirtschaftliches Projekt mit den heutigen politischen Instrumenten (aber in vielen Fällen vielversprechend mit möglichen zukünftigen politischen Instrumenten)
- Zu hohes Risiko aufgrund der Ungewissheit über die künftigen Bedingungen

4 Projektinhalt

Das Implementing Agreement „Industrial Energy-Related Technologies and Systems“ (IETS) widmet sich dem Thema Energienutzung in der Industrie. Ziel ist eine verstärkte Forschung und Entwicklung von industriellen Energietechnologien und -systemen im Zuge einer internationalen Kooperation zwischen OECD und Nicht-OECD Ländern. Im Zentrum stehen dabei die Zusammenarbeit industrierelevanter Forschungsdisziplinen, die Vernetzung innerhalb von Industriesektoren und zu Querschnittstechnologien sowie der Informations- und Wissenstransfer zwischen Experten/innen aus Industrie, Wissenschaft und Politik. Eine Beteiligung im IETS erlaubt es österreichischen Stakeholdern sich international zu vernetzen, F&E-Leistungen zu industriellen Energietechnologien und -systemen anzubieten und Projekte mit österreichischen Technologien im Ausland zu realisieren.

Der **internationale** IEA IETS Annex 15 verfolgt einen multi-disziplinären Ansatz zur integrierten Nutzung von industrieller Abwärme und zielt auf die Optimierung und (Weiter-)Entwicklung von energie- und kosteneffizienten Technologien für die industrielle Anwendung im globalen Kontext ab.

Folgende Subtasks wurden im Annex 15 Task 3 bearbeitet:

4.1. Subtask 1: Kombination von Methoden zur Identifizierung und Quantifizierung von Überschusswärme

Die qualitative und quantitative Erhebung und Bewertung verfügbarer Abwärmepotentiale ist die Grundlage für die Auslegung und den Betrieb maßgeschneiderter Nutzungswege in industriellen und kommunalen Versorgungsnetzen. Das wird insofern noch wichtiger als sowohl die direkte Nutzung in Wärmetauschernetzwerken als auch die indirekte Nutzung von Bedeutung ist, die verfügbare Abwärme auf höhere Temperaturniveaus heben zu können oder zu speichern.^{4,5}

Mit Hilfe von Fragebögen können mit einem für die Industrie vertretbar geringem organisatorischen und finanziellen Aufwand Informationen über technisch und wirtschaftlich nutzbare Abwärmepotentiale ermittelt werden. Ein Hauptproblem ist jedoch die geringe Reaktions- oder Rückflussrate sowie die Qualität der erhaltenen Daten. Mit Methoden der Prozessintegration (z.B. Pinch-Analyse, Optimierungsansätze) kann ein detaillierteres Bild dieser Abwärmepotentiale erreicht werden. Diese Methoden erfordern jedoch wesentlich mehr Informationen über das Energiesystem und mehr Zeit und Aufwand. Eine interessante Fortsetzung ist nun die Anwendung kombinierter Methoden bei Energieaudits und Energiebilanzen.

⁴ Fluch Jürgen: Industrielle Abwärmennutzung, In: AEE Intec (Hrsg.): nachhaltige technologien, AEE Intec, Gleisdorf, 2017-03

⁵ Fluch Jürgen, Wilk Veronika, Lange Daniel., Wertz Dietrich., Brunner Christoph, Grubbauer Anna., Königshofer Petra, Veynandt Francois, Fleckl Thomas, Ponweiser Karl: Evaluation of innovative integration concepts of combined solar thermal and heat pump systems for efficient thermal supply of industrial processes – based on case studies and the results of the project EnPro, Vortrag: 11th ISES EuroSun 2016, Palma de Mallorca, Spanien; 11.10.2016 - 13.10.2016; in: "EuroSun 2016 / ISES Conference Proceedings (2016)", (2016), 13 Seiten. doi:10.18086/eurosun.2016.02.02

4.2. Subtask 2: Auswirkungen künftiger Veränderungen in den industriellen Energiesystemen auf den Wärmeüberschuss

Alle Projekte, die in Task 2 berichtet wurden, befassen sich, aufgrund der Notwendigkeit einer Dekarbonisierung der Industrie, mit der Identifizierung von Überschusswärme in heutigen Systemen. Die industriellen Energiesysteme stehen jedoch vor einem großen Wandel hin zu einem niedrigeren Energieverbrauch sowie teilweise zu neuen Prozess- und Energieversorgungstechnologien. Dieser Wandel bedeutet eine radikale Veränderung für die Überschusswärmemengen. Diese Unsicherheit führt zu hohen Planungsrisiken bei der Entwicklung zukünftiger Abwärmenutzungssysteme.

In diesem Subtask werden zukünftige Veränderungen in industriellen Energiesystemen untersucht, die die verfügbare Überschusswärmemenge und deren Temperaturniveau beeinflussen könnten. Beispiele für solche Veränderungen sind radikale Energieeffizienzmaßnahmen, Technologiewechsel, integrierte Bioraffinerien, Elektrifizierung (basierend auf erneuerbarem Strom), CCS/CCU/BECCS, erneuerbare Wärmequellen und industrielle Wärmespeichersysteme. Die Auflistung der vielversprechendsten Prozess- und Technologieänderungen und deren Auswirkungen auf die Abwärme ist ein wichtiges Ergebnis dieses Subtasks. Bestehende Erhebungen und Potentialstudien sind die Grundlage für diese Arbeitsschritte (siehe dazu das Projekt Renewables4Industry)⁶

4.3. Subtask 3: Betriebliche Aspekte in industriellen Energiesystemen

Die überschüssige Wärme unterliegt, abhängig von der jeweiligen Branche, sowohl kurzfristigen als auch saisonalen Schwankungen. Ein optimiertes System muss von der Flexibilität des Systems und deren Integration profitieren. Die Industrie ist von der Anzahl und Komplexität solcher Möglichkeiten teilweise überfordert und benötigt klare Antworten und Strategien in Bezug auf Konzeptentwicklung, flexible Steuerungssysteme und Monitoring. In diesem Subtask werden daher neue digitale Konzepte (online, prädiktiv und ganzheitlich) für industrielle Energieversorgungssysteme betrachtet, die die Integration flexibler Verbraucher und die Nutzung der Abwärme im Gesamtsystem optimal steuern.

4.4. Subtask 4: Chancen- und Risikobewertung für Wärmeüberschussprojekte

Wesentliche Hinderungsgründe für Projekte zur Nutzung von Überschusswärme sind unter anderem, Investitionsrisiken, Informations- und Sozialrisiken (z.B. Moral Hazard und damit Vertrauen), Wirtschaftliche Risiken (z.B. Energiepreise, Abhängigkeiten, Überhitzungsmarktstrategien),

⁶ Moser Simon et.al.: Renewables4Industry – Abstimmung des Energiebedarfs von industriellen Anlagen und der Energieversorgung aus fluktuierenden Erneuerbaren. Vortrag: Science Brunch Industrielle Energiesysteme, Klima- und Energiefonds, 28.05.2018, <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/6/Praesentation-Moser-Renewables4Industry-Science-Brunch-Mai-2018.pdf> (abgerufen am 08.09.2022; 11:52)

Technische Risiken (z.B. technischer Ausfall, falsche Umsetzung, Änderung der Produktionskapazität, Lock-in-Effekte), Unklare Vorgehensweise bei Back-up-Systemen und Qualitätssicherung, Mangel an innovativen Geschäftsmodellen (auch in industriellen Clustersystemen), Mangel an innovativen wirtschaftlichen Bewertungskriterien und -strategien, Unsicherheit über die langfristige Verfügbarkeit der Abwärme, unterschiedliche Anforderungen an die Amortisationszeiten zwischen Anbieter und Empfänger der Abwärme oder Unsicherheit über politische Instrumente und deren zukünftige Entwicklung.

Es gibt dazu mehrere laufende und geplante Projekte zur Risikominimierung in den IETS-Ländern. Dazu zählt auch die standardisierte Projektbewertung als Grundlage für Investitionsentscheidungen. In diesem Subtask werden Ansätze und Erfahrungen dieser sowie wissenschaftliche Projekte zur Identifizierung von Möglichkeiten ausgetauscht und diskutiert.

4.5. Subtask 5: Zusammenstellung innovativer Wärmeüberschussprojekte

Aufgrund der hohen Anzahl von Projekten in den teilnehmenden Ländern ist es unmöglich, Informationen über alle Projekte zu sammeln. Einige Projekte haben das Potential als Best-Practice Ansätze für die verstärkte Nutzung industrieller Abwärme zu dienen. Durch die zentrale Zusammenstellung von Informationen über solche Projekte wird ein Wissensaustausch zwischen den teilnehmenden Ländern erreicht. Diese Zusammenstellung kann als Grundlage für eine spätere Entwicklung einer Online-Datenbank für innovative Abwärmeprojekte dienen.

4.6. Darstellung des internationalen Konsortiums

Im Rahmen des ExCo Meetings wurde als **Annex-Manager René HOFMANN** (AIT Austrian Institute of Technology) gewählt, der von **Thore BERTSSON** (Chalmers Industrial Technology, Industrial Energy) unterstützt wird. Das internationale Projektkonsortium setzt sich aus den folgenden internationalen Teilnehmern zusammensetzen:

- Österreich: Technische Universität Wien (TUW), AEE - Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC), Austrian Institute of Technology (AIT) und Energieinstitut der Johannes Kepler Universität Linz (EI-JKU)
- Kanada: Natural Resources Canada – CanmetENERGY
- Dänemark: Weel & Sandvig, DTU, Viegand Maagoe
- Frankreich: Greenflex
- Italien: ENEA
- Norwegen: SINTEF
- Portugal: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), Instituto Superior Técnico (IST) und National Group for Process Integration (GNIP)
- Schweden: Chalmers University of Technology, (Alpha Laval: seit 2021)
- Schweiz: HSLU Hochschule Luzern

Meetings wurden aufgrund der grassierenden Pandemie virtuell abgehalten. Es fanden insgesamt 6 Meetings statt, einschließlich 5-tägiger Vertiefungsm Meetings für die einzelnen Subtasks.

Meetings im Jahr 2021:

- Annex Q1 Meeting, online, 18. – 19. Januar 2021:
- Annex Q2 Meeting, online, Deep Dive Sessions
 - 22. April 2021
 - 26. April 2021
 - 27. April 2021
 - 28. April 2021
 - 29. April 2021
- Annex Q4 Meeting, online, 4. Oktober 2021

Am 31. Januar 2022 fand ein Abschlusstreffen statt, bei dem die weiteren Arbeiten besprochen wurden. Es wurde festgestellt, dass es noch viele offene Fragen gibt, die im Rahmen der bisherigen Subtasks nicht ausreichend beantwortet werden konnten. Daraus ergaben sich neue Themen, die in den nächsten Jahren im Rahmen eines Task 15 - Subtask 4 bearbeitet werden könnten.

4.7. Einbettung der österreichischen Partner in den Annex

Im Zuge der vorangegangenen Projekte zum Annex 15 Task 3 hat sich gezeigt, dass die internationalen Teilnehmer bei der Umsetzung von Abwärmeprojekten vor ähnlichen Hindernissen wie Österreich stehen. Durch die Zusammenarbeit im Annex wird das Bewusstsein über zukünftige Szenarien im industriellen Energiesystem geschärft, wodurch relevante Schritte in Richtung politischer Entscheidungsträger unternommen werden können. Die im Annex gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Lehre an der TU Wien, an der FH Burgenland und an der FH Joanneum Graz ein, um die direkte Verknüpfung von aktuellen Forschungsthemen und Bildung zu stärken.

Im Vordergrund der Beteiligung am IEA IETS Annex 15 stehen der Wissenstransfer und die internationale Zusammenarbeit innerhalb des Annexes. Darüber hinaus wurden ergänzende Arbeiten durchgeführt, deren Methodik im Folgenden beschrieben wird: In Task 2 des Annex 15 wurde eine Prozessdatenbank aufgebaut, die für weiterführende Arbeiten im Bereich der Prozessanalyse und Prozessintegration verwendet werden sollten. Im österreichischen Beitrag zur Task 3 wurden diese Prozesse aufgegriffen und mit den national verfügbaren Prozessintegrationsmethoden erneut analysiert.

Diverse nationale und internationale Projekte mit österreichischer Beteiligung adressieren direkt oder indirekt das Thema Abwärme. Projektergebnisse wurden mit einem Fokus auf Abwärmepotentiale neu analysiert bzw. neu interpretiert. So wurden Auswirkungen auf die verfügbaren Temperaturlevels und Abwärmemengen greifbar und konnten im internationalen Konsortium verglichen werden. Damit konnte das Verständnis für zukünftige Entwicklungen in industriellen Energiesystemen gefördert werden. Mittels neu entwickelter Optimierungsmodelle wurden Einflüsse von kostenoptimiertem Betrieb von lokalen Energieversorgungsanlagen auf Abwärmemengen bzw. realisierte Wärmerückgewinnung analysiert.

Die Beiträge der einzelnen BIEGE Partner für Task 3 des Annex stellen sich wie folgt dar:

- **Austrian Institute of Technology (AIT)** stellte mit René Hofmann den neuen Manager des internationalen Annex. Darüber hinaus wurden Inhalte aus laufenden Forschungsprojekten eingebracht. Thematische Schwerpunkte dabei sind Kopplung von Design- und Betriebsoptimierung von Energieversorgungssystemen sowie Elektrifizierung in der Industrie durch Integration von Wärmepumpen.
- **AEE - Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)** brachte Erfahrung und Projektergebnisse zur Erhebung sowie zur qualitativen und quantitativen Bewertung des Nutzungspotentials industrieller Prozesswärme ein. Dazu gehören auch Entwicklungen zum Design und Betrieb hybrider Energieversorgungssysteme, der Digitalisierung, Optimierungsansätze, eine standardisierte Projektbewertung und der daraus abgeleiteten maßgeschneiderten Finanzierung bzw. Förderung solcher Abwärmenutzungsprojekte. Der Beitrag wurde um die Erfahrungen zu Chancen und Barrieren in der Umsetzung von Projekten vom Erstkontakt bis zur Inbetriebnahme ergänzt.
- **Das Institut für Thermodynamik und Energietechnik der TU Wien (TUW)** brachte seine langjährige Kompetenz und Know-how im Bereich der Analyse industrieller Wärmenetzwerke sowie der industriellen Abwärmenutzung mit und ohne der Integration von Speichertechnologien in das Konsortium ein.
- **Das Energieinstitut der Johannes Kepler Universität Linz (EI-JKU)** trug mit Erfahrungen zu den Barrieren und Lösungsansätzen der betriebsexternen Abwärmenutzung (Laufende und Vorprojekte Open Heat Grid, betriebsübergreifender Energieaustausch, S-PARCS, etc.) zum Projekt bei. Ebenso wurden bestehender nationaler Kontakte zu (hochrelevanten) Industriebetrieben und Erkenntnissen zu Herausforderungen bei Energiekooperationen ins Projekt eingebracht.

4.8. Innovationsgehalt des Vorhabens und erwartete Ergebnisse

Ziel des Annexes ist es, Wissen über die Durchführung von diversen Abwärmenutzungsprojekten in der Industrie auf internationaler Ebene zu bündeln. Dies beinhaltet die Schaffung einer internationalen Netzwerk- und Informationsinfrastruktur für Schlüsselakteure zum Austausch von Wissen, die gemeinsame Entwicklung neuer Erkenntnisse und von Fachkenntnissen zur industriellen Abwärme sowie die Unterstützung und Beschleunigung des Einsatzes der Praktiken in der Prozessindustrie. Die einzelnen Tasks bündeln und verbreiten das international vorhandene Wissen und ermöglichen eine Übertragung auf die österreichischen Akteure. Die österreichischen Innovationsvorsprünge werden international präsentiert und Verwertungsmöglichkeiten aufgetan.

Ein besonderer Fokus aus österreichischer Sicht wird auf die qualitative und quantitative Bewertung des industriellen Abwärmepotentials gelegt. Dazu werden standardisierte Vorgehensweisen weiter ausgebaut und validiert, konkrete Umsetzungskonzepte anhand ausgewählter Fallstudien entwickelt und über geeignete Geschäftsmodelle und standardisierte organisatorische Abläufe im Idealfall initiiert. Dazu zählt auch die Sammlung von Best Practice Beispielen, die für die Zielgruppe entsprechend aufbereitet und verbreitet werden.

Neben dem Austausch von bisherigen Erkenntnissen dient die Teilnahme am internationalen Netzwerk der Entwicklung von neuen innovativen Überschusswärmeprojekten (Subtask 5).

Die auf internationaler Ebene erwarteten Ergebnisse waren:

- Synthesebericht über die Ergebnisse der im Task 3 enthaltenen und in der Literatur berichteten Projekte, unterteilt in die fünf Subtasks,
- Bericht über Diskussionspunkte und Ergebnisse in der im Task 3 einbezogenen Workshops,
- Empfehlung für die weitere internationale Arbeit,
- Bericht von jedem Teilnehmerprojekt,
- gesammelte Ergebnisse zu Potentialen und Herausforderung der internen und externen Nutzung von industrieller Abwärme,
- Verbreitungsaktivitäten der einzelnen teilnehmenden Länder.

4.9. Verwertungsstrategie auf Annex-Ebene

Die Ergebnisverwertung fand und findet auf externer und interner Ebene statt.

Disseminierung:

- Allgemeine Informationen über den Task werden vom IETS-Sekretariat auf die Website von IETS hochgeladen.
- Die Ergebnisse des Annex 15 Task 3 sind auf der IETS-Website verfügbar.
- Weiters wurden neben den Projektberichten laufend Aktivitäten zur Verbreitung gesetzt. Dazu gehören spezifische Fachartikel, Social-Media-Aktivitäten und die Verbreitung über partnerspezifische Kanäle

4.10. Zusammenarbeit mit anderen IEA-Aktivitäten

Industrielle Überschusswärme ist ein Teil eines industriellen Energiesystems und steht in direkter Wechselwirkung mit anderen Teilen. Daher ist eine engere Zusammenarbeit innerhalb von IETS und anderen IEA TCPs für die zukünftige Arbeit wichtig. Die Tätigkeiten im Annex 15 sind unter anderem mit folgenden Tasks im IEA TCP IETS vernetzt:

- Task XI, Industry-based biorefineries towards sustainability
- Task XVIII, Digitalization, Artificial Intelligence and Related Technologies for Energy Efficiency and GHG Emissions Reduction in Industry
- Task XIX, Electrification in Industry
- Task XXI, Decarbonizing industrial systems in a circular economy framework

Zudem besteht ein Konnex zu den TCPs *Heat pumping*, *IEAGHG (CCUS technologies and systems)*, *ISGAN (International Smart Grid Action Network)* und *Energy in buildings and communities*.

5 Ergebnisse

Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse aus dem Annexprojekt sind stark an den geplanten Synthesis Report des internationalen Projektes angelehnt. Der Synthesis Report ist gleichzeitig als wichtigste Publikation aus dem internationalen Projekt heraus zu verstehen und ist auf der Annex-Webseite⁷ abrufbar. Zudem stellt dieses Dokument auch die wichtigste Publikation für das österreichische Konsortium dar, da wesentliche Beiträge aus Österreich in das Dokument einfließen und dessen Erstellung vom Annexmanager René Hofmann als Teil des nationalen Projektes koordiniert und vorangetrieben wurde.

5.1. Ergebnisse aus den Subtasks 1-4

Um die Inhalte besser gliedern zu können, wurden für die Subtasks 1-4 wesentliche Fragestellungen definiert, die für die einzelnen Projektbeiträge auszuarbeiten waren. Die Antworten wurden anschließend zusammengefasst und aufbereitet, um möglichst generalisierte Schlüsse ableiten zu können. In weiterer Folge werden die Beiträge zu den einzelnen Subtasks und die damit verbundenen Fragestellungen erörtert.

5.1.1. Subtask 1: Kombination von Methoden zur Identifizierung und Quantifizierung von Überschusswärme

Informationen über die Möglichkeiten des Wärmeüberschusses können mit relativ geringem Aufwand für die Industrie durch Fragebögen gesammelt werden. Eine besondere Herausforderung ist jedoch die geringe Rücklauf- bzw. Ausfüllquote der teilnehmenden Gruppen. Einige Vorschläge, um dies zu verbessern, wären den Berichten zufolge ein schrittweises Vorgehen mit Telefonanrufen, der Verteilung von Fragebögen, Standortbesuchen mit persönlichen Gesprächen und Folgebesuchen.

Die Qualität der erhobenen Daten scheint auch zwischen den einzelnen Industriezweigen und Betrieben zu variieren. Je größer und energieintensiver die Branche ist, desto besser ist das intern verfügbare Wissen (z. B. durch Energiemanager). Andererseits verfügen komplexe energieintensive Industrien oft über komplexe Wärmetauschernetzwerke, die es schwieriger machen können, die tatsächlichen Wärmeüberschüsse, sowohl die Mengen als auch die Temperaturniveaus, ohne eine eingehendere Untersuchung zu ermitteln. Das direkt beobachtbare Niveau kann manchmal zu einer Unterschätzung führen.

Mit Methoden der Prozessintegration lässt sich ein detaillierteres Bild der Wärmeüberschussmöglichkeiten gewinnen. Diese Methoden erfordern jedoch wesentlich mehr Informationen über das Energiesystem und einen höheren Zeit- und Arbeitsaufwand sowohl für Energiemanager als auch für Experten für Prozessintegration. Diese fortschrittlicheren Methoden sind vor allem für energieintensive Industrien mit komplexen Wärmetauschernetzen von Interesse.

⁷ <https://iea-industry.org/tasks/annex-xv-industrial-excess-heat-recovery/>, (abgerufen am 01.05.2022; 22:22)
17 von 51

Eine dritte allgemeine Methode liegt in ihrer Komplexität irgendwo zwischen den beiden oben genannten Extremen. Es werden verfügbare Datenbanken über industrielle Energiesysteme und Prozessschemata verwendet, die in einigen Fällen durch Fragebögen, Besuche oder Interviews ergänzt werden. Eine interessante Weiterführung könnte darin bestehen, kombinierte Methoden für neue Energieaudits und Energiebilanzen zu verwenden, die jetzt in allen EU-Ländern durchgeführt und den staatlichen Stellen gemeldet werden.

Ziel dieses Subtasks war es, ein Netzwerk zwischen Gruppen zu schaffen, die an der Entwicklung einer Kombination von Methoden arbeiten und/oder daran interessiert sind. Die gestellten Fragen zielten darauf ab, Einblicke in die Datenanforderungen und die in den Projekten angewandten Methoden zu gewinnen, die wiederum dazu beitragen können, die Anwendung der Überschusswärmenutzung in der Industrie auszuweiten und den Beteiligten mehr Klarheit über dieses dynamische Thema zu verschaffen.

Wesentliche Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Subtask

1. Wie können Prozessintegrationsmethoden wie z.B. Pinch-Analyse mit spezifischen Datenanforderungen mit eher qualitativen Inputs aus Fragebögen und/oder Erkenntnissen aus Studien zu einzelnen Industriezweigen kombiniert werden, um Wärmeüberschusspotenziale zu berechnen?
2. Wie könnten diese Lücken geschlossen werden, ohne neue Messdaten zu erheben?
3. Welche Methoden haben Sie in früheren Projekten verwendet (z.B. Pinch-Analyse, Fragebögen, breitere Studien zu einer bestimmten Branche)?
4. Verwenden Sie bereits kombinierte Ansätze?
5. Welche Hilfsrechnungen haben Sie zur Abschätzung des Wärmeüberschusspotenzials durchgeführt?
6. Auf welche Hindernisse sind Sie gestoßen, die eine Kombination von Informationen erforderlich machen würden?
7. Ist es möglich, durch Kombination von Fragebögen und Erkenntnissen aus früheren Studien genügend Daten zu erhalten? (z. B. Kombination von Informationen über Anlagengröße, Produktdurchsatz und Informationen aus früheren Studien)
8. Welche Voraussetzungen (Datenbanken, Datenpflege, Wissen über Zusammenhänge innerhalb der Prozesse, ...) müssten erfüllt sein, um diesen methodenübergreifenden Ansatz zu ermöglichen?

Tabelle 1: Projektbeiträge für Subtask 1 nach Ländern und Institutionen

Land/Institution/Projekt	Fragenbögen	Branchenspezifische Studien	Methoden zur Prozessintegration	Hybride Methoden
Österreich				
CORES (AEE INTEC, AIT, TU Wien)				X
DigitalEnergyTwin (AEE INTEC)			X	
EUREMnext (AEE INTEC)	X			
SolarAutomotive (AEE INTEC)			X	
SolarReaktor (AEE INTEC)		X		
TrustEE (AEE INTEC)		X		
Frankreich (Greenflex)				
Waste heat recovery potential study in "Ile-de-France"	X	X	X	X
Dänemark (DTU)				
Development of Process Integration Methodologies for Systematic Implementation in non-energy Intensive Industries			X	
Energy efficiency in the industry: A study of the methods, potentials and interactions with the energy system				X
Schweiz (HLSU)				
Guidelines for the use of Industrial Waste Heat		X		X

Allgemeine Schlussfolgerungen

Wie können Prozessintegrationsmethoden wie z.B. Pinch-Analyse mit spezifischen Datenanforderungen mit eher qualitativen Inputs aus Fragebögen und/oder Erkenntnissen aus Studien zu einzelnen Industriezweigen kombiniert werden, um Wärmeüberschusspotenziale zu berechnen?

Insgesamt gab es auf diese Frage eine Reihe unterschiedlicher Antworten. Einige Antworten verwiesen auf die mangelnde Qualität der Fragebögen und frühere Projekte als Vorteil für die Kombination der Pinch-Analyse mit einem eher qualitativen Input. Andere Befragte verwiesen auf sicherheitsrelevante Vorschriften, die bei der Abwärmenutzung einzuhalten sind; Fragebögen; direkte Kontakte mit den Standorten und die Verwendung spezifischer Kennzahlen, die für einige wenige Sektoren zur Bestimmung des Wärmeüberschusspotenzials verwendet werden können.

Vertreter der Hochschule Luzern stellten die Verwendung einer groben Pinch-Analyse vor, um die Entscheidung darüber zu erleichtern, wie relevant oder nützlich eine detailliertere Pinch-Analyse sein würde. Eine grobe Pinch-Analyse könnte verwendet werden, um:

- den aktuellen Stand des Energieverbrauchs zu ermitteln
- das Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz und der Abwärmenutzung grob zu quantifizieren
- erste Konzepte für mögliche Energieeffizienzmaßnahmen zu identifizieren
- das weitere Vorgehen zu empfehlen, insbesondere wenn eine detaillierte Engpassanalyse notwendig ist.

Schließlich wurde angemerkt, dass Prozessintegrationsmethoden durch jede mögliche Informationsquelle zusätzlich zu den tatsächlichen Messungen unterstützt werden sollte. Dazu können technische Beurteilungen und Schätzungen von Mitarbeitern oder Experten vor Ort oder aus relevanten Quellen für ähnliche Prozesse gehören. Es wurde darauf hingewiesen, dass die Produktionsraten im Laufe der Zeit schwanken und Messungen unsicher sind, was bedeutet, dass keine exakten Ergebnisse zur Verfügung stehen würden. Die Zuordnung erfordert daher eine Modellierung auf den Grundprinzipien zur Erstellung von Massen- und Energiebilanzen. Es wurde auch darauf hingewiesen, dass GIS-Daten und Datenbanken für die örtliche und zeitliche Veränderung des Wärmebedarfs und des Wärmeüberschusses genutzt werden könnten, um das tatsächliche Potenzial der Integration zwischen Industriestandorten und mit umliegenden Fernwärmesystemen zu ermitteln.

Wie könnten diese Lücken geschlossen werden, ohne neue Messdaten zu erheben?

Die Mehrheit der Befragten stimmte zu, dass es eine Herausforderung sei, überhaupt Antworten auf Fragebögen zu erhalten. Es wurde daher empfohlen auch Fachkenntnisse und Erkenntnisse aus früheren Projekten zurückzugreifen, um diese Lücken zu schließen. Ebenso wurde auf die Notwendigkeit verwiesen, die Ergebnisse von beantworteten Fragebögen zu extrapolieren. Zwei der vier Antworten befürworteten den Einsatz der Pinch-Analyse, um die Lücken in den Messdaten zu schließen, wobei angemerkt wurde, dass die grobe Pinch-Analyse herangezogen werden könnte, um die Genauigkeit der Top-Down-Methoden zu verbessern, die zur Identifizierung und Quantifizierung der sektorspezifischen Überschusswärme eingesetzt werden. Neben den Schätzungen des Personals vor Ort wurde auch auf die Notwendigkeit des technischen Urteilsvermögens verwiesen.

Welche Methoden haben Sie in früheren Projekten verwendet (z.B. Pinch-Analyse, Fragebögen, breitere Studien zu einer bestimmten Branche)?

In drei von vier Projekten wurden Fragebögen verwendet, auch für Energieaudits, wobei darauf hingewiesen wurde, dass dieser Ansatz unter mangelnder Resonanz und Datenqualität leide, da das Ausfüllen des Fragebogens nicht zum Kerngeschäft der jeweiligen Unternehmen gehöre. Andere Methoden umfassten die Beschaffung aller Informationen über Leit- und Monitoringsysteme, die Bewertung von Wärmeüberschüssen sowie Bottom-up- und Top-down-Ansätze.

Die Pinch-Analyse wurde von den Befragten mit unterschiedlicher Datengrundlage eingesetzt: Eine Pinch-Analyse basierte auf Audit-Informationen; ein anderer merkte an, dass die Pinch-Analyse am besten für Industriestandorte geeignet sei, dass sie aber zeitaufwändig sei, da Messungen erforderlich seien und ein größeres Verständnis des Prozesses und der eingesetzten Technologien erforderlich sei. Eine Rückmeldung schließlich stützte sich auf eine Vielzahl von Methoden, darunter die Modellierung von Prozessen auf der Grundlage von First-Principles-Mapping, Expertenbefragungen, GIS und Datenbanken mit Branchenregistern.

Es wurde auch vorgeschlagen, dass Pinch-Analyse-Methoden auf regionaler Ebene geeignet sein könnten, um die Bewertung von Überschusswärmepotentialen zu verfeinern. Jedoch sei zu bedenken, dass Pinch-Analysen zeitintensiv seien und Analysen für ausgewählten Standorte für andere Standorte extrapoliert werden müssten.

Verwenden Sie bereits kombinierte Ansätze?

Alle gaben an, dass sie kombinierte Ansätze verwenden. Zwei von vier Rückmeldungen gaben an, dass sie die Pinch-Analyse verwenden, wobei von einer angemerkt wurde, dass sie diese mit Fragebögen/Filialstudien kombinieren, was ebenfalls darauf hindeutet, dass die Pinch-Analyse für Studien auf regionaler Ebene nützlich sein könnte, um die Bewertung des Wärmeüberschusses zu verfeinern (siehe oben). Ebenso wurde angegeben, dass eine grobe Pinch-Analyse verwendet wird, die einen kombinierten Fragebogenansatz beinhaltet und anschließend in zugehörigen Workshops mit Schlüsselpersonal verfeinert wird. Schließlich wurde in einer Rückmeldung darauf hingewiesen, dass mittels Datenreduzierung und Zerlegung wichtige Maßnahmen identifiziert werden können.

Welche Hilfsberechnungen haben Sie zur Abschätzung der Wärmeüberschusspotenziale durchgeführt?

Es gab keine einheitlichen/vergleichbaren Antworten. Von einem Teilnehmer wurde angegeben, dass eine Reihe von Hilfsberechnungen verwendet werden, darunter Konsistenzprüfungen, Massen- und Energieanalysen, Top-Down-Ansätze und die Verwendung von statistischen Daten aus seiner eigenen Datenbank. In einer weiteren Rückmeldung wurde erklärt, dass aufgrund der mit einer groben Pinch-Analyse gewonnenen Informationen die Composite Curves und die zugehörige Grand Composite Curve ermittelt werden konnten. Dementsprechend wurden in ihrem Projekt keine weiteren Hilfsberechnungen durchgeführt. Entscheidend für die Verwendung der Grand Composite Curve ist, dass zuerst die Wärmerückgewinnung betrachtet wird, bevor das Überschusswärmepotenzial ermittelt wird. Die grobe Pinch-Analyse erlaube es auch, erste Konzepte für mögliche Energieeffizienzmaßnahmen und die Auswirkungen auf die Überschusswärmemenge zu ermitteln. Ein weiterer Befragter nutzte Prozessmodellierung auf der Grundlage von First-Principles-Mapping und Sensitivitätsanalysen.

Auf welche Hindernisse sind Sie gestoßen, die eine Kombination von Informationen erforderlich machen würden?

Die Befragten bestätigten die Schwierigkeiten bei der Bewertung und Identifizierung durch die Industrie selbst, wobei eine niedrige Rücklaufquote der Fragebögen eine ständige Hürde darstellte, die es zu überwinden galt. In Bezug auf die Verwendung der Pinch-Analyse wurde angemerkt, dass teilweise nicht genügend Zeit für die Umsetzung vorhanden sei. Das Engagement der Unternehmen in Bezug auf die Beantwortung der Fragebögen und die Bereitschaft eine Pinch-Analyse durchzuführen, wurde von zwei verschiedenen Projekten erwähnt, wobei wiederum die grobe Pinch-Analyse als wichtiger Ansatz hervorgehoben wurde, das Energieprofil konsistent zu ermitteln. Im gleichen Sinne merkte ein Projekt an, dass das Mapping und die Modellierung einen erheblichen Zeit- und Arbeitsaufwand erfordert, bevor weitere Analysen durchgeführt werden können. Der letzte Befragte wies darauf hin, dass für die Unsicherheitsanalyse Monte-Carlo-Methoden eingesetzt werden können, was zu einer zusätzlichen Komplexität der Analyse führt.

Ist es möglich, durch die Kombination von Fragebögen und Erkenntnissen aus früheren Studien genügend Daten zu erhalten? (z. B. die Kombination von Informationen über die Größe der Anlagen, den Produktdurchsatz und Informationen aus früheren Studien)

Auch hier waren die Antworten unterschiedlich und wiesen wenig bis keine Gemeinsamkeiten auf. Es ist möglich, sich auf Fragebögen, sektorspezifische Studien, den Zugang zu bestimmten Datenbanken (die z. B. Branchen, Produktdurchsatz und deren Treibhausgasausstoß auflisten) zu stützen und dabei viele Annahmen zu treffen. Auch hier wurde auf die grobe Pinch-Analyse verwiesen, die auf Informationen aus früheren Studien sowie auf die Größe der Anlagen und den Produktdurchsatz für

ähnliche Prozesse zurückgreift, was zum Verständnis des Prozesses und zur Bestimmung des tatsächlichen Heiz- und Kühlbedarfs beiträgt. Es wurde weiters erklärt, dass Informationen über andere Prozesse (innerhalb des Unternehmens oder von anderen) hilfreich sein können, um fehlende Daten zu ermitteln, die während des Projekts nicht festgestellt werden können. Dies ist auch bei der Extrapolation für zukünftige Entwicklungen des Prozesses von Bedeutung.

Studien zur Prozessintegration sind ebenfalls hilfreich, aber die Befragten wiesen darauf hin, dass es von entscheidender Bedeutung ist, die Genauigkeit z. B. durch eine Sensitivitätsanalyse zu überprüfen.

Welche Voraussetzungen (Datenbanken, Datenpflege, Wissen über Zusammenhänge innerhalb der Prozesse,...) müssten erfüllt sein, um diesen methodenübergreifenden Ansatz zu ermöglichen?

Für regionale Integration von Überschusswärme wird eine Liste aller Industrien in dem Gebiet benötigt, mit Angabe des Industriesektors, des geografischen Standorts, des Produktionsdurchsatzes und des Kontakts der für Energie zuständigen Person vor Ort.

Eine Datenbank wäre wünschenswert, in der Analyseergebnisse verschiedener Methoden zur Ermittlung von Wärmeüberschüssen zusammengeführt werden. Diese würde die Entwicklung von methodenübergreifenden Ansätzen erleichtern und die Qualität der Ermittlung und Quantifizierung von Wärmeüberschüssen verbessern. Diese Datenbank würde es mehr Menschen ermöglichen, Zugang zu den Daten zu erhalten, um sie in ihren eigenen Studien zu verwenden und zu lernen, wie andere Methoden durchgeführt wurden, und sie würde den methodenübergreifenden Ansatz fördern, da der untersuchende Ingenieur leichteren Zugang zu relevanten Informationen hätte. Eine wichtige Anforderung wäre die Struktur der Datenbank, um die verschiedenen Datenformate für jede verwendete Methode verfügbar zu machen. Darüber hinaus wäre eine kontinuierliche Datenpflege erforderlich, um die Struktur anzupassen, wenn neue Methoden und Datenformate in die Datenbank aufgenommen werden. Vertraulichkeitsanforderungen müssen bei der Verwaltung der Daten berücksichtigt werden.

Zusätzliche Anmerkungen

Die Bedeutung der Abwärmenutzung und deren Potenziale wurden von Greenflex hervorgehoben. In ihrem Projekt "Waste heat recovery potential study in Ile-de-France" kommen sie zu dem Schluss, dass die Nutzung von Abwärme in der Region Ile-de-France Priorität haben sollte.

Allerdings sind Wärmerückgewinnungsprojekte und insbesondere die Datenerhebung und die Identifizierung guter Wärmeintegrationsprojekte im Allgemeinen zeitaufwendig und für nicht energieintensive Industrien oft unerschwinglich. Darüber hinaus ist die verfügbare Datenbasis in diesen Industrien oft recht dürftig. Im Projekt DigitalEnergyTwin, das darauf abzielt, einen digitalen Zwilling zur Ausarbeitung von Überschusswärmepotenzialen zu verwenden, wurde festgestellt, dass die verfügbaren Daten zu Industrieprozessen im Allgemeinen von unzureichender Qualität sind, um diese digitalen Zwillinge zu erstellen.

Die meisten Projekte in diesem Subtask adressieren diese Probleme, indem sie entweder Klassifizierungen für Integrationsprojekte, Reduktionen für Datenanforderungen, automatisierte Datenanalysen oder generalisierte Kontrollstrategien bereitstellen, um arbeitsintensive Projektschritte zu reduzieren und die Projektrealisierung zu erleichtern. Das Konzept der groben Pinch-Analyse und die an der DTU entwickelte Methode "Required Data Reduction Analysis" zielen auf die Reduktion der Eingangsdaten bzw. deren Qualitätsanforderung ab. Die Arbeit der HLSU liefert

22 von 51

auch Richtlinien für die Vorgehensweise bei Wärmerückgewinnungsprojekten. SolarAutomotive bietet Integrationsschemata für Solarwärme in der Automobilindustrie und erleichtert die Prozessanalyse. In ähnlicher Weise liefert SolarReaktor Prozessklassifizierungen für die Eignung von Solarreaktoren, die ebenfalls den Analyseaufwand verringern. Die in den Projekten EUREMNEXT und die an der DTU entwickelte Methode "Energy-Saving Decomposition" versuchen beide, den Analyseaufwand weiter zu reduzieren. Im Projekt CORES werden auch verallgemeinerte Regelungsstrategien für Energiesysteme abgeleitet, die die Projektschritte zur Umsetzung der identifizierten Effizienzmaßnahmen erleichtern sollen.

Bedarf für weiterführende Arbeiten

Bei der Verfolgung der Dekarbonisierung und der Optimierung komplexer Systeme, wie z.B. Hybridsysteme, ist die Digitalisierung ein mächtiges und notwendiges Werkzeug und es bedarf weiterer Anstrengungen und Forschung in diesem Bereich.

Während die Wärmerückgewinnung aus Verbrennungsanlagen bereits gut bekannt ist, könnten bald auch Projekte zur Rückgewinnung von Wärme aus der Rauchgasbehandlung umgesetzt werden. Auch für die Wärmerückgewinnung aus Abwässern gibt es in der Île-de-France zwar bereits mehrere in Betrieb befindliche Anlagen, aber in den Bereichen Industrie und Rechenzentren gibt es derzeit nur wenige Referenzen in dieser Region. Diese Sektoren stellen daher einen vorrangigen Arbeitsbereich für die Valorisierung von Abwärme dar.

5.1.2. Subtask 2: Auswirkungen künftiger Veränderungen in den industriellen Energiesystemen auf den Wärmeüberschuss

Alle Projekte, über die in Annex 15 Task 2 berichtet wurde, befassen sich mit der Identifizierung von überschüssiger Wärme in den heutigen Systemen. Aufgrund der Notwendigkeit einer tiefgreifenden Dekarbonisierung in der Industrie und bestehender/geplanter politischer Instrumente für diese Ziele werden die industriellen Energiesysteme jedoch wahrscheinlich einen bedeutenden Wandel hin zu einem geringeren zukünftigen Energieverbrauch und teilweise neuartigen Prozess- und Energietechnologien erfahren. Dies wird voraussichtlich mit einer radikalen Veränderung bezüglich verfügbarer Überschusswärme und deren Temperaturniveaus einhergehen. Daher kann die Planung künftiger Systeme zur Nutzung von Überschusswärme auf der Grundlage der heutigen Daten zu falschen Entscheidungen führen.

Beispiele für wichtige Themen sind radikale Energieeffizienzmaßnahmen, Technologieänderungen, integrierte Bioraffinerien, Elektrifizierung (auf der Grundlage von Strom aus erneuerbaren Energiequellen), CCS/CCU/BECCS, erneuerbare Wärmequellen und industrielle Wärmespeichersysteme. In diesem Subtask ist eine standortweite Analyse und ein Systemoptimierungsansatz, der alle vielversprechenden zukünftigen Systemänderungen berücksichtigt, ein entscheidender Bestandteil.

Überschüssige Wärme ist in der Regel und im Prinzip technisch kurzfristig verfügbar, während einige der oben genannten Maßnahmen aus technischen, wirtschaftlichen und/oder politischen Gründen nicht früher als in 10-15 Jahren eingeführt werden können. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, Umsetzungsstrategien zu entwickeln, die sowohl kurz- als auch langfristige Perspektiven einbeziehen, um eine tiefgreifende Dekarbonisierung des Industriesektors zu erreichen. Die

Auflistung der vielversprechendsten Prozess- und Technologieänderungen pro Industriesektor und deren Auswirkungen auf den Wärmeüberschuss ist ein wichtiges Ergebnis dieses Subtasks.

Hauptfragen im Zusammenhang mit dem Subtask

In diesem Subtask wurden zukünftige Veränderungen in industriellen Energiesystemen untersucht, die möglicherweise die Menge an verfügbarer Überschusswärme und deren Temperaturniveau beeinflussen könnten. Zu den Schlüsselfragen in Bezug auf dieses Thema gehört der zukünftige Einfluss der verfügbaren Überschusswärme (Mengen und/oder Temperaturen). Dies kann eine Folge künftiger Veränderungen im umgebenden System und/oder Systemfolgen neuartiger Entwicklungen von Technologien zur Überschusswärmenutzung sein. Im letzteren Fall könnten überschüssige Ströme effizienter genutzt werden, d. h. Stromarten oder Temperaturniveaus, wodurch die Energiebilanzen des Systems und die Möglichkeiten der Überschusswärmenutzung beeinflusst werden.

Der Subtask wurde in vier verschiedene Teile unterteilt. Der erste Teil befasst sich mit dem Einfluss des umgebenden Systems. Die letzten drei Kategorien befassen sich mit den Auswirkungen der Technologieentwicklung.

Die vier Teile sind:

- Allgemeine Systeme
- Neuartige Wärmepumpen
- Speicherung
- Niedertemperatur-Stromerzeugung und Solarenergie

Für alle Teile wurden spezifische Fragen festgelegt. Ziel war es, die Merkmale und Ergebnisse der einzelnen Projekte besser zu verstehen und Vergleiche zwischen den Ergebnissen der einzelnen Projekte zu ermöglichen. Die Fragen lauteten:

Allgemeine Systeme

- Welches ist das wichtigste erwartete Ergebnis des Projekts?
- Welche Rolle spielt Überschusswärme in der Systemforschung?
- Künftige Verfügbarkeit von Überschusswärme (Menge und Temperatur) aufgrund von Veränderungen im umgebenden System?
- Werden Zukunftsszenarien einbezogen?
- Methodenentwicklung für Systemfolgen?

Neuartige Wärmepumpen, Speicherung und Niedertemperatur-Stromerzeugung und Solar:

- Was ist die angestrebte Technologie/Systemverbesserung? Temperaturniveaus? Neuartige hocheffiziente Komponenten? Kapazität? Sonstiges? F&E zur Systemintegration?
- Künftige Änderungen des umgebenden Systems, die in die F&E einbezogen werden?
- Verbessertes Potenzial für überschüssige Wärmenutzung als Ergebnis der F&E? Beliebige Niveau, Fallstudie, Industriotyp usw.

Tabelle 2: Projektbeiträge für Subtask 2 nach Ländern und Institutionen

Land/Institution/Projekt	Allgemeine Systeme	Wärmepumpen	Speicher	Power-Cycles	Solar
Österreich					
SolarReaktor (AEE INTEC)					X
Bamboo (AIT)		X			
DryFiciency (AIT)		X			
HTESDürn – High temperature energy storage device for the thermal centre Dürnrohr (TUW)			X		
Canada (CanmetENERGY)					
Eco-Efficient Processes for Deep Decarbonization of the Industrial Sector	X				
Dänemark (DTU)					
Development of ultra-high temperature hybrid heat pump for process application		X			
Norwegen (SINTEF)					
CETES			X		
COPRO Competitive power production from industrial surplus heat				X	
HighEFF: Centre for an Energy Efficient and Competitive Industry for the Future	X				
Schweden (Chalmers)					
A case study-based approach for targeting of potential future industrial excess heat availability accounting for possible deep decarbonisation measures	X				
Italien (ENEA)					
Systems for Flexible Energy via Reuse of carbOn (SFERO)	X		X		

Allgemeine Schlussfolgerung

Allgemeine Systeme

Die in die Projekte einbezogenen Industriezweige sind: Eisen- und Stahlindustrie (Schweden), Zementindustrie (Italien), Zellstoff- und Papierindustrie (Schweden, Kanada), Chemieindustrie (Schweden), Ölraffinerie (Schweden)

Bei allen Projekten wurde hervorgehoben, wie wichtig es ist, die Möglichkeiten für überschüssige Wärme in einer industriellen Systemperspektive zu betrachten.

Im schwedischen Projekt wird über mögliche Konsequenzen für die Verfügbarkeit von überschüssiger Wärme in vier verschiedenen Fallstudien berichtet. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass mögliche und wahrscheinliche zukünftige Veränderungen enorme Auswirkungen haben können. Es können jedoch keine allgemeinen Schlussfolgerungen über Zu- oder Abnahmen gezogen werden, da die standortspezifische Situation einen großen Einfluss hat. Auch im kanadischen Projekt werden mögliche neue Technologien oder Routen in TMP-Anlagen einen erheblichen Einfluss auf die Energieeffizienz und die Möglichkeiten zur Nutzung überschüssiger Wärme haben. Im SFERO-Projekt wird über große Veränderungen bei den Möglichkeiten der Stromerzeugung aus überschüssiger Wärme oder der Wärmerückgewinnung bei der Zementherstellung durch zukünftige technologische Veränderungen berichtet. In allen drei Projekten wird betont, wie wichtig es ist, derartige Folgen durch Systemstudien, z. B. mit Hilfe einer Engpassanalyse, zu ermitteln. Dieser Aspekt scheint in realen Projekten von entscheidender Bedeutung zu sein, da große Veränderungen in den

industriellen Energiesystemen für den Übergang der Gesellschaft zu einer tiefgreifenden Dekarbonisierung sehr wahrscheinlich sind und da große Projekte zur Überschusswärmenutzung eine lange Lebensdauer haben dürften. Zukünftige Szenariostudien sollten daher immer in großen industriellen Überschusswärmeprojekten durchgeführt werden.

Im Rahmen des Chalmers-Projekts wurde eine neue Methodik für die Bewertung der Auswirkungen zukünftiger Veränderungen auf die Verfügbarkeit und Nutzung von überschüssiger Wärme entwickelt, die auf einer Kombination von auf der Pinch-Analyse basierenden Methoden und der Erstellung von Szenarien beruht.

Neuartige Wärmepumpen

Über die Entwicklung neuartiger Hochtemperatur-Wärmepumpen wurde aus Österreich, Norwegen und Dänemark berichtet.

Ziel war die Erzeugung von Nieder- oder Mitteltemperaturdampf. Im österreichischen Projekt BAMBOO wurden Wärmepumpen zur Erzeugung von 160°C heißem Dampf getestet und im Projekt HighEFF wurde eine hybride Absorptions-Kompressions-Wärmepumpe in einer Molkerei demonstriert, die eine sehr hohe Energieeffizienz und Überschusswärmerückgewinnung (zusammen mit umfangreichen Energieeffizienzmaßnahmen im System) aufweist. Auch im dänischen Projekt wurden hybride Kompressions-Absorptions-Wärmepumpen für Temperaturen bis zu 150 °C theoretisch untersucht und experimentell getestet und mit Kompressionswärmepumpen verglichen.

Aus den Studien lässt sich schließen, dass die Einführung einer Hochtemperatur-Wärmepumpe eine detaillierte Systemfolgenanalyse erfordert, damit überschüssige Wärmequellen für die Wärmepumpe nicht mit z. B. der direkten Überschusswärmenutzung konkurrieren oder damit die Wärmequellentemperaturen nach der Wärmepumpe für eine weitere Nutzung nicht zu stark sinken. Dies wurde durch eine Pinch-Analyse z. B. im BAMBOO-Projekt quantifiziert und im norwegischen Molkereiprojekt (HighEFF) demonstriert.

In der dänischen Studie wurde gezeigt, dass der Hybridtyp in mehreren Anwendungen wirtschaftlich vorteilhaft ist, nicht zuletzt bei Niedrigtemperaturanwendungen. Ausgehend von einer Marktstudie scheint der mögliche Markt groß zu sein.

Geeignete Überschusswärme-Temperaturen und -Größen für Hochtemperatur-Wärmepumpen sind nachweislich in verschiedenen Trocknungsanwendungen verfügbar, darunter Ziegel Trocknung (BAMBOO), Brauereien und Aluminiumwerke (CETES) und Molkereien (HighEFF)

Künftige mögliche Änderungen der Verfügbarkeit von Überschusswärme aufgrund anderer neuartiger Prozesse oder Systeme wurden nicht explizit untersucht. Bei der Ziegel Trocknung z. B. können Systemänderungen jedoch die Möglichkeiten der Wärmepumpe verringern. Durch die in den Projekten CETES und HighEFF untersuchte Kombination von Wärmepumpen und -speichern kann der verbleibende Wärmeüberschuss auf ein Minimum reduziert werden.

Die berichteten Projekte sind wichtige Beispiele für die umfangreichen internationalen Arbeiten zur Entwicklung von Hochtemperatur-Wärmepumpen, und die Ergebnisse zeigen Möglichkeiten für eine beträchtliche Energieeffizienz durch Überschusswärmenutzung in verschiedenen Industriezweigen auf.

Speicherung

Die berichteten Projekte befassen sich mit der Entwicklung von Hochtemperaturspeicherlösungen, hauptsächlich für die Dampferzeugung.

In dem oben erwähnten CETES-Projekt wurden Methoden entwickelt, um das kosteneffizienteste thermische Energiespeichersystem bei 100-175 °C für die Lastverschiebung und die Nutzung fluktuierender erneuerbarer Energiequellen in der industriellen Dampferzeugung zu ermitteln. Es wurden vier verschiedene Speichertypen untersucht und für die Dampferzeugung wurden sowohl Elektrokessel als auch HTHPs untersucht. Das Ergebnis ist eine kostenbasierte Empfehlung für eine bestimmte Anwendung für die Speichergröße, den Speichertyp und den Betrieb. Wie bereits erwähnt, wurde dies in Kombination mit Wärmepumpen durchgeführt. Fallstudien waren eine Brauerei und ein Aluminiumwerk.

In gleicher Weise haben die Ergebnisse von HighEFF, die ebenfalls oben besprochen wurden, die Möglichkeiten einer Kombination von Wärmepumpe und Hochtemperaturspeicher für ein Molkereisystem und die Bedeutung der Energiesystemoptimierung für alle einbezogenen Technologien aufgezeigt.

Im Projekt HTESDürn wurde die Speicherung von Hochtemperaturdampf aus einer Verbrennungsanlage für eine Ethanolanlage und ein Fernwärmesystem untersucht. Die Untersuchung wurde für vier verschiedene Arten von Speichertechnologien durchgeführt. Nach der Entladung der überhitzten Wärmeträgerflüssigkeit sollte Dampf mit einer Temperatur von 210 °C und einem Druck von 17 bar zur Verfügung stehen. Die Dynamik beim Laden/Entladen wurde ebenso untersucht wie die Kapazität und die Wirtschaftlichkeit.

Sowohl im CETES- als auch im HTESDürn-Projekt wurden verschiedene Speichertypen getestet. In diesem Subtask war es nicht möglich, die Ergebnisse für die verschiedenen Typen direkt zu vergleichen, aber dies könnte eine interessante Aktivität in einem möglichen zukünftigen Subtask sein.

In allen Projekten wurde die Nutzung von Wärmeüberschüssen durch Speicher erfolgreich demonstriert. Mögliche Konsequenzen zukünftiger Veränderungen im Energiesystem wurden in diesen Projekten nicht untersucht, aber die im CETES-Projekt entwickelte Methodik kann für solche Studien genutzt werden.

Niedertemperatur-Stromerzeugung

Die Partner in COPRO haben ein erweitertes Verständnis für die Stromerzeugung aus überschüssiger Wärme in ihren eigenen industriellen Prozessen gewonnen. Die Forschungspartner haben neue Fähigkeiten, Methoden und Werkzeuge entwickelt, die bei der weiteren Entwicklung von Energieeffizienztechnologien zum Einsatz kommen werden.

Solare Prozesswärme

Im Projekt SolarReactor wurde gezeigt, wie Solarwärme und Abwärmennutzung kombiniert werden können. Es wurden neue Erkenntnisse über die Auslegung und den Betrieb solcher Anlagen gewonnen. Dies ist ein wertvoller Beitrag zu den laufenden Studien über erneuerbare Energien in industriellen Energiesystemen.

5.1.3. Subtask 3: Betriebliche Aspekte in industriellen Energiesystemen

Überschüssige Wärme in der Industrie ist häufig durch kurzfristige und saisonale Schwankungen sowohl der Mengen als auch des Temperaturniveaus gekennzeichnet. In einigen Industriezweigen sind diese Schwankungen gering, während sie in anderen erheblich sein können, was zu Komplikationen bei der internen und externen Nutzung führen kann.

Ein optimiertes Energiesystem kann von der Systemflexibilität und -vernetzung profitieren. Überschüssige Wärme kann durch verschiedene optimale Integrationskonzepte und Kombinationen mit anderen Quellen genutzt werden. Neue Konzepte (online, prädiktiv und ganzheitlich) für industrielle Energieversorgungssysteme, die diese Integration unterstützen und wie flexible Verbraucher für elektrische Netze funktionieren, können die Effizienz durch eine optimale Steuerung des Gesamtsystems und die Nutzung von Überschusswärme steigern. Diese Konzepte werden durch die Digitalisierung immer effektiver.

Datenmessung, -überwachung und -steuerung bei der Abwärmenutzung und anderen erneuerbaren Projekten sind oft entscheidende Elemente, die helfen können, Abwärmenutzung und Flexibilität in der Industrie zu optimieren. Darüber hinaus können zusätzliche Einsparpotenziale und Synergieeffekte durch die Kombination bestehender Optimierungsmethoden zur Blockbindung und Wärmetauschernetzsynthese genutzt werden.

Die Anzahl der Optionen und die unterschiedlichen Charakteristika industrieller Systeme können zu Komplexität in der Industrie führen. Daher besteht ein Bedarf an klaren, reproduzierbaren Strategien und Leitlinien für die Entwicklung von Konzepten, flexiblen Kontrollsystemen, Überwachung und selbstlernenden Bewertungen, um die Industrie in die Lage zu versetzen, fundierte Entscheidungen zu treffen, die ihren betrieblichen und ökologischen Anforderungen gerecht werden.

Zu diesem Zweck greifen die in diesem Subtask untersuchten Projekte einige der oben beschriebenen praktischen Herausforderungen, aber auch Optimierungsmöglichkeiten auf. Ihre Ziele, die im Folgenden zusammengefasst werden, reichen von Softwaretools, die die Auslegung industrieller Energiesysteme optimieren und operationalisieren, bis hin zu Projekten, die Kombinationen erneuerbarer Technologien zur Deckung des industriellen Prozesswärmebedarfs optimieren. Andere Projekte konzentrierten sich auf die Integration spezifischer erneuerbarer Technologien in einer Reihe von Branchen, die in der Lage waren, Integrationskonzepte für Prozesswärme zu erstellen.

Die Projekte lieferten wertvolle Einblicke in die Möglichkeiten und Herausforderungen, die sich bei ihren Aktivitäten ergaben und die wiederum der Industrie, den politischen Entscheidungsträgern und anderen Partnern helfen können, diese Probleme und Möglichkeiten besser zu verstehen.

Wesentliche Fragestellungen

1. Wie wirken sich saisonale Veränderungen in der Umwelt auf das Wärmeüberschusspotenzial aus? Sind Sie bei Ihren Projekten auf signifikante Unterschiede bei der Nutzung von Überschusswärme in Bezug auf saisonale Veränderungen gestoßen?
2. Welche betrieblichen Einschränkungen sind bei der internen/externen Nutzung von Überschusswärme zu beachten? Sind Sie neben räumlichen Einschränkungen auch auf Einschränkungen aufgrund von Betriebsgrenzen von Wärmerückgewinnungsanlagen (interne und externe Nutzung), Einspeisung in Wärmenetze (externe Nutzung), Stromerzeugungseinheiten gestoßen?

3. Wie können Steuerungsstrategien die Nutzung von Wärmeüberschüssen begünstigen?
Haben Sie in Ihren Projekten Regelungsstrategien in Betracht gezogen, um die Nutzung von Überschusswärme zu erleichtern oder zu optimieren?
4. Welche Anforderungen an Überwachungssysteme müssen erfüllt werden, um die Nutzung von Wärmeüberschüssen zu erleichtern?

Tabelle 3: Projektbeiträge für Subtask 3 nach Ländern und Institutionen

Land/Institution/Projekt	Saisonale Unterschiede in Abwärme	Regelung, Monitoring und Bewertung von Wärmeüberschüssen	Einschränkungen für internen/externen Abwärmenutzung
Österreich			
CORES (AEE INTEC, AIT, TUW)		X	
DigitalEnergyTwin (AEE INTEC)	X	X	
SolarAutomotive (AEE INTEC)		X	
EDCSproof (AIT)		X	
Sinfonies (AIT)		X	X
Norwegen (SINTEF)			
CETES	X		
COPRO			X
SusOrgPlus		X	

Allgemeine Schlussfolgerungen

Die Projekte lieferten wertvolle Einblicke in die Möglichkeiten und Herausforderungen, die sie bei ihren Aktivitäten erfahren haben, was wiederum der Industrie, den politischen Entscheidungsträgern und anderen Beteiligten helfen kann, diese Probleme und Möglichkeiten besser zu verstehen. Zu den allgemeinen Erkenntnissen, die aus den Fragebögen gezogen werden können, gehört, dass Speicherung, Regelungsstrategien, Ausrüstung, Überwachungssysteme, Nachfrage und Energiepreise sowie die lokale Energieversorgung alle einen Einfluss auf optimale Wärmerückgewinnungslösungen haben können.

Alle Projekte zielen darauf ab, bestimmte Aspekte industrieller Energiesysteme zu berücksichtigen, die in modernen Optimierungsansätzen üblicherweise nicht berücksichtigt werden, um technische Risiken bei der Realisierung von Wärmeüberschussprojekten zu verringern. SINFONIES, CETES und CORES sind Projekte, bei denen Optimierungsverfahren einschließlich betrieblicher Einschränkungen zur Optimierung der Auslegung industrieller Energiesysteme eingesetzt werden. Andere Projekte wie EDCSproof und SusOrgPlus befassen sich mit der Optimierung des Betriebs von Wärmerückgewinnungssystemen unter Berücksichtigung von Betriebseinschränkungen. EDCSproof entwickelt ein Steuerungssystem für allgemeine industrielle Energiesysteme, während in SusorgPlus der Betrieb von Trocknern und die nichtinvasive Überwachung zur Optimierung der überschüssigen Wärmerückgewinnung und der Trocknereffizienz berücksichtigt wurden.

Wie wirken sich saisonale Veränderungen in der Umwelt auf das Wärmeüberschusspotenzial aus? Sind Sie bei Ihren Projekten auf signifikante Unterschiede bei der Nutzung von Überschusswärme in Bezug auf saisonale Veränderungen gestoßen?

Saisonale Veränderungen können mit Lastprofilen berücksichtigt werden, wenn signifikante Schwankungen relevant sind. Energiepreise und Wärmebedarfsprofile können in den entwickelten Methoden (CETES, SINFONIES, EDCSproof) für das ganze Jahr und damit für saisonale Veränderungen berücksichtigt werden. Ebenso werden saisonale Veränderungen als Randbedingungen für z.B. Solarthermie, PV und Luftwärmepumpen berücksichtigt. Saisonale Veränderungen könnten dazu führen, dass im Sommer/Winter unterschiedliche Energiequellen genutzt werden (z. B. PV + Elektrokessel im Sommer und fossile Brennstoffe im Winter). In EDCSproof wurde gezeigt, dass ein prädiktiver optimaler Regler EDCS in der Lage ist, verschiedene Ziele zu minimieren, z. B. Energiekosten oder Emissionen. Es wurde auch angemerkt, dass je nach gewähltem Ziel die Nutzung der überschüssigen Wärme unabhängig von der Jahreszeit maximiert werden kann.

Welche betrieblichen Einschränkungen sind bei der internen/externen Nutzung von Überschusswärme zu beachten? Sind Sie neben räumlichen Einschränkungen auch auf Einschränkungen aufgrund von Betriebsgrenzen von Wärmerückgewinnungsanlagen (interne und externe Nutzung), Einspeisung in Wärmenetze (externe Nutzung), Stromerzeugungseinheiten gestoßen?

In den entwickelten Modellen kann die externe Nutzung durch die Einspeisung in Nahwärmenetze berücksichtigt werden. Für den jeweiligen Anwendungsfall müssen Einspeiseregeln im Optimierungsmodell berücksichtigt werden. Schwankungen in der Verfügbarkeit von Überschusswärme müssen entweder durch Speicherung oder zusätzliche Wärmeerzeugung berücksichtigt werden. Netzflexibilität, Backup und Versorgungssicherheit während des Betriebs wurden ebenfalls als relevante Faktoren genannt.

Im EDCSproof-Projekt wurde festgestellt, dass EDCS Zugang zu den steuerbaren Variablen des Energieversorgungssystems erhalten muss, um das geforderte Lastprofil zu erfüllen. Im Hinblick auf den optimalen Betrieb des Energieversorgungssystems muss die Zielfunktion des EDCS so gewählt werden, dass Emissionen oder Energiekosten minimiert werden (im Gegensatz zu z.B. "stabiler Betrieb"), um die überschüssige Wärme intern maximal zu nutzen.

Wie können Regelungsstrategien die Nutzung von Wärmeüberschüssen begünstigen?

Betriebsgrenzen lokaler Versorgungseinheiten (z. B. Rampengeschwindigkeiten, Ausfallzeiten usw.) können die optimalen Wärmerückgewinnungslösungen für bestimmte Prozesse beeinflussen. Wärmerückgewinnungsanlagen sind technisch (Wärmetauscherflächen, Wärmepumpengrößen, Speicherkapazitäten und maximale Belastungsraten) eingeschränkt, so dass sich dies möglicherweise auf die Kosten für Projekte mit Wärmeüberschuss auswirken kann (möglicherweise sind Änderungen an den vorhandenen Anlagen erforderlich). Eine weitere Überlegung, die geäußert wurde, war die Notwendigkeit, die modulare Dimensionierung der thermischen Energiespeichertechnologie zu berücksichtigen, um realistisch durchführbare Installationen zu ermöglichen. In einigen Fällen wurden thermischen Energiespeicher daher in realistische Einheitsblöcke zerlegt, zum Beispiel: Ruths Dampfspeicher.

Haben Sie in Ihren Projekten Regelungsstrategien in Betracht gezogen, um die Nutzung von Überschusswärme zu erleichtern oder zu optimieren?

Es wurde angemerkt, dass geeignete Regelungsstrategien dazu beitragen würden, das System näher an der maximalen Reichweite zu betreiben, was wiederum die Prozesseffizienz maximieren und dazu beitragen würde, die kürzeste Amortisationszeit zu erreichen. Ebenso wurde die Bedeutung eines angemessenen Anlagenbetriebs und insbesondere der Speichernutzung als wesentlich für diskontinuierliche Prozesse betont, um die potenzielle Überschusswärmennutzung zu maximieren, wobei der Anlagenbetrieb implizit in den Optimierungsmodellen berücksichtigt werden kann. Die realen Bedingungen können unterschiedlich sein, so dass eine angemessene Steuerung der Anlagen erforderlich ist, um einen praktikablen Betrieb zu gewährleisten.

Welche Anforderungen an Überwachungssysteme müssen erfüllt werden, um die Nutzung von Wärmeüberschüssen zu erleichtern?

Zur Gewährleistung eines optimalen Betriebs und zur Überwachung komplexer industrieller Energiesysteme sind Überwachungssysteme erforderlich. Eine umfassende Überwachung der Energieflüsse und -zustände der Energieversorgungssysteme, der Energiespeicher und der Last wurde als Voraussetzung für einen optimalen Betrieb genannt. Je mehr Informationen über Zustände und Energieflüsse bekannt sind, desto besser kann es das System im Hinblick auf das gewählte Ziel (z.B. Energiekosten, Emissionen) betrieben werden.

Historische Daten können bei der Erstellung oder Kalibrierung von Komponentenmodellen helfen. Weitere Anforderungen sind klare und zuverlässige KPIs und die Überwachung von Versorgungsanlagen, Wärmequellen und Senken. Schließlich wurde angemerkt, dass Überwachungssysteme zusammen mit den Kontrollsystemen entwickelt werden müssten, um die Effizienz und Flexibilität bei der Steuerung der Systeme zu erhöhen.

5.1.4. Subtask 4: Chancen- und Risikobewertung für Wärmeüberschussprojekte

Wärmeüberschussprojekte haben aufgrund einer Reihe von Risiken und Herausforderungen noch nicht ihr volles Potenzial erreicht. Dazu gehören Informationsrisiken (innerhalb von Organisationen und extern bei den Interessengruppen), die unter anderem zu wirtschaftlichen Risiken führen können. Hinzu kommen technische Risiken und Unsicherheiten in Bezug auf die langfristige Verfügbarkeit von überschüssiger Wärme und Lock-ins bei bestehenden Technologien.

Ein solider politischer Rahmen kann die nötige Sicherheit bieten, um das Potenzial von Überschusswärme in der Industrie auszuschöpfen. Fehlen diese Rahmenbedingungen, kann dies zu Unsicherheit und mangelndem Vertrauen bei Investoren und Unternehmen führen, die das Potenzial von überschüssiger Wärme nutzen wollen. Daher ist es unerlässlich, dass Risikobewertungen - bei denen alle Risiken aus verschiedenen Blickwinkeln, wie z. B. technisch, rechtlich, sozial und investitionsbezogen, bewertet werden - gründlich untersucht und Strategien zur Risikominderung aufgestellt werden.

In diesem Subtask sollen die Erfahrungen aus Projekten erfasst werden, die die Nutzung überschüssiger Wärme aus verschiedenen Blickwinkeln untersuchen. Die vorgestellten Projekte veranschaulichen, wie die oben genannten Risiken und Herausforderungen in den jeweiligen Projekten aufgetreten sind und welche Strategien eingesetzt werden können, um dem entgegenzuwirken.

Insgesamt war der Konsens bei den Projektumfragen, dass ein starker politischer Rahmen allen Beteiligten die Sicherheit geben kann, dass sie in der Lage sind, die Möglichkeiten des Wärmeüberschusses zu nutzen. Auf Projektebene wurden eine iterative Risikoanalyse und -minderung sowie ein starkes Engagement der Interessengruppen als entscheidende Strategien für eine bessere Risikoerkennung und -minderung genannt. Die gewonnenen Erkenntnisse können allen Beteiligten (d. h. Nutzern, Investoren, Lieferanten und politischen Entscheidungsträgern) dabei helfen, ein klares Verständnis der damit verbundenen Risiken zu erlangen und Strategien zur Risikominderung zu entwickeln, wenn sie sich für die Entwicklung einer Aktivität oder eines Vorhabens zur Nutzung von Wärmeüberschüssen entscheiden, um diesen die größten Erfolgchancen zu geben.

Wesentliche Fragestellungen

- Welches sind die wahrscheinlichsten Risiken bei Überschusswärmeprojekten?
- Sind Projekte an den Risiken gescheitert?
- Wer muss sich zu welchem Zeitpunkt um die Risiken kümmern?
- Gibt es Strategien zur Überwindung der Hindernisse?
- Gibt es innovative Zusatznutzen, die als KPIs berücksichtigt werden können?

Tabelle 4: Projektbeiträge für Subtask 4 nach Ländern und Institutionen

Land/Institution/Projekt	Business Cases	Risiken von Abwärmeprojekten	nicht realisierte Abwärmeprojekte
Österreich			
TrustEE (AEE INTEC)	X	X	
Gmunden High Temperature Link (EI-JKU, TUW)	X	X	
Industrial MicroGrids (EI-JKU)	X	X	
S-PARCS (EI-JKU)	X	X	
Frankreich (Greenflex)			
Risk Matrix for excess heat recovery projects	X	X	X
Norwegen (SINTEF)			
COPRO	X	X	

Allgemeine Schlussfolgerung

Die wesentlichen Risiken bei der Durchführung von Überschusswärmeprojekten lassen sich grob wie folgt gruppieren:

- Information, Kommunikation, Soziales und Partnerschaft
- Wirtschaftlich
- Technisch
- Rechtlich (vertraglich, planerisch, definitiv, regulatorisch);
- Operativ;
- Organisatorisch;
- Ökologisch;

Die kostenintensive Investition in Abwärmenutzung und -verwertung birgt zahlreiche Risiken für Abwärmeanbieter und -abnehmer. Eine kontinuierliche Lieferung oder Abnahme von Abwärme, wie

sie ursprünglich geplant war, kann bspw. nicht mehr verfügbar sein und zu einer verlorenen Investition führen. Darüber hinaus können Produktionsprozesse angepasst werden, Unternehmen können in Konkurs gehen oder ihren Standort verlagern, was das Abwärmepotenzial oder die benötigte Menge verändert. Sich ändernde Preise (Anstieg oder Senkung) für Energiequellen aus fossilen Ressourcen, mögliche CO₂-Besteuerung, gesetzliche Definitionen darüber, ob Abwärme als erneuerbare Energie angesehen werden kann und somit Dekarbonisierungsszenarien unterstützt, können zu Unsicherheiten führen. Alle genannten Risiken/Hindernisse führen zu Planungsunsicherheit und können somit zu zögerlichen Investitionsentscheidungen führen.

Information, Kommunikation, Soziales und Partnerschaft

Information und Kommunikation wurden als wichtige Voraussetzung identifiziert. Einige Projekte wiesen darauf hin, dass es an Wissen über das Abwärmepotenzial oder potenzielle Senken in ihrer Umgebung mangelte.

Unter Kommunikation wurde auch die Kommunikation zwischen Partnern und externen Parteien (d.h. Gemeinden und lokalen Behörden) verstanden, aber auch innerhalb von Organisationen, einschließlich der Geschäftsführung, wobei ein Mangel an kompetentem Personal ebenfalls als Risiko genannt wurde. Informationsdefizite sollten nicht unbedingt als Risiken, sondern eher als Hindernisse bezeichnet werden, die mit gezielteren Informationen überwunden werden könnten.

Wirtschaftliche Risiken

Abwärmeauskopplung ist mit hohen Investitionskosten verbunden und birgt daher ein hohes Risiko. Die Forderung nach kurzen Amortisationszeiten, um bestehende Risiken in Form von Unsicherheiten zu reduzieren, sowie die in der Regel zusätzlich erforderlichen Maßnahmen zur Installation von Backup-Systemen erschweren die Wirtschaftlichkeit.

Sich ändernde Preise (Anstieg oder Senkung) von Energieträgern aus fossilen Ressourcen, mögliche CO₂-Besteuerung, rechtliche Definitionen, ob Abwärme (siehe unten) als erneuerbar angerechnet werden kann und damit Dekarbonisierungsszenarien unterstützt, können ebenfalls als potenzielles Risiko wahrgenommen werden und das Vertrauen der Investoren untergraben.

Konkurs, der für das andere Unternehmen mangels umfassender Einblicke nur schwer zu beurteilen ist. Ähnliche Risiken gibt es auch auf Seiten des Käufers: Es geht um eine garantierte Abnahmemenge, insbesondere wenn die Bereitstellung von Abwärme mengenabhängig vergütet wird.

Technisch

Es ist ein hoher technischer und damit wirtschaftlicher Aufwand, Überschusswärme und Wärmesenken mit unterschiedlichen physikalischen/chemischen Qualitäten/Bedürfnissen zusammenzuführen, da Übergabestationen und ggf. Speicher benötigt werden.

Zu Beginn ist es wichtig, herauszufinden, wer Abwärme zu welchen Bedingungen (Temperatur, Druck, Menge, Kapazität) bereitstellen kann. Es müssen also Quelle und Senke identifiziert werden. Außerdem müssen sich Erzeugungsprofile und Lastprofile überschneiden, um das Abwärmepotenzial zu nutzen.

Ebenso wurden aggressive Flüssigkeiten (wenn sie nicht angepasst werden, kann der Wärmetauscher korrodieren oder verschmutzen) als weiteres technisches Risiko angesehen.

Rechtliche und politische Risiken

Die rechtliche Definition, ob Abwärme zu den erneuerbaren Energien gezählt werden kann und somit Dekarbonisierungsszenarien unterstützt, kann zu Unsicherheiten führen. Darüber hinaus wurden langfristige Verträge als rechtliches Risiko genannt; ebenso wurden auch die Auftragsvergabe (möglicherweise an Berater) und das unerwartete Ausscheiden einer Partei als Risiko identifiziert. Politische Sicherheit (z. B. durch Subventionen) wurde häufig als Schlüsselfaktor für die Schaffung von Vertrauen bei den Investoren und als Mittel, um viele Projekte zur Wärmegewinnung finanziell tragfähig zu machen, genannt.

Umwelt

Umweltrisiken (insbesondere Bodenverschmutzung) wurden als Risiko identifiziert. Es ist absehbar, dass sich dies auch auf die soziale Akzeptanz auswirken könnte, aber auch rechtliche und wirtschaftliche Risiken birgt.

Sind Projekte an den Risiken gescheitert?

Für ein noch in der Vorbereitungsphase befindliches Projekt im Subtask sind der rechtliche Rahmen, Preise für fossile Brennstoffe (Gas) und die Einführung einer CO₂-Steuer in ihrem Land ein entscheidendes Kriterium für das Gelingen oder Scheitern. Derzeit machen die hohen Investitionskosten und die geringen Kosteneinsparungen durch Gaseinsparungen das Projekt wirtschaftlich nicht durchführbar. Subventionen sind oftmals Voraussetzung für die Verwirklichung des Projekts. Die wirtschaftliche Tragfähigkeit wurde von zwei Projekten als potenzielles Risiko genannt.

Ein anderes Projekt wies auf die Notwendigkeit detaillierterer Machbarkeitsstudien hin. Ein anderer Teilnehmer erwähnte, dass eines der beteiligten Unternehmen in Konkurs ging und übernommen wurde, was jedoch nur zu einer gewissen Verzögerung des Projekts führte. Ein Mangel an kompetentem Personal wurde als frustrierender Faktor genannt, der die Umsetzung erschwerte.

Wer muss sich zu welchem Zeitpunkt um die Risiken kümmern?

- Entwicklung: Projektentwickler oder Technologielieferant (oder Gemeinde)
- Umsetzung: Technologielieferant
- Betrieb: Betreiber (Industrie, externer Betreiber, Kommune), technische Risiken auf Seiten des Lieferanten

Machbarkeitsstudien und Risikobewertungen wurden von 4 Projekten genannt, die in einer frühen Phase des Projekts von den beteiligten Parteien (d. h. der Industrie und dem Ingenieurbüro) durchgeführt werden sollten, wobei die Bewertungen in jeder Phase des Projekts aktualisiert werden sollten, um sicherzustellen, dass die Hauptrisiken gemindert werden.

Es wurden der Lieferant, der Auftragnehmer und der Nutzer (2 Antworten) als die Parteien genannt, die sich zum Zeitpunkt der Investitionsentscheidung um die Risiken kümmern müssen. Der Nutzer muss bei seiner Investitionsentscheidung die (künftigen) Preis- und Technologieentwicklungen berücksichtigen. Letztendlich gilt es für alle Partner die verschiedenen möglichen Risiken bei jedem Entwicklungs- oder Betriebsschritt berücksichtigen.

Gibt es Strategien zur Überwindung der Hindernisse?

- Garantien
- Finanzierung

- Standardisiertes Verfahren
- Kommunikation

Kommunikation: Neutrale Vermittler, z. B. öffentliche oder wissenschaftliche Berater, können die Führung übernehmen, um einige Hindernisse zu überwinden, da sie sich auf die Projektentwicklung konzentrieren, so weit wie möglich eine ganzheitliche Perspektive einnehmen und das Projekt vorantreiben. Eine offene Kommunikation zwischen den Partnern ist ebenfalls von entscheidender Bedeutung; regelmäßige Treffen und Vertraulichkeitsvereinbarungen sind mögliche Instrumente.

Rahmenbedingte Hindernisse (rechtlich, politisch usw.) erfordern häufig das Eingreifen der politischen Entscheidungsträger. Die Kommunikation von Wissenschaftlern und Praktikern kann jedoch dazu beitragen, das Bewusstsein für diese Hindernisse zu schärfen und politische Unterstützung zu gewinnen.

Zu den spezifischeren Strategien zur Überwindung einiger der zuvor genannten Risiken gehören:

- Aggressive Flüssigkeit: Angepasste Wärmetauschertechnologie (Wärmetauscher mit größerem Querschnitt...)
- Komplizierte Wartung: Bei der Planung berücksichtigt, um den Zugang zum Wärmetauscher zu erleichtern
- Schwankungen der Energiepreise: Sensitivitätsanalyse und Preisindexierung auf den Energiemärkten
- Unerwartetes Ausscheiden einer Partei: Eintritts-/Austrittsklausel, Neuverhandlungsklausel.
- Mangel an kompetentem Personal: Systemdokumentation und Schulung der Betreiber
- Verschmutzung des Bodens: Auswirkungsstudie und ggf. spezifische Gestaltung (Rückhaltebehälter)

Gibt es innovative Zusatznutzen, die als KPIs aufgenommen werden sollten?

Die vorgeschlagenen potenziellen KPIs wurden wie folgt skizziert:

- Makroökonomische Effekte (2 von 5)
- Regionale Wertschöpfung (2 von 5)
- Schaffung von Arbeitsplätzen (direkt und indirekt) (2 von 5)
- Verringerung der Abhängigkeit von Gas (1)
- CO₂-Emissionsreduzierung (2 von 5)
- CO₂-Vermeidung (2 von 5)
- Vermeiden von Energieimporten (3 von 5)
- Bruttoregionalprodukt (3 von 5)
- Nicht spezifizierter sozialer Nutzen (1 von 5)
- Verringerung der Umweltverschmutzung (Umwelt- und Lärmbelastung) (1 von 5)

Makroökonomische KPIs wurden von zwei Projekten genannt. Regionale Arbeitsplätze und Wertschöpfungsketten wurden ebenfalls von zwei Projekten als durch Investitionen in regionale Abwärmeprojekte geschaffen bezeichnet und könnten daher als KPIs einbezogen werden. In einem weiteren Projekt wurden eine Reihe von KPIs entwickelt, die verschiedene Perspektiven abdecken (technische, wirtschaftliche, soziale, rechtliche, organisatorische und ökologische). Zusätzlich zu den direkten Energie-, Umwelt- und Wirtschaftseffekten wurde vorgeschlagen, dass auch

weitreichendere, weniger greifbare Vorteile berücksichtigt werden sollten, z. B. soziale Vorteile, vermiedene Energieimporte und CO₂-Minderung (3), und auch die Verringerung des Lärmpegels wurde als potenzielle KPIs genannt.

5.2. Zusammenstellung innovativer Wärmeüberschussprojekte

In den teilnehmenden Ländern sind viele Projekte zum Wärmeüberschuss im Gange oder geplant. Aufgrund der großen Anzahl von Projekten ist es im Rahmen des gegenständlichen Projektes nicht möglich, Informationen über alle Projekte zusammenzustellen. Einige Projekte sind jedoch eher innovativer Natur und befassen sich mit möglichen Lösungen für die oben genannten Aspekte oder mit der Verbesserung des Wissens über diese Aspekte, um eine verstärkte Nutzung von industrieller Abwärme zu ermöglichen. Durch die Zusammenstellung von Informationen über solche Projekte kann ein guter Wissensaustausch und ein Informationsnetzwerk zwischen den teilnehmenden Ländern erreicht werden.

"Innovative" Projekte zeichnen sich durch einen neuartigen Ansatz zur Überwindung von Hindernissen oder zur Risikominimierung aus. Ein solches Projekt kann sich mit jedem der oben in den anderen Teilaufgaben erörterten Aspekte befassen. Der Begriff "von besonderem Interesse" oder "innovativ" bezeichnet ein Projekt, das eine neuartige Ausrüstung oder Systemlösung, ein neuartiges Geschäftsmodell, eine neue Art des Umgangs mit Risiken usw. aufweist.

Gemäß dem Rechtstext war jedes teilnehmende Land verpflichtet, zusätzlich zu seinen Beiträgen in den anderen Teilaufgaben eine Beschreibung von mindestens zwei innovativen Wärmeüberschussprojekten einzureichen.

Diese Zusammenstellung wird als Grundlage für eine mögliche spätere Entwicklung einer Online-Datenbank für innovative Wärmeüberschussprojekte gesehen.

Nach einiger Diskussion wurde beschlossen, dass es sich bei den Projekten für Subtask 5 sowohl um Projekte in Betrieb als auch in der Planungs- und Entwurfsphase handeln kann. Der Hintergrund für die Einbeziehung des letzteren Typs war, dass es mehrere sehr interessante Projekte gibt, die geplant und bald realisiert werden sollen. Sie können teilweise repräsentativer für die Entwicklung und den Erfindungsreichtum in diesem Bereich sein als bereits installierte Projekte. Eine wichtige Voraussetzung für ein geplantes Projekt ist neben dem innovativen Charakter, dass Entwurf, Kosten, Betriebsparameter usw. so detailliert berechnet wurden, dass die Vorlage gut ausgefüllt werden konnte.

5.2.1. Projektzusammenfassungen

In diesem Unterkapitel werden alle gemeldeten Projekte kurz vorgestellt, um einen Überblick über die wichtigsten laufenden oder geplanten innovativen industriellen Wärmeüberschussprojekte in den teilnehmenden Ländern zu geben. Detaillierte Beschreibungen aller Projekte sind in Teil 2 dieses Berichts zusammengestellt.

Schweden

ESS ectogrid™ low-temperature system

Bei diesem Projekt handelt es sich um ein innovatives Abwärmemanagementsystem, das zwei Abwärme-Niedertemperatursysteme an benachbarten Standorten in der Stadt Lund in Südschweden umfasst.

Verantwortlich für das Projekt ist E.ON, ein Energieversorgungsunternehmen.

Im ersten Projekt wird überschüssige Wärme auf niedrigem Niveau (18 C) aus der ESS-Kühlanlage (The European Spallation Source) als Wärmequelle genutzt. Das zweite Projekt arbeitet ebenfalls mit sehr niedriger Abwärme aus der ESS-Anlage. In beiden Projekten werden dezentrale Wärmepumpen eingesetzt. Sie werden voraussichtlich 2021 in Betrieb gehen.

Der Grund für die Auswahl dieser Projekte in Subtask 5 ist, dass es sich um neue Beispiele handelt, bei denen industrielle Wärme mit sehr niedrigen Temperaturen genutzt werden kann. Auch die Kombination von Heizen und Kühlen mit Niedertemperatur-Abwärme ist eine interessante Neuerung.

Industrial excess heat from the chemical complex in Stenungsund to Gothenburg

Konzeptentwurf und Machbarkeitsstudie abgeschlossen. Anfang 2020 wurde beschlossen, das Projekt aus Gründen, die in Teil 2 ausführlich erörtert werden, nicht weiter zu verfolgen.

Verantwortlich für das Projekt ist Chalmers Industrietechnik - Industrial Energy, in Zusammenarbeit mit Chalmers, Gothenburg Energy und zwei Chemieunternehmen in Stenungsund (Borealis und Perstorp)

In diesem Projekt wurden die technischen, wirtschaftlichen und treibhausgasmindernden Möglichkeiten für den Transport von industrieller Überschusswärme in einer Pipeline vom Chemiekomplex in Stenungsund zum Fernwärmesystem in Göteborg untersucht. Die Entfernung zwischen Stenungsund und Göteborg beträgt mehr als 50 km, und die potenzielle Wärmemenge beläuft sich auf mehr als 100 MW. Damit handelt es sich um eines der größten industriellen Wärmeüberschussprojekte, die in Schweden untersucht wurden, sowohl was die Entfernung als auch die Wärmemenge betrifft. Es ist auch wegen der kombinierten Bewertung hinsichtlich der technischen, wirtschaftlichen und THG-Minderungsleistung von besonderem Interesse. Dies ist der Grund, warum es in diese Unteraufgabe aufgenommen wurde, obwohl es wahrscheinlich nicht realisiert werden wird.

Canada

Serres Toundra, a large greenhouse complex re-using waste heat and CO₂ from a pulp mill

Das Projekt ist in vollem Umfang in Betrieb, wobei drei Erweiterungen jeweils abgeschlossen, im Bau und geplant sind.

Die für das Projekt verantwortliche Organisation ist das Unternehmen Serres Toundra.

Serres Toundra ist ein äußerst innovatives Projekt, da die Möglichkeit der Wiederverwendung von Abwärme und CO₂ aus einer nahe gelegenen Zellstofffabrik für die Existenz des Unternehmens sowie für die Planung und den Betrieb der Gewächshäuser von zentraler Bedeutung war. Das enzymatische Verfahren zur CO₂-Abscheidung ist ebenfalls innovativ und basiert auf industrieller Abwärme.

Production of Dry Kraft Lignin by the LignoForce™ process.

Eine LignoForce-Anlage mit einer Kapazität von 30 Tagedstonnen ist derzeit in der West Fraser Kraftzellstofffabrik in Hinton, AB, in Betrieb, und es wird nach einer Finanzierung für den Bau einer kommerziellen Trocknungsanlage an diesem Standort gesucht.

Das Projekt zielt darauf ab, ein konsistenteres, leichter zu handhabendes Ligninprodukt zu erzeugen, das sich wirtschaftlich international versenden lässt. Minimierung des CO₂-Fußabdrucks und der Kosten für diese Produktion.

Lignin ist das am zweithäufigsten vorkommende Biopolymer auf der Erde und wird weitgehend ungenügend genutzt. Im Allgemeinen verspricht Lignin nicht nur eine neue Wertschöpfung für die Kraftzellstoffwerke (bei der Herstellung von Harzen, Kunststoffen, Dämmstoffen und vielen anderen Polymeranwendungen), sondern auch eine reichhaltige Kohlenstoffsene für atmosphärischen Kohlenstoff zu sein. Die Trocknung ist in einem solchen System mit erheblichem Energie- und Kostenaufwand verbunden, ist aber notwendig, um ein konsistentes, handhabbares Produkt zu erhalten. Die meisten Endverbraucher verlangen, dass das Lignin getrocknet wird.

IsoFlo™ Black / White Liquor Oxidizer

Ein kommerzielles Schwarzlaugenoxidiationsgerät (BLOX) ist in der Ligninrückgewinnungsanlage von West Fraser in Hinton, AB, mit einer Kapazität von 30 Tagedstonnen in Betrieb, und eine Reihe anderer kanadischer Fabriken haben ihr Interesse bekundet, bis eine Betriebsreferenz vorliegt.

Die für das Projekt verantwortliche Organisation ist NORAM Engineering & Constructors Ltd.

Das Projekt zielt darauf ab, eine effizientere Oxidationsleistung zu erzielen und gleichzeitig die Abwärme des Prozesses zu nutzen. Zu den weiteren Vorteilen gehört eine bessere Temperaturkontrolle während der Oxidation, wodurch die Gefahr von Ablagerungen/Bewuchs verringert und die Gefahr eines katastrophalen Versagens durch Spannungsrissskorrosion beseitigt wird.

Österreich

Green Brewery Goesser – Brau Union - Heineken

Verantwortliche Organisation für das Projekt ist die Brauerei Göss (Gösser), Brau Union

Dieses Projekt ist realisiert und erfolgreich in Betrieb

Das Innovative an diesem Projekt ist die langjährige Zusammenarbeit zwischen dem nahegelegenen Sägewerk und der Brauerei. Vor kurzem wurde der Vertrag zwischen den Partnern erneuert. Kernstück ist der Aufbau eines kleinen Fernwärmenetzes, das die überschüssige Wärme des Sägewerks an die Brauerei liefert.

District Heating Graz - Sappi

Das Projekt ist seit Herbst 2017 realisiert und erfolgreich in Betrieb.

Träger des Projekts sind Sappi Austria, Bioenergie Fernwärme BWS und Energie Graz.

Das Kooperationsprojekt ermöglicht es, 30.000 Grazer Haushalte, das sind rund 15 % des jährlichen Wärmebedarfs in Graz, mit ökologischer und regionaler Energie zu versorgen. Durch das Projekt können 20.000 Tonnen an klimaschädlichem CO₂ eingespart werden.

GmundenHighTLink – Gmunden High Temperature Heat Link R&D

Das Zementwerk in Gmunden hat ein Abwärmepotenzial von 10 MW_{th} bei 400°C. Am Standort Rohrdorf wurde 2012 die Abwärmenutzung durch direkte Mehrdruckdampferzeugung erfolgreich demonstriert. Aufgrund der dramatischen Veränderungen am Strommarkt und der verschärften Umweltauflagen wird für Gmunden eine verbesserte Lösung benötigt. Ziel des Projekts ist es, eine 10 MW_{th} Hochtemperatur-Wärmerückgewinnung aus einem Zementwerk zu entwickeln, zu planen und zu realisieren und den Transport der Wärme zu Industriekunden zu ermöglichen, die mehr als 1,5 km von der Wärmequelle entfernt sind. Die Durchquerung öffentlichen Geländes mit einer Wärmetransportleitung auf diesem Temperaturniveau wurde in Österreich noch nie realisiert. Der Kontext erfordert ein Höchstmaß an Zuverlässigkeit und Sicherheit. Da Zementwerke im Winter typischerweise für mehrere Wochen stillgelegt werden, ist die Frage der Wärmespeicherung von zentraler Bedeutung. Die Umweltverträglichkeit ist sowohl im Hinblick auf die Emissionen als auch auf den Gewässerschutz von Bedeutung, da sich der Standort in einem touristischen Gebiet in der Nähe eines Sees befindet. Als Wärmeträgermedium kommen nur umweltverträgliche Flüssigkeiten wie H₂O oder CO₂ in Frage.

Frankreich

MISTRAL

Verantwortliche Organisationen für das Projekt sind das Arcelor Mittal Research Centre und das Research Centre on Metal Industry (Lüttich)

Das Projekt besteht in der Umsetzung der Rückführung von Rauchgasen aus einer Sinteranlage.

Es ist aufgrund des innovativen Aspekts der selektiven Rauchgasrückführung zur Vermeidung von Korrosion für Subtask 5 geeignet. Abgesehen von dieser Anlage ist bisher keine Wärmerückgewinnung aus den Abgasen einer Sinteranlage bekannt, da diese Art von Abgasen sehr korrosiv ist. Die Anlage erfordert daher die Entwicklung spezieller Vorrichtungen zur Kanalisierung der Abgase. Sie wurde 2018 umgesetzt und die Ergebnisse werden derzeit analysiert.

Heat Recovery and Storage at Tegulys

Die für das Projekt verantwortliche Organisation ist Ecotech Ceram.

Das Projekt besteht aus der Umsetzung einer Lösung zur Wärmerückgewinnung aus den Abgasen eines Ofens in Kombination mit einer Wärmespeicherung. Aufgrund des innovativen Aspekts der implementierten Wärmespeicherung ist es für Subtask 5 geeignet. Die Speichertechnologie besteht aus Keramikugeln. Es wurde 2019 umgesetzt.

TRANSPAC

Die für das Projekt verantwortlichen Organisationen sind Dalkia, das EDF-Forschungszentrum und Armines.

Das Projekt besteht aus der Implementierung einer transkritischen Wärmepumpe, die Energie aus Abwasser zurückgewinnt und Hochtemperaturwärme (>150°C) erzeugt. Es eignet sich für Subtask 5 aufgrund des innovativen Aspekts der Anlage (transkritischer Zyklus und hohe Temperaturniveaus) und der Umsetzung in einem industriellen Prozess (Trockner). Die Umsetzung ist für 2021 geplant.

Norwegen

TINE Bergen: the "greenest dairy in Europe"

Die für das Projekt verantwortliche Organisation ist SINTEF Energy Research.

Das Prinzip des Projekts ist eine neue Molkerei, die mit kombinierten Wasser-Ammoniak-Wärmepumpen und Wärmespeichern ausgestattet ist, die herkömmliche Systeme auf der Basis von Kältemaschinen und Kesseln für fossile Brennstoffe ersetzen. Der Schwerpunkt liegt auf der Suche nach Lösungen, die den Energieverbrauch und die Umweltauswirkungen erheblich reduzieren, die erste Molkerei, die ohne fossile Brennstoffe oder direkte elektrische Heizung betrieben wird und deren Energieverbrauch im Vergleich zu anderen ähnlichen Molkereien um fast 5 GWh (40 %) reduziert wurde.

Die Komplexität des Prozesses und die Integration der innovativen Energielösungen machen das Projekt zu einem interessanten Fall für Subtask 5 und zu einem potenziellen Beispiel für andere Molkereien. Es wurde 2019 umgesetzt.

Schweiz

Business Models for Excess Heat Utilization

Verantwortliche Organisation/Person ist Beat Wellig (Hochschule Luzern - Technik und Architektur, die über die Ergebnisse berichtet)

Dieses Projekt basiert auf den Erfahrungen mit verschiedenen Geschäftsmodellen in fünf kommerziellen industriellen Abwärmenutzungsanlagen, für Fernwärme oder zur Stromproduktion in einer ORC-Anlage.

Die berichteten Projekte stellen verschiedene Arten von erfolgreichen Geschäftsmodellen zur Abwärmenutzung vor. Das Potenzial für die Abwärmenutzung ist in vielen Bereichen vorhanden, wie in jedem Projekt auf der Grundlage einer separaten Energieanalyse mittels Pinch-Analyse festgestellt wurde. Die Vielfalt der Anlagen in der Industrie ist groß und die Anforderungen sind sehr unterschiedlich. Ebenso ist Abwärme in unterschiedlichen Formen und Temperaturen vorhanden. Das Projekt "Leitfaden zur Nutzung industrieller Abwärme" zeigt daher die notwendige Entwicklung von Maßnahmen zur Abwärmenutzung auf, um mögliche Fehlinvestitionen zu vermeiden. Einer der wichtigsten Schritte des Leitfadens ist es, sicherzustellen, dass Energieeffizienzmaßnahmen immer oberste Priorität haben und den Maßnahmen zur Abwärmenutzung vorzuziehen sind. Die Pinch-Analyse spielt eine wichtige Rolle bei dieser Unterscheidung, die notwendig ist, um die wirklich unvermeidbare Abwärmemenge zu bestimmen.

Ein weiterer wichtiger Schritt im Leitfaden ist die Identifikation von fünf Geschäftsmodellen zur Abwärmenutzung in der Schweizer Industrie. Im Folgenden werden die Geschäftsmodelle im Detail vorgestellt. Ziel ist es, dass sich andere schnell über diese Möglichkeiten informieren können und sie bei ihren eigenen Abwärmenutzungs- und Kommerzialisierungsbestrebungen unterstützen.

Italien

GICO (Gasification Integrated with Carbon capture and ValOrisation)

Verantwortliche Organisation ist die Universität Guglielmo Marconi.

Das Hauptziel von GICO ist die Verbesserung der H₂-Reinheitsproduktion mittels Biomasse-Dampfvergasung, die mit einem Hochtemperatur-CO₂-Abscheidungsprozess über ein festes

Sorptionsmittel intensiviert wird. Das in GICO demonstrierte SEG-Verfahren (Sorption Enhanced Gasification) stellt einen Effizienzsprung dar, da es das CO₂ bei höheren Temperaturen (>550°C) abtrennt und damit effizientere Optionen zur Wärmeintegration bietet, die bei Technologien (z. B. Amin), bei denen die Abtrennung bei niedrigeren Temperaturen erfolgt, nicht möglich sind. Die Neuheit des SEG-Verfahrens besteht darin, dass es für die Rückgewinnung thermischer Abfälle aus energieintensiven Industrieprozessen (z. B. Stahlerzeugung aus Hochöfen, Zementherstellung aus Drehrohröfen) zur Regeneration des CO₂-Sorptionsmittels eingesetzt werden kann.

Die Anlage wurde Ende 2020 in Betrieb genommen und wird Ende 2024 fertiggestellt sein.

SFERO (Systems for Flexible Energy Reusing CarbOn)

Verantwortliche Organisation: ENEA für das Projekt

Im Rahmen des Projekts werden zwei Methanreformierungsverfahren demonstriert: Dry Methane Reforming (DRM) und Reverse Water Gas Shift (RWGS) für die Produktion von Bausteinen (z.B. CO und H₂) und die anschließende Synthese von erneuerbaren Kraftstoffen in schwer zu dekarbonisierenden Industriezweigen, was auch eine Bewertung der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit des gesamten Prozesses ermöglicht. Dies wird durch eine Pilotanlage in einer ECCSEL-Forschungsinfrastruktur geschehen. Dieses Projekt wird auch in Teilaufgabe 2 beschrieben.

Die Gründe für die Wahl von Subtask 5 liegen darin, dass es sich um neue Prozesse handelt, die sehr interessante Möglichkeiten zur Rückgewinnung und Integration überschüssiger Wärme bieten. Diese Möglichkeiten werden in dem Projekt quantifiziert.

Dieses Projekt lief von Januar 2019 bis Dezember 2021 und wird in einer neuen Phase fortgesetzt.

Dänemark

SuPrHeat-Sustainable process heating with high-temperature heat pumps using natural refrigerants

Die für das Projekt verantwortliche Organisation ist das Danish Technological Institute.

Das Projekt ist seit September 2020 in Betrieb.

Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung und Demonstration von drei Hochtemperatur-Wärmepumpensystemen für die Prozesswärmeversorgung bei Temperaturen von bis zu 200 °C. Die drei Systeme basieren auf Dampf (Wasser), Kohlenwasserstoffen und CO₂ als Arbeitsmedium und sind für unterschiedliche industrielle Anwendungen optimiert. Die Technologien ergänzen sich gegenseitig, und insgesamt bietet dieses Wärmepumpenportfolio das Potenzial, alle Arten von Prozesswärmebedarf bis 200 °C mit höchsten Wirkungsgraden zu decken. Damit ermöglichen die Technologien die Elektrifizierung und Dekarbonisierung eines großen Teils des Prozesswärmebedarfs in der Industrie und stellen eine Schlüsseltechnologie für die industrielle Abwärmenutzung dar.

Das Neue an SuPrHeat ist die tatsächliche Entwicklung und Demonstration der Überschusswärmenutzung mit industriellen Wärmepumpen für Hochtemperaturanwendungen in Zusammenarbeit zwischen Industrie, Anlagelieferanten, Prozessexperten und Forschungseinrichtungen.

Digital Twins for large scales heat pumps and refrigeration systems

Verantwortliche Organisation ist das Danish Technological Institute.

Das Projekt läuft seit Februar 2020.

Das Projekt zielt auf zwei technologische Anwendungsbereiche ab: große Wärmepumpensysteme, vor allem für die Fernwärmeversorgung, und Kühlsysteme für Supermärkte. Die Digital Twin-Technologie wird in beiden Bereichen demonstriert. Eine Fallstudie wird im Bereich der Supermarktkälte stattfinden und zwei Fallstudien werden sich auf Wärmepumpen für Fernwärme in zwei verschiedenen Gebieten Dänemarks konzentrieren. Die Ergebnisse dieses Projekts sind jedoch von großem Interesse für die Digital Twin Technology für die Nutzung überschüssiger Wärme in der Industrie.

Der innovative Teil des Projekts besteht in den fortschrittlichen dynamischen Modellen, der Integration mit/in die in Betrieb befindliche physische Anlage, der Kombination mit der Nutzung datengesteuerter Modelle sowie der Bereitstellung von Dienstleistungen einschließlich Sektorkopplung, optimiertem Betrieb, vorausschauender Wartung und Fehlererkennung.

THERMCYC-Advanced thermodynamic cycles utilising low-temperature heat sources

Verantwortliche Organisation ist die Technische Universität Dänemark.

Es war zwischen 2014 und 2019 in Betrieb.

Das Projekt zielte auf Lösungen für thermische Anlagen, Stromerzeugung, Wärmepumpen und Kühlung durch Nutzung von geringwertigen Quellen wie Abwärme und erneuerbaren Quellen bei hoher Effizienz ab.

Das Projekt umfasste Analysen auf Zyklusebene sowohl für Wärmepumpen- als auch für Kraftwerkskreisläufe, Komponentenanalysen von Kompressions- und Expansionsmaschinen und Wärmetauschern, computergestütztes molekulares Design von Arbeitsflüssigkeiten sowie die experimentelle Validierung der vorgeschlagenen Konzepte. Darüber hinaus werden die Ergebnisse des Projekts durch die reale Umsetzung in der Industrie demonstriert, indem das Geschäftspotenzial der entwickelten Lösungen analysiert und vier Fallstudien durchgeführt werden.

Das Neue an diesem Projekt ist, dass es Lösungen für überschüssige Wärme entwickelt hat, die zu erheblichen Energieeinsparungen und einer Verringerung der CO₂-Emissionen in der dänischen Industrie (und dem Verbrauch von Schiffen) führen.

5.2.2. Schlussfolgerungen

Die in Subtask 5 berichteten Projekte befassen sich mit vielen verschiedenen Technologien, Systemen, Industriezweigen und Aspekten. Es gibt drei Hauptgründe für die Auswahl eines Projekts in diesem Subtask als innovativ und/oder von besonderem Interesse. Diese sind:

Neuartige Technologien zur Nutzung von Wärmeüberschuss

- Wärmepumpe: Frankreich 3, Norwegen 1, Schweiz 1, Dänemark 1, 2 und 3
- Neuartiges Speichersystem: Frankreich 2
- Stromerzeugung: Schweiz 1

In Subtask 2 wird über mehrere andere Projekte berichtet, in denen neuartige Wärmepumpen und -speicher bewertet werden.

Neuartige Systemlösungen zur Nutzung von Wärmeüberschüssen

- Von der Industrie zur Fernwärme und/oder -kälte: Schweden 1, Schweden 2, Österreich 2, Schweiz 1, Dänemark 2
- Überschusswärmenutzung von Industrie zu Industrie: Kanada 1, Österreich 1, Österreich 3, Dänemark 1, Dänemark 3

Rolle der Überschusswärme bei neuen industriellen Lösungen

Kanada 2, Kanada 3, Norwegen 1, Schweiz 1 (Geschäftsmodelle), Italien 1, Italien 2

Die Anwendungen, aus denen die überschüssige Wärme entnommen wird, sind in einer Vielzahl von Industriezweigen zu finden:

- Zellstoff und Papier: Kanada 1, Kanada 2, Kanada 3, Österreich 2, Österreich 3 (Sägewerk)
- Chemie: Schweden 2
- Metall/Keramik: Frankreich 1, Frankreich 2, Schweiz 1,
- Molkerei: Norwegen 1
- Bioraffinerie: Italien 1
- Zement: Italien 2

Das Temperaturniveau der Überschusswärme liegt in den meisten Fällen etwas unter oder über 100°C. Ausnahmen sind Schweden 1, wo extrem niedrige Überschusswärme genutzt wird, Kanada 1 (für die Niedertemperaturbeheizung von Gewächshäusern) und Österreich 3 mit extrem hoher Überschusswärmemetemperatur (400 °C).

Mehrere Projekte befassen sich mit Hochtemperatur-Wärmepumpenlösungen, vor allem Frankreich 3 und Dänemark 1 und 3. Auch Systemaspekte und die Rolle der Überschusswärme spielen in mehreren Projekten eine wichtige Rolle, wie aus der obigen Tabelle hervorgeht.

Besondere Aspekte der Rohrleitung für die Nutzung von Überschusswärme werden in Schweden 2 und Österreich 3 erörtert. In Schweden 2 wurde eine Pipeline für bescheidene Temperaturen (50-80 °C), aber für eine extrem lange Strecke (50 km) untersucht, die eine vernünftige Wirtschaftlichkeit bei vernünftigen zukünftigen Bedingungen aufweist. In Österreich 3 wird eine Pipeline für eine bescheidene Entfernung (1,5 km), aber für extrem hohe Temperaturen (400 °C) untersucht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die berichteten Projekte deutlich die rasche und interessante Entwicklung neuartiger Technologien/Systeme für die industrielle Abwärmenutzung zeigen. Die Vielfalt der einbezogenen Industriezweige zeigt, dass es in den meisten Branchen ein Potenzial gibt, das beim Bau neuer Anlagen, bei der Einführung neuer Technologien/Systeme, z. B. zur Dekarbonisierung, und bei Modernisierungsmaßnahmen berücksichtigt werden sollte. Wie in den Projekten dieser Aufgabe gezeigt wurde, ist die Zusammenarbeit zwischen Industrien oder zwischen einer Industrie und einem Fernwärme-/Kältesystem in vielen Fällen ein fruchtbarer und wirtschaftlich interessanter Weg zur Nutzung industrieller Überschusswärme. Ein zentrales Thema, das in vielen Berichten erörtert wird, ist die Bedeutung einer Systembetrachtung der überschüssigen Wärme, um so die optimale Nutzung der überschüssigen Wärme zusammen mit oder in Konkurrenz zu anderen Maßnahmen zur Energieeffizienz/Treibhausgasreduzierung zu ermitteln.

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Im Zuge der vorangegangenen Projekte zum Annex 15 Task 3 hat sich gezeigt, dass die internationalen Teilnehmer bei der Umsetzung von Abwärmeprojekten vor ähnlichen Hindernissen wie Österreich stehen. Durch die Zusammenarbeit im Annex wird das Bewusstsein über zukünftige Szenarien im industriellen Energiesystem geschärft, wodurch relevante Schritte in Richtung politischer Entscheidungsträger unternommen werden können.

6.1. Zielgruppe für die Verbreitung der Projektergebnisse

Die Ergebnisse, die im Zuge des Annex 15 Task 3 erarbeitet wurden, sind für die nationale Forschung im Bereich der internen Wärmerückgewinnung und Wärmeauskopplung relevant. Durch die Beschäftigung mit Risikominimierung und damit auch mit politischen Instrumenten in den einzelnen Teilnehmerländern können Empfehlungen für Fördergeber und Gesetzgebung abgeleitet werden. Ebenso ist die Sammlung von technologischen Neuerungen in den Bereichen Speicher, Wärmepumpen und Verstromung von Überschusswärme für Anlagenplaner und Technologieunternehmen interessant. Zudem sollen vor allem Industriezweige mit hohem Potential für die Nutzung der anfallenden überschüssigen Wärme von den Inhalten des Annex profitieren und Anreize für Wärmerückgewinnungs- und Effizienzprojekte geschaffen werden.

6.2. Einbindung relevanter Stakeholder in das Projekt

Effizienter Energieeinsatz im Allgemeinen, und industrielle Abwärmenutzung im Besonderen, sind angesichts der Erfüllung **nationaler klima- & energiepolitischer Ziele**, aber auch hinsichtlich der zukünftigen **Wettbewerbsfähigkeit** nationaler (energieintensiver) Industrie- und Gewerbeunternehmen, unabdingbar. Die durchgeführten **Vernetzungs- und Know-how Transfer Maßnahmen** sind in Tabelle 5 dargestellt.

Über den Fortschritt der Arbeiten im Annex wurde 2x pro Jahr im Zuge der ExCO-Meetings berichtet. Das BMK wurde über Disseminationsmaßnahmen im Projekt zeitgerecht informiert sowie zu geplanten Veranstaltungen eingeladen. Die Ergebnisse wurden zudem für Publikation auf der IEA Website des BMK entsprechend aufbereitet.

Wesentliche Ergebnisse wurden in Form von Ausbildungsskripten aufbereitet. Alle Mitglieder des Projektkonsortiums sind direkt an der Lehre (TU Wien, FH Pinkafeld, FH Joanneum) beteiligt. Beispielsweise werden die wissenschaftlichen Erkenntnisse in die Lehre in den Fächern Prozesssimulation von thermischen Energieanlagen und Energieverfahrenstechnik integriert.

Die Erkenntnisse und die Methoden zur Beurteilung des Designs sowie des Betriebes von industriellen Energieanlagen und Prozessen wurden auch im Rahmen einer Vorlesung im 04/2022 an der KTH, Stockholm, Schweden eingebracht (Applied Heat & Power Technology: (AHPT) MJ2426).

Tabelle 5: Disseminationsmaßnahmen und deren Adressaten

Maßnahme	Adressaten
Beiträge in Newslettern (KLIEN, IEA Forschungskoooperation, IV, AEE Intec Homepage Newsletter, Newsletter der JKU, TU Wien IET Homepage, AIT Homepage)	Industrie & Gewerbe, Forschungseinrichtungen
Präsentation auf Websites (Programmwebsite des BMK, Websites der BIEGE) <ul style="list-style-type: none"> • https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/iets/iea-iets-annex-15-phase-3.php • https://www.ait.ac.at/themen/sustainable-thermal-energy-systems/projects/annex-15/ • https://www.aee-intec.at/iets-annex-15-industrielle-abwaermenutzung-p264 	Interessierte Öffentlichkeit
Präsentation der Arbeit im Annex 15 auf div. Veranstaltungen , IEA-Vernetzungstreffen (29.09.2020)	Forschung, Industrie, politische Entscheidungsträger
Aktualisierte Skripten für Lehrtätigkeiten an Ausbildungsstätten (z.B. „Prozesssimulation von thermischen Energieanlagen“ und „Energieverfahrenstechnik“ an der TU Wien, Gastvorlesung 04/2022 an der KTH, Stockholm, Schweden „Applied Heat & Power Technology: (AHPT) MJ2426“)	Studenten
Konferenzbeitrag ECOS „How to use Excess Heat in Industry? - Conclusions from international networking within the IETS TCP“ (Status 12.5.2022: akzeptiert)	Wissenschaft, Unternehmen aus Industrie & Gewerbe

6.3. Relevanz und Nutzens der Projektergebnisse

Neben dem fachlichen Wissenszuwachs wurde durch die Teilnahme am Annex die Möglichkeit neue Kooperationen zu starten und gemeinsam EU-Projekte zu entwickeln gegeben. Ebenso ist durch diese Teilnahme einerseits der Zugang zu einer internationalen Plattform für die Informationsbeschaffung zu Aktivitäten und Projekten gegeben und andererseits wird damit eine bessere Vernetzung in der internationalen Lehre erreicht.

Durch die aktive Teilnahme an der IEA Kooperation konnte insbesondere die Sichtbarkeit des Forschungsstandortes Österreich gestärkt werden und auch innerhalb Österreichs das Thema der industriellen Abwärmenutzung verstärkt platziert werden.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

7.1. Zusammenfassung der Erkenntnisse

ST1: Kombination von Methoden zur Identifizierung und Quantifizierung von Wärmeüberschüssen

Mit Methoden zur Prozessintegration lässt sich ein detaillierteres Bild der Möglichkeiten für überschüssige Wärme gewinnen. Diese Methoden erfordern jedoch erheblich mehr Informationen über das Energiesystem und einen höheren Zeit- und Arbeitsaufwand sowohl für Energiemanager als auch für Experten für Prozessintegration. Diese fortschrittlicheren Methoden sind vor allem für energieintensive Industrien mit komplexen Wärmetauschernetzen von Interesse.

ST2: Folgen zukünftiger Veränderungen in industriellen Energiesystemen für den Wärmeüberschuss

Industrielle Systeme können sehr unterschiedlich sein, was bei der Suche nach gemeinsamen und replizierbaren Lösungen zu Komplexität führt. Klare reproduzierbare Strategien und Leitfäden für die Entwicklung von Konzepten, flexiblen Kontrollsystemen, Überwachung und selbstlernenden Bewertungen sind notwendig, um die Industrie in die Lage zu versetzen, fundierte Entscheidungen zu treffen, um ihren betrieblichen und ökologischen Anforderungen gerecht zu werden.

Die zukünftigen Änderungen in industriellen Energiesystemen für die Nutzung von Wärmeüberschuss sind von großer Bedeutung. Im Projekt wurde von den Teilnehmern hervorgehoben, wie wichtig es ist, die Möglichkeiten für Wärmeüberschüsse in einer industriellen Systemperspektive zu betrachten. Es wurde aufgezeigt, wie wichtig es ist, solche Folgen durch Systemstudien, z. B. durch eine Pinch-Analyse, zu ermitteln. Zukünftig sollten in großen industriellen Wärmeüberschussprojekten umfassende Szenariostudien durchgeführt werden.

Hochtemperatur- und Hybrid-Wärmepumpen haben sich als wichtige Technologien für die industrielle Überschusswärmenutzung erwiesen. Über die Entwicklungen und Systemaspekte dieser Technologien wurde in mehreren Projektbeiträgen berichtet. Aus den Studien kann geschlossen werden, dass die Einbindung solcher Wärmepumpen eine detaillierte Analyse der Systemkonsequenzen erfordert, damit die Wärmequellen für die Wärmepumpe nicht mit der direkten Überschusswärmenutzung konkurrieren oder die Wärmequellentemperaturen für die weitere Nutzung nicht zu stark abfallen. Die berichteten Projekte sind wichtige Beispiele für die umfangreichen internationalen Arbeiten zur Entwicklung von Hochtemperatur-Wärmepumpen. Die Ergebnisse zeigen Möglichkeiten für erhebliche Steigerungen der Energieeffizienz in verschiedenen Industriezweigen auf.

Es wurde auch über Möglichkeiten zur verstärkten Nutzung industrieller Überschusswärme durch Niedertemperatur-Stromerzeugung und die Kombination von industrieller Solarwärme und Überschusswärme berichtet.

Die berichteten Energiespeicherprojekte befassen sich mit der Entwicklung von Hochtemperaturspeicherlösungen, hauptsächlich für die Dampferzeugung. Mögliche Folgen künftiger

Änderungen des Energiesystems wurden in diesen Projekten nicht untersucht, aber die im Rahmen des Projekts CETES entwickelte Methodik kann für solche Studien verwendet werden.

ST3: Betriebliche Aspekte in industriellen Energiesystemen

Die in diesem Subtask untersuchten Projekte zeigen einige der praktischen Herausforderungen, aber auch Optimierungsmöglichkeiten auf. Ihre Ziele reichen von Softwaretools zur Optimierung der Auslegung industrieller Energiesysteme bis hin zu Projekten, die Kombinationen erneuerbarer Technologien zur Deckung des industriellen Prozesswärmebedarfs optimieren. Andere Projekte konzentrierten sich auf die Integration spezifischer erneuerbarer Technologien in einer Reihe von Branchen, die Integrationskonzepte für Prozesswärme erstellen konnten.

Die Umfrageteilnehmer gaben wertvolle Einblicke in die Chancen und Herausforderungen, die sie bei ihren Projektaktivitäten erlebt haben, was wiederum der Industrie, den politischen Entscheidungsträgern und anderen Partnern helfen kann, diese Probleme und Chancen besser zu verstehen.

ST4: Chancen- und Risikobewertung für Wärmeüberschussprojekte

Für die Umsetzung von Abwärmenutzungsprojekten müssen Barrieren überwunden und Risiken adressiert werden. Die Diskussionen im Annexprojekt ergaben insgesamt den Konsens, dass ein starker politischer Rahmen allen Beteiligten die nötige Sicherheit geben kann, um die Umsetzung der Wärmenutzung zu initiieren. Auf Projektebene wurden eine iterative Risikoanalyse und -minderung sowie ein starkes Engagement der Interessengruppen als entscheidende Strategien für eine bessere Risikoerkennung und -minderung genannt. Weiters ist eine starke Bindung mit der EU-Taxonomie gegeben. Die gewonnenen Erkenntnisse können allen Beteiligten (d. h. Nutzern, Investoren, Lieferanten und politischen Entscheidungsträgern) dabei helfen, ein klares Verständnis der damit verbundenen Risiken zu erlangen und Strategien zur Risikominderung zu entwickeln.

ST5: Zusammenstellung innovativer Wärmeüberschussprojekte

Die vorgestellten Projekte befassen sich mit vielen verschiedenen Technologien, Systemen, Industriezweigen und Aspekten. Es gibt drei Hauptgründe für die Auswahl eines Projekts in diesem Subtask als innovativ und/oder von besonderem Interesse. Sie zeigen deutlich die schnelle und interessante Entwicklung neuartiger Technologien/Systeme für die industrielle Abwärmenutzung. Die Vielfalt der einbezogenen Industriezweige zeigt, dass es in den meisten Industriezweigen ein Potenzial gibt, das beim Bau neuer Anlagen, bei der Einführung neuer Technologien/Systeme, z. B. für die Dekarbonisierung, und bei der Umrüstung berücksichtigt werden sollte. Wie in den Projekten dieser Aufgabe gezeigt wurde, ist die Zusammenarbeit zwischen Industrien oder zwischen einer Industrie und einem Fernwärme-/Kältesystem in vielen Fällen ein fruchtbarer und wirtschaftlich interessanter Weg zur Nutzung industrieller Überschusswärme. Ein Schlüsselthema, das in vielen Projektberichten erörtert wird, ist die Bedeutung einer Systembetrachtung der überschüssigen Wärme, um so die optimale Nutzung der überschüssigen Wärme zusammen mit oder in Konkurrenz zu anderen Maßnahmen zur Energieeffizienz/Treibhausgasreduzierung zu ermitteln.

7.2. Vorschlag für die weitere Arbeit in Task 15

Auf der Grundlage aller Beiträge und Diskussionen während der Projektmeetings wurde ein Vorschlag für eine mögliche Subtask 4 in einer Fortsetzung des Task 15 unterbreitet:

Aktivität 1: Die Rolle von Abwärme in der Industrie und industriellen Symbiosen

In der aktuellen Phase des Annex 15 wurde erkannt, dass möglichst ganzheitliche, systemische Analysen für die erfolgreiche Umsetzung von Abwärmeprojekten essentiell sind. Dazu gehört auch die Möglichkeit Abwärme im Austausch mit externen (Industrie-)Unternehmen auszutauschen. Risiken, die Industrieunternehmen eingehen, wenn Symbiosen in der Energieversorgung eingegangen werden, müssen künftig reduziert werden. Dazu können neue Business Modelle, regulative Änderungen und fokussierte Forschung wichtige Beiträge leisten. Eine mögliche Aktivität für eine potentielle Fortführung des Annex 15 ist der Wissensaustausch mit Fokus auf Abwärmennutzung in industriellen Symbiosen mit den Analysewerkzeugen, die dafür verfügbar sind, regulative Rahmenbedingungen, die Symbiosen entweder fördern oder aber jene die eher hinderlich sind, und technische, ökonomische und soziale Hürden, die es zu überwinden gilt.

Aktivität 2: Prozessintegration/-intensivierung (Strategie/Nutzen)

Eine weitere Aktivität, die sich aus den Subtasks 1 und 2 des aktuellen Annexprojektes ableiten lässt, ist die Sammlung von Wissen zur Prozessintegration und -intensivierung unter Berücksichtigung von Technologien und Prozessänderungen, die eine tiefgreifende Dekarbonisierung der Industrie ermöglichen. Sackgassen oder „lock-in“-Effekte gilt es bei der Wärmeintegration zu vermeiden und industrielle Energiesysteme hin zur vollständigen Dekarbonisierung weiterzuentwickeln. In dieser Aktivität könnten diese Aspekte im internationalen Konsortium diskutiert werden.

Aktivität 3: Laufende Großprojekte und Erfahrungen

Große Umsetzungsprojekte zur Abwärmennutzung und die Erfahrungen daraus helfen bei der Initiierung neuer Projekte. Beispiele für erfolgreiche Einbindung reduzieren die Hemmschwelle unsicherer Unternehmen. In dieser Aktivität werden die Arbeiten aus Subtask 5 des vorliegenden Annex weitergeführt und intensiviert.

Literaturverzeichnis

- Fluch Jürgen: Industrielle Abwärmenutzung, In: AEE Intec (Hrsg.): nachhaltige technologien, AEE Intec, Gleisdorf, 2017-03
- SET-Plan ACTION n°6 -Implementation Plan – Endorsed 27/09/2017: "Continue efforts to make EU industry less energy intensive and more competitive"
- Fluch Jürgen, Wilk Veronika, Lange Daniel., Wertz Dietrich., Brunner Christoph, Grubbauer Anna., Königshofer Petra, Veynandt Francois, Fleckl Thomas, Ponweiser Karl: Evaluation of innovative integration concepts of combined solar thermal and heat pump systems for efficient thermal supply of industrial processes – based on case studies and the results of the project EnPro, Vortrag: 11th ISES EuroSun 2016, Palma de Mallorca, Spanien; 11.10.2016 - 13.10.2016; in: "*EuroSun 2016 / ISES Conference Proceedings (2016)*", (2016), 13 Seiten.
doi:10.18086/eurosun.2016.02.02;
<http://proceedings.ises.org/paper/eurosun2016/eurosun2016-0029-Fluch.pdf>
- Moser Simon et.al.: Renewables4Industry – Abstimmung des Energiebedarfs von industriellen Anlagen und der Energieversorgung aus fluktuierenden Erneuerbaren. Vortrag: Science Brunch Industrielle Energiesysteme, Klima- und Energiefonds, 28.05.2018,
<https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/6/Praesentation-Moser-Reneweables4Industry-Science-Brunch-Mai-2018.pdf> (abgerufen am 08.09.2022; 11:52)
- Umsetzungsplan Mission Innovation Austria,
<https://www.nachhaltigwirtschaften.at/de/e2050/highlights/mission-innovation-austria-fokusgruppen.php> (abgerufen am 25.4.2022; 14:34)
- <https://iea-industry.org/annexes/annex-xv-industrial-excess-heat-recovery/> (abgerufen am 25.2.2019; 11:12)
- <https://iea-industry.org/tasks/annex-xv-industrial-excess-heat-recovery/> (abgerufen am 01.05.2022; 22:22)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Projektbeiträge für Subtask 1 nach Ländern und Institutionen.....	19
Tabelle 2: Projektbeiträge für Subtask 2 nach Ländern und Institutionen.....	25
Tabelle 3: Projektbeiträge für Subtask 3 nach Ländern und Institutionen.....	29
Tabelle 4: Projektbeiträge für Subtask 4 nach Ländern und Institutionen.....	32
Tabelle 5: Disseminationsmaßnahmen und deren Adressaten	45

Abkürzungsverzeichnis

BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
IEA	International Energy Agency
IETS	Industrial Energy Technologies and Systems
TCP	Technology Collaboration Programme
F&E	Forschung und Entwicklung
CCS	Carbon Capture and Storage
CCU	Carbon Capture and Utilization
BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
BIEGE	Bietergemeinschaft
GIS	Geographic Information System
PV	Photovoltaik
EDCS	Energy Demand Control System
KPI	Key Performance Indicator
SEG	Sorption Enhanced Gasification
DRM	Dry Methane Reforming
RWGS	Reverse Water Gas Shift

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)