

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

Phase 2

R. Hofmann, A. Beck,  
M. Haider, C. Brunner,  
J. Fluch, A. Grubbauer,  
W. Gruber-Glatzl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**49/2019**

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

### **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

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 TCP) Annex 15: Industrielle Abwärmenutzung

Phase 2

Univ.-Prof. Dr. René Hofmann, DI Anton Beck  
Austrian Institute of Technology GmbH

Univ. Prof. Dr. Markus Haider  
Technische Universität Wien

DI Christoph Brunner, DI Jürgen Fluch, DI Anna Grubbauer,  
DI Wolfgang Gruber-Glatzl  
AEE- Institut für Nachhaltige Technologien

Wien, Jänner 2019

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms

**IEA** FORSCHUNGS  
KOOPERATION

des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie 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](http://www.nachhaltigwirtschaften.at) gewährleistet wird.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# 1. Kurzfassung

Fortschritt in energierelevanten Technologien ist zur Erreichung kollektiver Ziele der Energiesicherheit, Umweltschutz und ökonomisch und sozialer Entwicklungen von großer Bedeutung. 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 energierelevanter Technologien und Systeme anzubieten. Die Teilnahme erlaubt den Zugang zu wertvollem Know-how sowie eine erhöhte Sichtbarkeit im internationalen Umfeld.

## **Ziele und Methoden:**

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 Abwärmenutzung 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 Know-how anzubieten und auszubauen.

Auf internationaler Ebene wurde eine Verbesserung des Wissensaustauschs und der Zusammenarbeit im Bereich der Nutzung industrieller Überschusswärme angestrebt. Ebenso sollte das Wissen über die wirtschaftlichen und nachhaltigen Auswirkungen künftiger politischer Instrumente auf industrielle Überschusswärmeprojekte erweitert werden und künftige Pläne oder Trends für die Entwicklung politischer Instrumente in den teilnehmenden Ländern diskutiert werden.

## **Ergebnisse und Erkenntnisse:**

Durch die Sammlung und Aufbereitung der Beiträge von den teilnehmenden Nationen konnte eine breite Wissensbasis zur Durchführung von Abwärmepotentialerhebungen aufgebaut werden. Es wurden Erfahrungen mit Fragebögen, Prozessintegrationstools und mit der Extrapolation von Daten mithilfe von bestehendem Wissen über die jeweiligen Energiesysteme ausgetauscht. Ebenso wurde eine Prozessdatenbank mit detaillierten Prozessinformationen erstellt, die für weiterführende Forschungstätigkeiten genutzt werden kann. Auch im Bereich der politischen Instrumente wurden auf Basis von nationalen Beiträgen Empfehlungen für künftige Maßnahmen zur Steigerung der Nutzung von Überschusswärme abgeleitet.

Das gewonnene Know-how wurde auf nationaler Ebene durch Workshops, Vorträge und Publikationen verbreitet. Auf internationaler Ebene konnte die Sichtbarkeit des Forschungsstandorts Österreich durch die enge Zusammenarbeit und den Wissenstransfer gestärkt.

## 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.

### **Goals and methods:**

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 utilization 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, the aim was to improve the exchange of knowledge and cooperation on the use of industrial excess heat. Knowledge on the economic and sustainable impacts of future policy instruments on industrial surplus heat projects should also be expanded and future plans or trends for policy development in participating countries should be discussed.

### **Results and findings:**

Through the collection and preparation of contributions from the participating nations, a broad knowledge base has been built on experience gained in carrying out surveys for potential use of excess heat. Experiences with questionnaires, process integration tools and extrapolation of data using existing knowledge about the respective energy systems were exchanged. A process database with detailed process information could also be established, which can be used for further research activities. Also, in the area of policy instruments, recommendations for future measures to increase the use of surplus heat were derived on the basis of national contributions.

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

# Inhaltsverzeichnis

1.	Kurzfassung .....	4
2.	Abstract .....	5
3.	Einleitung.....	8
3.1.	Industrielle Überschusswärme.....	8
3.2.	Motivation des Projektes .....	9
3.3.	Aktuelle Situation .....	10
3.4.	Relevante Vorarbeiten zum Thema Überschusswärme.....	17
3.4.1.	Zusammenfassung der Ergebnisse von Annex 15 Task 1 .....	17
3.4.2.	Nationale Vorprojekte: Thermische Energiespeicher .....	18
3.4.3.	Nationale Vorprojekte: Wärmepumpen .....	19
3.4.4.	Nationale Vorprojekte: Systemische Betrachtungen .....	20
3.4.5.	Nationale Vorprojekte: Politische Instrumente .....	21
3.5.	Aufbau des Ergebnisberichts.....	22
4.	Hintergrundinformation zum Projekteinhalt .....	23
4.1.	Darstellung des gesamten Kooperationsprojektes .....	23
4.2.	Beschreibung des österreichischen Projektkonsortiums .....	25
4.2.1.	Austrian Institute of Technology (AIT, Projektleitung).....	25
4.2.2.	Technische Universität Wien.....	25
4.2.3.	AEE- Institut für Nachhaltige Technologien.....	25
4.2.4.	Verein Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz (Subauftragnehmer) .	26
4.3.	Ziele der nationalen Kooperation.....	27
4.4.	Ziele der internationalen Kooperation und nationaler Beitrag zur Zielerreichung.....	27
4.5.	Methodik der Zusammenarbeit und inhaltliche Gliederung.....	28
4.5.1.	Subtask 1: In-depth evaluation and inventory of excess heat levels .....	28
4.5.2.	Subtask 2: Methodology on how to perform an inventory in practice.....	28
4.5.3.	Subtask 3: Policy instruments and the influence on future use of excess heat.....	28
4.5.4.	Subtask 4: Technology development for excess heat usage.....	28
5.	Projektergebnisse.....	30
5.1.	Literaturanalyse.....	30
5.2.	Erhebung und Analyse von Überschusswärme .....	31
5.2.1.	Erhebung mittels Fragebögen .....	31
5.2.2.	Methoden zur Identifizierung und Integration von industriellen Energiesystemen.....	34
5.2.3.	Nutzung von Vorwissen zur Ermittlung von Überschusswärmepotentialen .....	37
5.2.4.	Zusammenfassung.....	40

5.3.	Ergebnisse nationaler Abwärmestudien .....	43
5.3.1.	Österreich.....	46
5.3.2.	Kanada.....	46
5.3.3.	Frankreich.....	47
5.3.4.	Deutschland.....	47
5.3.5.	Italien.....	47
5.3.6.	Norwegen .....	48
5.3.7.	Schweden .....	49
5.4.	Beispielsammlung industrieller Energiesysteme.....	50
5.5.	Ergebnisse nationaler Technologieprojekte.....	51
5.6.	Politische Instrumente .....	52
5.6.1.	Kanada.....	52
5.6.2.	Norwegen .....	53
5.6.3.	Österreich.....	54
5.6.4.	Frankreich.....	55
5.6.5.	Schweden .....	55
5.6.6.	Allgemeine Kommentare.....	56
5.7.	Zusammenfassung der Ergebnisse der internationalen Kooperation.....	57
5.8.	Weiterführende Informationen .....	59
6.	Vernetzung und Ergebnistransfer .....	59
6.1.	Zielgruppe für die Verbreitung der Projektergebnisse.....	59
6.2.	Einbindung relevanter Stakeholder in das Projekt.....	59
6.3.	Relevanz und des Nutzens der Projektergebnisse .....	60
7.	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....	61
7.1.	Erkenntnisse für das Projektteam .....	61
7.2.	Weiterführende Arbeiten.....	61
7.3.	Weiterführende Forschungsprojekte .....	62
8.	Verzeichnisse.....	63
8.1.	Publikationsverzeichnis.....	63
8.2.	Abbildungsverzeichnis.....	65
8.3.	Tabellenverzeichnis .....	65
8.4.	Literaturverzeichnis.....	65

## 3. Einleitung

### 3.1. Industrielle Überschusswärme

Trotz des politischen Drucks und gesetzter Klimaziele ist der weltweite Energieverbrauch in den letzten zwanzig Jahren um über 30% gestiegen. Ohne eine Änderung der Politik ist eine weitere Steigerung des Einsatzes fossiler Brennstoffe und der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen in den kommenden Jahren nicht zu vermeiden. Nur die Entwicklung bahnbrechender Technologien kann zu einer erheblichen Verbesserung der Energieeffizienz führen, wie es die einzelnen nationalen Energie- und Klimaziele erfordern.

Der industrielle Energieverbrauch macht ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs der Gesellschaft aus. In energieintensiven Industrien wie Chemie, Erdölraffination, Eisen- und Stahlerzeugung sowie Papier- und Zellstoffproduktion sind Energiesysteme das Rückgrat des Herstellungsprozesses und für die Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit von entscheidender Bedeutung. Daher sind Aktivitäten zur Förderung einer effizienten Energienutzung mit geringen Umweltauswirkungen für die zukünftige Entwicklung, Implementierung und Nachhaltigkeit dieser industriellen Prozesse von entscheidender Bedeutung. Änderungen der Effizienz kritischer Energiesysteme kann die Produktionskosten erheblich beeinflussen. Die vielfältige und weitverbreitete Nutzung von Energiesystemen in verschiedenen Industriesektoren schafft zahlreiche Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz mit potenziell breiten internationalen Auswirkungen.

Der Hintergrund für diesen Annex ist das wachsende Bewusstsein über industrielle Überschusswärme als potenzielle Ressource, um zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit in größeren Systemen beizutragen. Obwohl industrielle Überschusswärme bisher bereits in großem Umfang international genutzt wurde, wird das Potenzial für eine noch umfassendere Nutzung als beträchtlich angesehen. Überschusswärme kann vielfältig genutzt werden:

- intern in einem Industriebetrieb zur Einsparung von Primärenergie
- in einem anderen Industriebetrieb oder in Industriebetrieben in einem Industriecluster
- zwischen einem Industrie- / Industriecluster und einem Fernwärmesystem
- zwischen einem Industrie- / Industriecluster und z.B. Gewächshäuser oder für andere Niedrigtemperaturanwendungen
- als Wärmequelle in Kälteanlagen für Industrie- oder Fernkälte

Der erste Task im Annex 15 wurde im Frühjahr 2015 abgeschlossen. Ein Abschlussbericht ist auf der IETS-Website<sup>1</sup> verfügbar.

---

<sup>1</sup> <https://iea-industry.org/annexes/annex-xv-industrial-excess-heat-recovery/> besucht am 25.2.2019

### 3.2. Motivation des Projektes

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 Annex 15, der im Zuge des Implementing Agreement IETS bearbeitet wird, verfolgt einen multidisziplinären Ansatz für das in Industriekomplexe integrierte Konzept der Rückgewinnung von Überschusswärme, um die Energieeffizienz weltweit zu optimieren. Der Ansatz basiert auf den Bedürfnissen der Industrie und kombiniert das Wissen über industrielle Technologien mit Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit.

Task 1 dieses Annex wurden 2015 abgeschlossen. Einige Bereiche der industriellen Überschusswärme wurden dabei jedoch nicht ausreichend behandelt, bzw. wurden Themen identifiziert, die in Task 2 bearbeitet werden sollten. Obwohl in Task 1 bereits viel Arbeit geleistet wurde, bestand Bedarf an weiteren Untersuchungen, da sich die nationalen Gegebenheiten erheblich unterscheiden. Zudem kann das vorhandene Material verwendet werden, um zusätzliche Schlüsse zu ziehen. Beispielsweise könnten Vergleiche zwischen Fallstudien von Prozessindustrien desselben Typs und im Prinzip derselben Produkte zu einem besseren Verständnis der Temperaturniveaus, Mengen und Arten von Überschusswärme in verschiedenen Industrietypen und -größen führen.

In Task 1 wurden verschiedene Ansätze und Erfahrungen zur Durchführung von Abwärmestudien eingebracht und diskutiert. Eine Synthese von Erfahrungen und der Austausch von Ansätzen, Erfahrungen und Ergebnissen aus früheren und geplanten Studien wurde jedoch als wichtig erachtet. Es ist absehbar, dass sich die politischen Instrumente in den kommenden Jahren ändern werden, wie beispielsweise die Nutzung nachhaltiger Energiequellen und Technologien/Systemen zur Verringerung der Treibhausgasemissionen und zur Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen. Dies wirkt sich sowohl auf die wirtschaftliche Leistung als auch auf die Nachhaltigkeitsaspekte für den industriellen Überschuss an Wärme aus. Daher wird die Entwicklung politischer Instrumente in Zukunft höchstwahrscheinlich ein entscheidender Aspekt für diesen Bereich sein. Es ist daher wichtig, den Plänen und möglichen langfristigen Szenarien für politische Instrumente in verschiedenen Ländern zu folgen und ein besseres Verständnis dafür zu entwickeln, wie verschiedene zukünftige politische Instrumente die Nutzung von überschüssiger Wärme beeinflussen können.

Im Abschlussbericht von Task 1 wurden auch Beiträge laufender Forschung im Technologiebereich in den teilnehmenden Ländern aufbereitet. Diese Forschung ist jedoch noch nicht abgeschlossen und Neuerungen sollen weiter beobachtet werden. Daher wurden die Arbeiten im Annex im Oktober 2016 mit einer zweiten Phase namens Task 2 fortgesetzt. Organisationen aus den neuen IETS-Mitgliedsländern, Österreich, Kanada und Frankreich sowie eine italienische Organisation (Sponsor) sind dem internationalen Kooperationsprojekt beigetreten.

### 3.3. Aktuelle Situation

Produzierende Unternehmen stellen eine wesentliche Stütze der **nationalen Wirtschaft** dar. So beschäftigen sich in **Österreich** rund 25.600 Unternehmen mit der Herstellung von Waren, schaffen damit etwa 600.000 Arbeitsplätze und generieren Betriebserlöse von rd. 178 Mrd. EUR<sup>2</sup>. Der Anteil der **produzierenden Industrie** am nationalen Endenergieverbrauch liegt bei rund 30 %. Wie Abbildung 1 veranschaulicht, stellt sich die Energiesituation auf Ebene der Bundesländer sehr unterschiedlich dar. So liegt der Anteil des produzierenden Bereichs am Endenergieverbrauch in den Bundesländern Oberösterreich, Steiermark sowie Kärnten jeweils über dem nationalen Durchschnittswert, während er im Burgenland, Tirol sowie Wien beträchtlich darunter liegt.

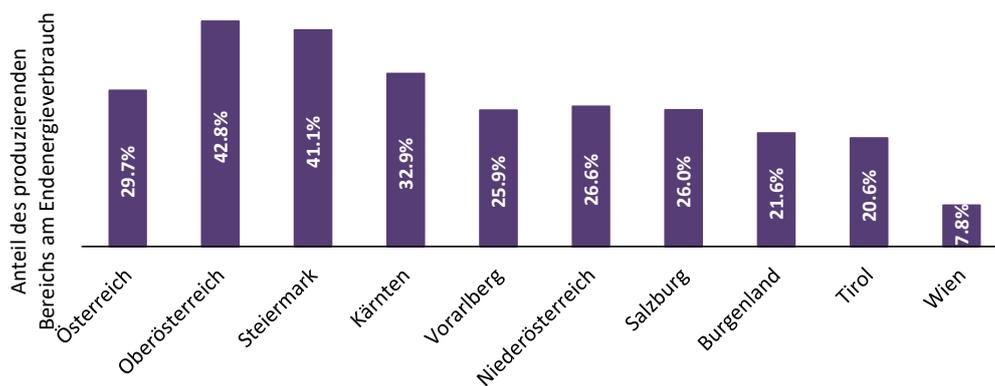
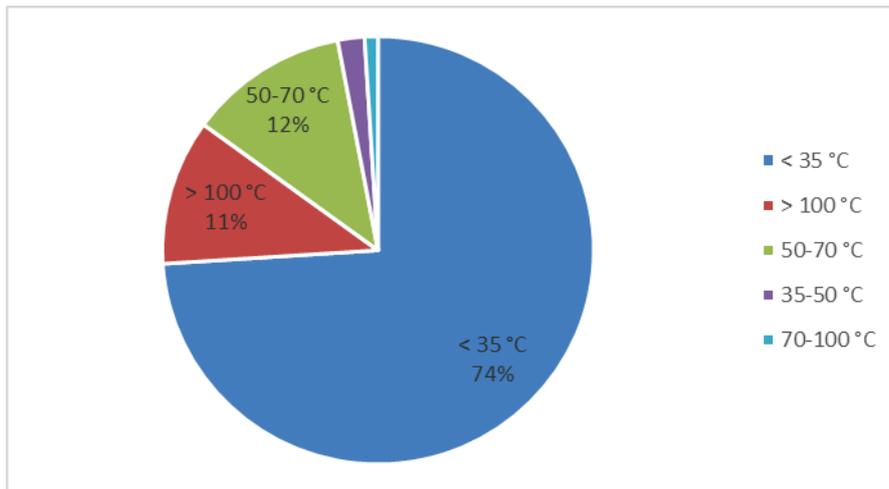


Abbildung 1: Anteil des produzierenden Bereichs am Endenergieverbrauch auf Bundesländerebene (Basis 2014).<sup>3</sup>

Ambitionierte internationale klima-, umwelt- und energiepolitische Vorgaben, wie z.B. das Ziel der EU die CO<sub>2</sub> Emissionen bis 2050 um 80 bis 95 % zu reduzieren, sowie Kosten- und Wettbewerbsgründe erfordern, dass sich nationale Unternehmen weiterhin mit ihrem Energieverbrauch beschäftigen und Technologien zur effizienteren Energienutzung in ihren Prozessen einsetzen. Eine Möglichkeit Energie effizienter zu nutzen, ist – neben der effizienteren Gestaltung der Produktionsabläufe - die interne sowie externe Nutzung von Überschusswärme, wie sie im IEA IETS Annex 15 angestrebt wird. Gemäß einer von der Kommunalkredit Public Consulting GmbH (KPC) durchgeführten Potenzialerhebung (KPC, 2012) liegt das **ungenutzte Überschusswärmepotenzial von 145 nationalen Unternehmen**, die 170 Abwärmequellen in ihren Betrieben identifizierten, bei rund **6.800 GWh/a**. Damit könnten rund 70.000 Haushalte direkt beheizt und weitere 75.000 Haushalte an Nahwärmenetze mit Vorlauftemperaturen (50-70 °C) angeschlossen werden. Der größte Anteil an Abwärme – ca. 5.300 GWh/a bzw. rund drei Viertel des Gesamtpotenzials – fällt bei Temperaturen zwischen 20-35 °C (siehe Abbildung 2) an. 23 % des Potenzials liegt im Temperaturbereich ab 50 °C. Diese Abwärme muss für eine sinnvolle Verwertbarkeit durch Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau angehoben werden.

<sup>2</sup> [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wirtschaft/unternehmen\\_arbeitsstaetten/leistungs-und\\_strukturdaten/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/unternehmen_arbeitsstaetten/leistungs-und_strukturdaten/index.html) Zugriff: 25.2.2019, 18:00

<sup>3</sup> [www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_umwelt\\_innovation\\_mobilitaet/energie\\_und\\_umwelt/energie/nutzenergieanalyse/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/nutzenergieanalyse/index.html), Zugriff: 29.6.2016



**Abbildung 2: Abwärmemenge nach Temperaturniveau (6.997 GWh/a) (KPC, 2012, S. 42)**

In Österreich gab es jedoch schon vor 20 Jahren den ersten steirischen Abwärmekataster. Die umfangreichste nationale Darstellung (bezogen auf die Anzahl der betrachteten Betriebe) stellt der Wärmeatlas<sup>4</sup> dar, der Überschusswärmemenge und -temperaturen von rund 140 Betrieben in Klassen (von-bis-Werten) abbildet. Diese Arbeiten haben die Datengrundlage geschaffen, um konkrete Umsetzungsprojekte überhaupt planbar und durchführbar zu machen. Inzwischen wurden bereits einige Auskoppelungen von industrieller Überschusswärme durchgeführt, was zu signifikanten Primärenergieeinsparungen geführt hat. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang zum Beispiel:

- Voestalpine Stahl Donawitz GmbH,
- voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG in Kapfenberg,
- Sappi Papier Holding GmbH in Gratkorn

Diese Auskoppelungen waren sog. „low-hanging-fruits“, die von großer Energiemenge, hohen Temperaturen und (in den ersten beiden Fällen) Wärmesenken in der Nähe charakterisiert sind. Neben den oben genannten Beispielen in der Steiermark sind auch an anderen Standorten in Österreich, wie z.B. der voestalpine in Linz bereits substantielle Wärme-Auskoppelungen implementiert.

Der **F&E-Fahrplan „Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie“** (Simon Moser, Karl-Heinz Leitner, & Horst Steinmüller, 2014) sowie die zugehörigen Diskussionspapiere bilden die Leitlinie für die künftige nationale Ausrichtung des Themenfelds „**Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe**“ und der nationalen Ausschreibungen im Rahmen des Energieforschungsprogramms des Klima- und Energiefonds. Ausgehend von den politischen Rahmenbedingungen auf EU-Ebene wurden sektorale Visionen entwickelt sowie relevante Forschungsfelder identifiziert und ein Überblick über notwendige FTI-politische Maßnahmen mit der Perspektive 2030 bis 2050 erstellt. Ein Kernthema des Fahrplans ist insbesondere die „hocheffiziente Nutzung der eingesetzten Energien und Ressourcen“ und die „Entwicklung radikal neuer Technologien“.

Die für das gegenständliche Projekt relevanten Teile der im Rahmen des F&E Fahrplanes entwickelten **Vision 2050** stellen sich wie folgt dar:

<sup>4</sup> <http://www.waermeatlas.at/> Zugriff am 19.10.2018, 11:30

- Überschusswärme wird mit Hilfe von hocheffizienten (Fern-)Wärme-Leitungen sektorübergreifend und dezentral nutzbar gemacht.
- In einem sich wandelnden Energiesystem werden alternative, nicht fossile Rohstoffe umfassend eingesetzt.
- Flexible und adaptive Produktionstechnologien und -prozesse erlauben es, alternative und sekundäre Rohstoffe sowie erneuerbare Energien optimal einzusetzen.
- Die Recyclingquote ist eine der höchsten weltweit, Österreich ist Innovationsführer im Bereich industrieller Rohstoff- und Energieeffizienz. Österreichische Rückgewinnungstechnologien werden weltweit exportiert.

Als wichtiges sektorübergreifendes Forschungsfeld wird die **hocheffiziente Nutzung der eingesetzten Energien und Ressourcen** genannt. Dies betrifft zuallererst die Produktionsprozesse selbst, wo Prozessintensivierung bzw. inkrementelle Verbesserungen zu einer Erhöhung der Energieeffizienz pro erzeugtes Produkt führen können. Hinsichtlich einer optimalen Verwendung der eingesetzten Energien und Rohstoffe wird auf eine **hocheffiziente kaskadische Nutzung** fokussiert. Dies betrifft den Einsatz von Sekundärroh- und Sekundärbrennstoffen, die Speicherung von Energie zur Wieder- und Weiterverwendung in industriellen Prozessen sowie, je nach Temperaturniveau und -erfordernis, die **Nutzung von Überschusswärme zu betriebsinternen Zwecken** oder zur **Einspeisung in Fernwärmenetze**.

Auch in der **europäischen Wirtschaft** stellen produzierende Industrieunternehmen eine wesentliche Rolle. Sie erzielen rund 21 % des Europäischen Bruttonationalprodukts und stellen mehr als 30 Mio. Arbeitsplätze direkt zur Verfügung (das entspricht rund 20 % aller Arbeitsplätze in der EU).<sup>5</sup> Zudem entfallen rund 80 % aller EU-Ausfuhren sowie 80 % der nicht-öffentlichen Forschungs- und Innovationstätigkeit auf die Industrie (Europäische Kommission, 2014). Um langfristig im globalen Wettbewerb konkurrenzfähig zu bleiben und gleichzeitig die ehrgeizigen umwelt- und energiepolitischen Visionen der Europäischen Union erreichen zu können, bedarf es einer weiteren Steigerung der Ressourceneffizienz (European Commission, 2011). Damit sind Innovation und technologischer Fortschritt ausschlaggebend für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie. Die aktuelle europäische Industriepolitik fördert besonders Investitionen in industrielle Forschung und Innovation in den Bereichen Energieeffizienz, Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energieträger, Ressourceneffizienz sowie nachhaltige Prozesstechnologien und stellt dafür im Rahmen des Programms *Horizon2020* Finanzmittel für Forschung und Innovation in den Bereichen Energie und Klima bereit.

Ein wesentlicher Schritt zur weiteren energetischen Effizienzsteigerung in industriellen Prozessen ist die **Reduktion bzw. die Integration von Überschusswärme** in die jeweiligen **Prozesse** bzw. **deren Auskopplung und Einspeisung in Wärmenetze**. Um diese Überschusswärme hinsichtlich einer weiteren Nutzung zu bewerten, ist es erforderlich, neben dem eigentlichen Potenzial in Form einer Energiemenge wie TWh/a auch Angaben über das Temperaturniveau, die Energiedichte des Überschusswärmestromes, der zeitlichen Verfügbarkeit, der Verortung oder über mögliche Verunreinigungen zu erheben (Pehnt, Bödeker, Arens, Jochem, & Idrissova, 2010, S. 14). Großflächige Potentialstudien basieren jedoch hauptsächlich auf Umfragen ohne tiefergehende Analysen.

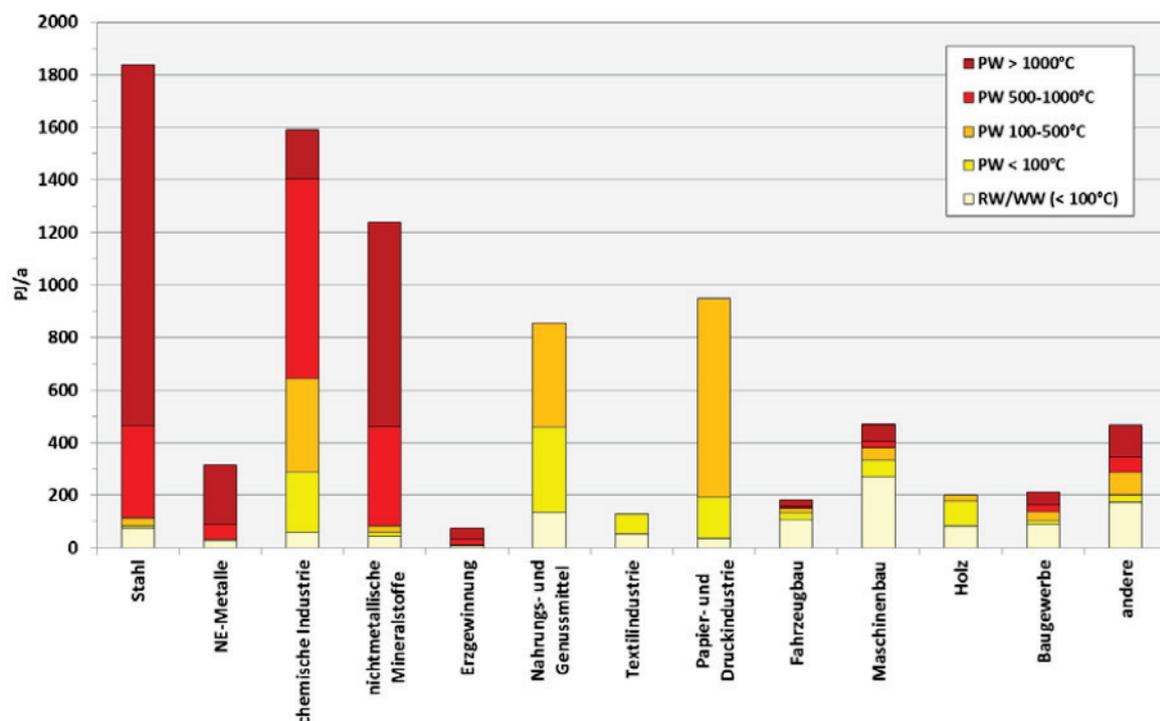
---

<sup>5</sup> [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Manufacturing\\_statistics\\_-\\_NACE\\_Rev.\\_2](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Manufacturing_statistics_-_NACE_Rev._2) besucht am 25.02.2019, 17:00

In der EU28 betrug 2012 der Anteil des **Wärmesektors** rund 47 % des gesamten Endenergieverbrauchs (insgesamt 21600 PJ, davon 7900 PJ im Industriesektor (größtenteils Prozesswärme)), wobei Prozesswärme auf unterschiedlichen Temperaturniveaus < 100 °C (z.B. Trocknung) bis > 1000 °C (z.B. Schmelzöfen) benötigt wird (Naegler, Simon, Gils, & Klein, 2016). Im Kontext der Abwärmenutzung spielt auch das Temperaturniveau der benötigten Prozesswärme eine wichtige Rolle. Die prozessinterne Wärmeintegration mittels Wärmepumpen und Speichern ist nur in Kombination mit geeigneten Temperaturniveaus der Wärmesenken im Prozess möglich. Gemäß (Naegler, Simon, Gils, & Klein, 2016) stellen sich die Temperaturniveaus für die unterschiedlichen Branchen wie folgt dar, siehe Abbildung 3:

- **Bereich > 1000 °C** - Eisen (48 %), Steine und Erden (27 %), Chemische Industrie
- **Bereich 500-1000 °C** - Chemische Industrie (45 %), Steine/Erden (20 %), Eisen (20 %))
- **Bereich 100-500 °C** (Lebensmittelbranche, Papierherstellung, Chemische Industrie)
- **Bereich < 100°C** Prozesswärme < 100 °C trägt 12 % des Endenergieverbrauchs der Industrie bei Lebensmittel, Tabak, Chemische Industrie, Papier, Textil / Holz

Dabei dominiert der Hochtemperaturbereich (> 500 °C) den Wärmebedarf in der Industrie, d.h. 86 % des Wärmeverbrauchs liegen für Prozesswärme in der Industrie und davon 54 % mit Temperaturniveaus > 500 °C und sogar mehr als die Hälfte davon für > 1000 °C, siehe Abbildung 3 und Abbildung 4.



**Abbildung 3: Endenergieverbrauch für Raumwärme/Warmwasser (RW/WW) und Prozesswärme (PW) nach Temperaturbereichen und Branchen in der EU28 für 2012 aus (Naegler, Simon, Gils, & Klein, 2016, S. 8)**

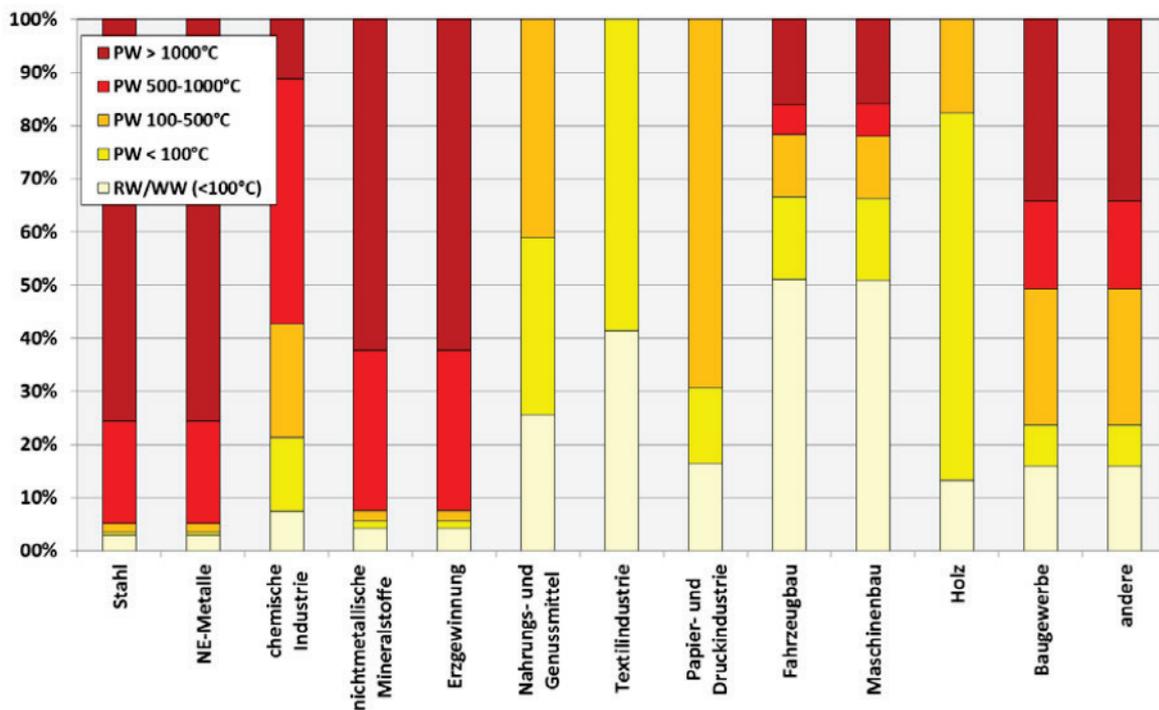


Abbildung 4: Anteile am Endenergieverbrauch für Wärme für Raumwärme/Warmwasser (RW/WW) und Prozesswärme (PW) in verschiedenen Temperaturbereichen aus (Naegler, Simon, Gils, & Klein, 2016, S. 8)

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. Mit diesen Strukturen ist einerseits ein hochdynamischer Betrieb technisch oft gar nicht möglich, andererseits ist die Erreichung eines globalen wirtschaftlichen und ökologischen Optimums im Betrieb nicht gesichert.

Zur Erfüllung der Klimaziele sind innovative Konzepte nötig, wie z.B. die Integration von erneuerbaren Energien in der Industrie durch Prozessintegration. Dabei sind die **Wärmepumpe** im dynamischen Betrieb gekoppelt an die **Produktion** bzw. den **Prozess** und an die **Stromnetze** oder **Auskopplung von Fernwärme** als Beispiele zu nennen. In Zeiten von billigem Überschussstrom kann daneben auch ein **Elektrodenheizkessel** aktiviert werden. Industrieprozesse bestehen also aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Druck- und Temperaturniveaus und Überschusswärmenutzungspotenzialen sowie Energieauskopplungsmöglichkeiten an die Umgebung sowie deren mögliche Wiedereinkopplung in den Prozess, wodurch sich eine Vielzahl von multiplikativen Effekten in dieser Energiebranche ergeben. So können Industrieunternehmen durch die Flexibilisierung ihrer Energieversorgung und Erzeugeranlagen zukünftig auch die Produktion mit den Kurzfrist-Energiemärkten koppeln und damit neue Umsätze generieren. Somit eröffnen sich gleichzeitig Wege in Richtung „green-energy“ Szenario bis 2050.

Für das Vorantreiben neuer Technologien zur effizienten aber auch ökonomischen Nutzung von Überschusswärme benötigt es gesetzliche Rahmenbedingungen und geeignete Förderinstrumente, um in Industrieunternehmen die nötige Anreizwirkung für die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen zu steigern. Bestehende politische Instrumente in der EU zur Nutzung industrieller Überschusswärme kann man in zumindest vier Kategorien einteilen:

- Regulative/administrative Richtlinien
- Ökonomische Anreize (Steuern, Förderungen)
- Information und Verhaltensänderung
- Technologische Fortschritte durch Forschung

Die Nutzung von Überschusswärme aus der Industrie (intern im Betrieb oder extern in benachbarten Betrieben/Fernwärmenetze) erscheint sinnvoll und wird in einigen der vier Policy-Kategorien in verschiedenem Ausmaß als wünschenswerte Maßnahme festgelegt. Allerdings steht die Technologie mit wärmegeführter Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in Konkurrenz, die ebenfalls eine große Wärmesenke brauchen, um ökonomisch betrieben werden zu können. Tatsächlich ist nicht immer eindeutig, welche Technologie in einer systemischen Betrachtung geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht. Bei einer solchen Betrachtung muss die Allokation der Stromerzeugung von KWKs, der Stromnetz- CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor und die alternative Verwendung von Biomasse berücksichtigt werden. Die zukünftige Entwicklung des Strommarktes hat also auch Auswirkungen auf die Nutzung von Überschusswärme aus der Industrie. Gleichfalls haben zukünftige Richtlinien und Gesetze bezüglich CO<sub>2</sub>-Besteuerung eine starke Auswirkung auf die Rentabilität von Abwärme-Auskoppelungen.

Die EU-Energieeffizienzrichtlinie und ihre nationalen Umsetzungen, z.B. das Bundes-Energieeffizienzgesetz (EnEffG) in Österreich, ist nunmehr ein weiterer Treiber für Effizienzmaßnahmen in der Industrie, zu denen die Wärmerückgewinnung in all ihren Facetten eine wichtige Maßnahme darstellt. Die Auswirkungen auf die Rentabilität kann zurzeit noch nicht abgeschätzt werden, da im ersten Abrechnungsjahr schlussendlich kein zusätzlicher monetärer Nutzen für die Energieeffizienzmaßnahme gezogen werden konnte, vor allem, weil ein Verkauf der Maßnahme eine Umweltförderung der KPC verhindert.

Das Identifizieren von Überschusswärmeströmen in der Industrie ist ein wesentlicher Punkt bei der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen. Der am meisten verbreitete methodische Ansatz zur Analyse von Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten stellt die Pinch-Analyse dar, bei der sämtliche zu kühlende und zu erwärmende Massenflüsse erfasst werden. Basierend darauf werden die sogenannten Pinch-Curves erstellt, mit denen grafisch ermittelt wird, wie groß die maximale Wärmerückgewinnung sein kann und wo der thermodynamische Flaschenhals (= sog. Pinch-Point) liegt. Die Optimierung der Wärmerückgewinnung durch die Pinch-Analyse stellt auch für zwischenbetriebliche Überschusswärmennutzung sowie eine etwaige Integration in Energienetze eine geeignete Methode dar. Es können auch Technologien wie Wärmepumpen, Speicher oder Ähnliches mitberücksichtigt werden.

Grundsätzlich können Technologien zur Wärmerückgewinnung folgendermaßen klassifiziert werden:

- Direkte Verwendung ohne Upgrading
- Indirekte Verwendung nach Upgrading (mittels Wärmepumpe)

- Stromproduktion mit Abwärme

Bei Systemen mit fluktuierenden oder intermittierenden Wärmemengen ist die Fragestellung der Wärmespeicherung von großer Bedeutung. Traditionelle, relevante Technologien zur Wärmerückgewinnung sind Wärmetauscher, Industrie-Wärmepumpen, Fernwärme-Auskoppelsysteme, Fernkälte, alternative Niedrig-Temperatur-Senken (z.B. Glashäuser) und Stromproduktion in KWK Anlagen. Zu den neuen Technologien (Emerging Technologies) mit unterschiedlichem Forschungsbedarf zählen beispielsweise Organic Rankine Cycles (ORC), thermoelektrische Stromerzeuger (z.B. Thermophotovoltaik), Verwendung zur Trocknung, die Integration in Bio-Raffinerien oder bei Carbon Capture and Storage (CCS).

### 3.4. Relevante Vorarbeiten zum Thema Überschusswärme

In diesem Kapitel werden einerseits die Ergebnisse aus Annex 15 Task 1 zusammengefasst und andererseits projektrelevante abgeschlossene oder laufende Vorprojekte, die vom nationalen Konsortium bearbeitet werden bzw. wurden, dargestellt.

#### 3.4.1. Zusammenfassung der Ergebnisse von Annex 15 Task 1

Der Task 1-Bericht (verfügbar auf der IETS-Website<sup>6</sup>) enthält die vollständigen Ergebnisse, die im Folgenden zusammengefasst sind.

##### *Methoden zur Bewertung industrieller Überschusswärme*

Es wurden verschiedene Ansätze zur Erhebung von Überschusswärme, Temperaturniveaus und -typen (Luft, Wasser, Gase usw.) entwickelt und angewendet. Normalerweise werden Methoden zur Erkennung von überschüssiger Wärme als Top-Down- oder Bottom-Up-Methoden klassifiziert. Darüber hinaus könnten die identifizierten Potenziale das theoretische, technische oder wirtschaftliche Potenzial sein.

**Top-Down-Ansatz:** Ausgehend vom Primärenergieeinsatz können Annahmen über Effizienz und Verteilung des Energieverbrauchs eine Abschätzung des Überschusswärmepotenzials für verschiedene Sektoren ermöglichen. Das Verfahren erlaubt es jedoch kaum Schlüsse über Temperaturniveaus und Nutzbarkeit dieser Wärmequellen zu ziehen.

**Bottom-Up-Ansatz:** Mithilfe von Fragebögen und/oder Messungen werden spezifische Daten von repräsentativen Unternehmen und Standorten erhoben. Abhängig vom Detaillierungsgrad des Fragebogens lässt diese Methode Rückschlüsse auf das technische Potenzial eines Unternehmens oder einer Branche zu. Messungen sind bei weitem die komplexeste Methode. Eine Reihe von Unternehmen / Standorten muss überprüft werden, und es können Konflikte bezüglich vertraulicher Prozessdaten auftreten.

##### *Verfügbarkeit von industrieller Überschusswärme in verschiedenen Industriebereichen*

Durch Literaturrecherchen und Inputs der internationalen Projektpartner wurde eine Sammlung vorhandener Studien zu Überschusswärmemengen, Temperaturniveaus und Phasen der Wärmeströme (Dampf, Wasser, Luft, Gase) in der Industrie erstellt. Zu den Industrietypen zählen Lebensmittel, Zellstoff und Papier, chemische Anlagen, Eisen und Stahl, Zement, Öltraffinerien und Aluminium. Diese Sammlung wurde auf Länderbasis präsentiert. Die betrachteten Länder sind Norwegen, Dänemark, Deutschland, Österreich, Schweiz, Großbritannien, Kanada, USA, Frankreich, China und Schweden.

##### *Technologien und Systeme zur Wärmerückgewinnung/-nutzung*

Technologien für die Wärmerückgewinnung/-nutzung können einer Gruppe zugeordnet werden

- Direktnutzung ohne Upgrade
- Nach dem Upgrade durch Wärmepumpen verwenden
- Stromerzeugung
- interne oder externe Nutzung

---

<sup>6</sup> <https://iea-industry.org/annexes/annex-xv-industrial-excess-heat-recovery/> besucht am 25.2.2019

In Systemen mit schwankenden oder intermittierenden Überschusswärmemengen kann die Wärmespeicherung ein interessanter oder notwendiger Bestandteil eines Wärmerückgewinnungssystems sein. Traditionelle Technologien sind Wärmetauscher, industrielle Wärmepumpen, Wärme für Fernheizungssysteme oder von Industrie zu Industrie, Fernkälte, Niedertemperaturanwendungen (z. B. Gewächshäuser) und Stromerzeugung in z.B. KWK-Anlagen. Aufstrebende Technologien und Anwendungen sind neue Arten von Stromerzeugungstechnologien (Organic Rankine-Cycles, thermoelektrische Geräte) sowie die Verwendung zum Trocknen (z.B. Biomasse) und in integrierten Bioraffinerien. Ein Beispiel für eine Zukunftstechnologie ist industrielles CCS, bei dem Erwärmen (bei relativ niedrigen Temperaturen) der mit Abstand teuerste Teil ohne die Verwendung von überschüssiger Wärme wäre.

### *Politische Instrumente und Klimafolgen*

Alle teilnehmenden Länder verfügen über politische Instrumente unterschiedlicher Art, die sowohl die interne als auch externe Nutzung von überschüssiger Wärme beeinflussen.

Die vorhandenen oder möglichen politischen Instrumente für die externe Nutzung können in mindestens vier verschiedene Kategorien unterteilt werden (Anzahl und Arten von Instrumenten variieren natürlich von Land zu Land):

- Regulative / Administrative
- Wirtschaft / Steuern / Subvention
- Informations- / Verhaltensänderungen
- Technische Verbesserungen / Forschung

Der mögliche Einfluss auf die Nutzung von überschüssiger Wärme dieser verschiedenen Kategorien ist positiv, neutral oder negativ.

Unabhängig davon, wie dies steuerlich geschieht, wird eine CO<sub>2</sub>-Abgabe auch die zukünftigen Preise für Kraftstoff und Emissionen beeinflussen, was die wirtschaftliche Nutzbarkeit von überschüssiger Wärme stark beeinflussen wird. Um den Unsicherheiten zu begegnen, wurden von vielen Organisationen verschiedene Szenarien entwickelt. Ein wichtiges Beispiel ist die Internationale Energieagentur (IEA), die drei verschiedenen Szenarien mit sehr unterschiedlichen zukünftigen CO<sub>2</sub>-Kosten entwickelt hat. Der Einfluss der zukünftigen möglichen CO<sub>2</sub>-Abgaben auf die Wirtschaftlichkeit wurde als wichtiger Bereich für die weitere Arbeit identifiziert.

### **3.4.2. Nationale Vorprojekte: Thermische Energiespeicher**

#### *FFG: 845020 - Tes4seT: Thermal energy storage for sustainable energy technologies*

Im Leitprojekt Tes4seT werden thermische Speicherkonzepte und -technologien für die Anwendungsbereiche Gebäude, Industrie und Mobilität entwickelt. In das Projekt wurden insbesondere Modelle von latenten Energiespeichern für den industriellen Einsatz eingebracht. Des Weiteren wurden die Ergebnisse aus der experimentellen Charakterisierung der genannten Speicherarten zur Verfügung gestellt. (AP3, AP5) AEE, AIT

#### *FFG: 848914 - StoreITup-IF: Neue Polymer-Latentwärmespeicher für Industrie, Solarthermie, Wärmenetze und Kraftwerke im Temperaturbereich 80-400 °C*

In StoreITup-IF wurden optimierte Polymercompounds und Wärmeübertrager für den Einsatz in industriellen Latentwärmespeichern entwickelt. Die thermischen Speicher wurden im Labormaßstab

gebaut, vermessen und zur Abwärmenutzung in der Kunststoff-Extrusion sowie im Aluminium-Guss eingesetzt, um erste Betriebserfahrungen zu sammeln. In das Projekt wurden erste Betriebserfahrungen mit neuartigen, organischen PCM-Speichern in ausgewählten Industrieprozessen auf TRL5 eingebracht. (AP3, AP5) AIT

#### *FFG: 836636 - GSG: GreenStorageGrid*

Es wurden einerseits sensible, latent und thermochemische Speichertechnologien theoretisch entwickelt und in Versuchsanlagen erforscht. Zusätzlich werden auch ausgewählte industrielle Anwendungsszenarien untersucht. Erkenntnisse werden in das Projekt eingebracht (TUW)

### **3.4.3. Nationale Vorprojekte: Wärmepumpen**

#### *FFG: 843935 - HighButane 2.0: Konzeption einer neuartigen Butan-Hochtemperaturwärmepumpe zur Effizienzsteigerung in industriellen Prozessen*

HighButane 2.0 zielt auf die Nutzung der hervorragenden Eigenschaften von Butan als Kältemittel in ein- sowie mehrstufigen Prozesswärmepumpen ab, um in Zukunft industrielle Abwärmepotenziale von 50-80°C auf 100-140°C heben zu können und damit in anderen industriellen Prozessen nutzbar zu machen. Es wurden validierte Konzepte für hocheffiziente Wärmeübertrager in Butan Hochtemperatur-Wärmepumpen sowie deren optimalen Systemkonfigurationen für ausgewählte Anwendungsfälle eingebracht. (AP3, AP5), AIT

#### *FFG: 848912 - DryPump: Effiziente Trocknung mit Kompressionswärmepumpen*

DryPump erforscht wesentliche industrielle Forschungsfragen im Kontext der Nutzung von Kompressionswärmepumpen bei der industriellen Trocknung im Temperaturbereich von 60-95 °C Verdampfungs- sowie von bis zu 170 °C Kondensationstemperatur. Es wird anhand von Funktionsmustern in relevanter Baugröße und unter realen Betriebsbedingungen, die Temperaturbeständigkeit kritischer Materialien, das sichere An- und Abfahren, sowie die Direkteinspritzung zur Heißgaskühlung untersucht sowie Konzepte zur Prozessintegration entwickelt.

Es wurden insbesondere die Ergebnisse aus der Simulation von Komponenten und ausgewählten Kreisläufen, sowie die Ergebnisse aus Prüfstandsmessungen eingebracht. (AP3, AP5), AIT

#### *FFG: 843888 - Hotpump Reloaded: High temperature heat pumps for the energetic use of industrial (low temperature) waste heat*

In Hotpump Reloaded wird eine Hochtemperaturwärmepumpe, welche bei Quellentemperaturen von bis 55 °C und für Vorlauftemperaturen von bis 130 °C insbesondere in der Prozess- und Kraftwerkstechnik eingesetzt werden kann, entwickelt. Es wurden insbesondere Erkenntnisse zur Entwicklung von Hochtemperaturwärmepumpen eingebracht. (AP3), AIT

#### *EC: 723576 - DRYficiency: Waste Heat Recovery in Industrial Drying Processes*

Im H2020 Projekt DRYficiency werden technisch und wirtschaftlich sinnvolle Konzepte zur Anhebung der Temperatur der Abwärmeprozessströme in industriellen Trocknungsprozessen auf bis zu 180 °C entwickelt und in der realen Einsatzumgebung bei drei Industriepartnern (Nahrungsmittel, Tiernahrung, Ziegelherstellung) demonstriert.

Es wurden insbesondere die Ergebnisse erster Feldmessungen im industriellen Umfeld eingebracht. (AP3, AP5), AIT

### 3.4.4. Nationale Vorprojekte: Systemische Betrachtungen

#### *FFG: 848818 - EnPro: Erneuerbare Prozesswärme-Integration von Solarthermie und Wärmepumpen in industrielle Prozesse*

EnPro zielt auf die Verringerung von Barrieren bei der Integration von Solarthermie- und Wärmepumpentechnologie in industrielle Prozesse ab. Zu diesem Zweck wurden Fallstudien in der Nahrungs- und Futtermittelbranche, der Papierindustrie, der Metallbranche, bei Wäschereien und der Dämmstoffindustrie durchgeführt. Es wurden Potentialanalysen für die Integration von Solarthermie und/oder Wärmepumpe in fünf Branchen der Industrie (Lebensmittel, Wäschereien, Metallverarbeitung, Dämmstoffe, Papier und Pappe) durchgeführt. Es wurden Prozess- und Anlagedaten aus den oben genannten Branchen, Integrationsschemata zur Integration von Wärmepumpen und Solarthermieranlagen, sowie technisch-wirtschaftliche Bewertungen eingebracht. (AP2, AP3) AEE, AIT

#### *FFG: 843864 - Roadmap Industrie - F&E-Roadmap Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie*

Leitlinien für die künftige Ausrichtung des Themenfelds „Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe“ des Energieforschungsprogramms des KLIEN, Identifikation der vorrangigen Forschungsfelder, Überblick über notwendige FTI-politische Maßnahmen mit der Perspektive 2030 bis 2050. Betrachtete Sektoren: „Glas, Steine, Erden, Mineralien, Keramik inkl. Zement“, Eisen/Stahl und Nichteisenmetalle, Papier und Zellstoff, Chemie und Petrochemie. AIT

#### *FFG: COMET - K1-Centers: K1-MET Competence Center for Excellent Technologies in Advanced Metallurgical and Environmental Process Development, Phase 3 Subproject 3.4: Energy Systems; Heat Recovery in the Dry Slag Granulation Process*

Laufendes Projekt; es wird eine Pilotanlage zur Schlacke-Granulation, Heißluft-Erzeugung und speichergestützte Abwärme-Rückgewinnung in Form von Mitteldruck-Dampf realisiert. TUW

#### *FFG: 853568 – sCO<sub>2</sub>-Phase1 CO<sub>2</sub> als Arbeitsmedium in der Energierückgewinnung*

Laufendes Projekt; es werden Prozess-Schaltung zur Stromproduktion aus Abwärme analysiert. Zusätzlich wird in einer Labor-Versuchsanlage das Betriebsverhalten eines CO<sub>2</sub>-Kraftwerkes simuliert. TUW

#### *EC: IEE-No. 12/723.SI2.645697 - GREENFOODS: Towards zero fossil CO<sub>2</sub> emissions in the European Food and Beverage Industry*

Abgeschlossenes Projekt, 204 Fallstudien in Lebensmittelbetriebe in sechs europäischen Ländern mit Umsetzungskonzepten und Abwärmenutzung über Pinch-Analyse, vorliegendes Tool mit Methodik, kumulierte Potentialstudie zur Abwärmenutzung. AEE

#### *FFG: 829713 - SolarFoods: Solarthermie-Branchenkonzepte für die Lebensmittelindustrie*

10 Fallstudien in österreichischen Lebensmittelbetrieben mit Abwärmenutzung (innerbetrieblich) und Integration RES, Entwicklung eines Bewertungstools mit vereinfachter Pinch-Analyse zur Abwärmenutzungskonzepten, Identifikation exogetisch nutzbarer Abwärmeströme aus Prozessen und Anlagen, solare Roadmap mit Bewertung Abwärmeströme. AEE

#### *EC: IEE-No. 09/702/SI2.558239 - EINSTEIN: Expert-system for an Intelligent Supply of Thermal Energy in Industry and other large-scale applications*

Entwicklung einer Methodik und Software zur raschen Identifikation und Bewertung von Optimierungspotentialen (Energieeffizienz) und Integration RES

Entwicklung der Grundlage für die Energieaudit-Norm EN16247.

160 Energieaudits mit Umsetzungskonzepten inklusive Abwärmenutzung flossen in das Projekt ein, AEE

*FFG: 821907 - **EINSTEIN Österreich**: Methode zur Energieeffizienzanalyse und zum Einsatz von erneuerbarer Energien für produzierende für Betriebe*

Anwendung der EINSTEIN Methodik in einem österreich-spezifischen Projekt mit Audits und Identifikation von Abwärmepotenziale, AEE

*FFG: 829856 - **SOCO**: Storage Optimisation Concept*

Entwicklung einer spezifischen Pinch-Analyse (zeitlich hochaufgelöst) zur Nutzung und Integration von Abwärmepotentialen aus Industriebetrieben und Fernwärmenetzen in Kombination mit Wärmetauscher- und Speichernetzwerken.

Potentialanalyse und Methodik wurden in das Projekt eingebracht, AEE

*EC / FFG: Era-Net 855078 - **IntegrCiTy**: Decision-support environment for planning and integrating multi-energy networks and low-carbon resources in cities*

Entwicklung einer Bewertungsplattform inklusive der Darstellung und Identifikation anfallender Abwärmeströme aus Industrie und Gewerbe.

Identifikationsmethodik und erhobenen Potenziale wurden in das Projekt eingebracht, AEE

### **3.4.5. Nationale Vorprojekte: Politische Instrumente**

*EC: H2020 - **TrustEE**: Innovative market-based Trust for Energy Efficiency investments in industry*

Entwicklung innovativer Finanzierungsmöglichkeiten von Energieeffizienzmaßnahmen und RES-Integration, Bewertung von Umsetzungskonzepten, Identifikation ökonomisch sinnvoller Potentiale.

Identifikationsmethode und erhobene Potentiale wurden eingebracht, AEE

### **3.5. Aufbau des Ergebnisberichts**

In den folgenden Kapiteln werden Ergebnisse die vom nationalen Projektkonsortium erarbeitet wurden präsentiert und Erkenntnisse, die aus der internationalen Zusammenarbeit im Annex entstanden sind, dargestellt. Dazu wird in Kapitel 4 zuerst das internationale sowie nationale Konsortium vorgestellt und die Projektziele auf nationaler sowie internationaler Ebene dargelegt. Weiters werden die Inhalte, die im internationalen Annex-Projekt bearbeitet wurden, präsentiert und die Methodik der Zusammenarbeit beschrieben.

In Kapitel 5 werden anschließend die konkreten Projektergebnisse des internationalen Kooperationsprojektes dargestellt. Dabei wurden die meisten Unterkapitel so gegliedert, dass die Projektergebnisse der einzelnen Teilnehmernationen dargestellt sind und abschließend eine Zusammenfassung der Ergebnisse bzw. Schlussfolgerungen angeführt werden. Die nationalen Beiträge wurden als sogenannte NT-Reports verfasst und dem internationalen Konsortium zur Verfügung gestellt.

Wie mit den Projektergebnissen und neugewonnen Erkenntnissen weitergearbeitet wird und welche nationalen Stakeholder konkret von der österreichischen Beteiligung am Annex Projekt profitieren, wird in Kapitel 6 erläutert.

Abschließend wird in Kapitel 7 der Mehrwert des Projektes für das Projektteam dargestellt und ein Ausblick gegeben, welche weiterführenden Aktivitäten durch die Projektbeteiligung geplant sind.

## 4. Hintergrundinformation zum Projektinhalt

### 4.1. Darstellung des gesamten Kooperationsprojektes

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Task 1 des IEA IETS Annex 15 wurde auch in Task 2 ein multi-disziplinärer Ansatz zur integrierten Nutzung von industrieller Abwärme verfolgt und auf die Optimierung der Energieeffizienz im globalen Kontext abgezielt. Der Fokus lag auf der Optimierung und (Weiter-)Entwicklung von energie- und kosteneffizienten Technologien für die industrielle Anwendung unter Berücksichtigung der industriellen Rahmenbedingungen.

Jedes Teilnehmerland hatte eigene Inhalte und Ergebnisse nationaler Projekte einzubringen. Der IEA IETS Annex 15/2 beinhaltete und adressierte dabei folgende Subtasks:

- Subtask 1: In-depth evaluation and inventory of excess heat levels
- Subtask 2: Methodology on how to perform an inventory in practice
- Subtask 3: Possible policy instruments and the influence on future use of excess heat
- Subtask 4: Technology Development

Die Task-Manager waren Thore Berntsson, Chalmers University of Technology/CIT IE und Anders Åsblad, Chalmers Industriteknik, Industriell Energi (CIT IE). Ihre Arbeit wurde von der schwedischen Energieagentur gefördert.

Das internationale Projektkonsortium setzte sich aus Teilnehmern aus EU Staaten und Kanada zusammen:

- 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
- Frankreich: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), und Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques (CETIAT)
- Deutschland: Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques IPM, Freiburg
- Italien: Eurac Research
- Norwegen: SINTEF
- Portugal: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), Instituto Superior Técnico (IST) und National Group for Process Integration (GNIP)
- Schweden: Linköping University (LiU), Chalmers University of Technology und Faculty of Engineering Lund University (LTH)

An **Deliverables** der internationalen Kooperation Annex 15/2 waren geplant:

- Ein zusammenfassender Bericht über die Erkenntnisse aus Projektbeiträgen für den Task als auch thematisch relevante Ergebnisse aus der Literatur

- Eine Empfehlung für weiterführende internationale Arbeiten (im Endbericht des internationalen Annex enthalten)
- Ein oder mehrere Berichte je teilnehmendes Land über die nationalen Beiträge

Die nationalen Beiträge und deren Zuordnung zu den jeweiligen Subtasks sind in Tabelle 1 **Fehler!**  
**Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt.

**Tabelle 1: Beiträge der teilnehmenden Länder und die adressierten Subtasks**

LAND	BEITRAG	1	2	3	4
ÖSTERREICH	Methoden zur Bestimmung von Abwärmemengen (inkl. Pinch-Analysen)	X	X		
	Methodologie basierend auf den Projekten EINSTEIN und GREENFOODs, Branchenkonzepte und Best-Practice Beispiele			X	
	Neuartige Finanzierungsinstrumente (TrustEE)				X
	Technologieentwicklung				X
	- Fortschrittliche Betriebsstrategien (z.B. Abwärmenutzung vs. KWK) - Technologien und Systeme zur Abwärmenutzung (z.B. Speicherintegration, Wärmepumpen, Abwärmeverstromung) - Thermische Energiespeicher (sensibel, latent, thermochemisch, Ruths)				
KANADA	Definition und Quantifizierung von verfügbarer Abwärme in Kanada (Papier- und Zellstoffindustrie, Schlachtbetriebe)	X			
	Bewertung bestehender politischer Instrumente in Kanada und deren Einfluss auf Abwärmenutzung in Kanada			X	
DÄNEMARK	Ergebnisse und Erfahrungen zum Betrieb eines Dampf-Turbokompressors in einem Prüfstand				X
FRANKREICH	Abwärmelevels	X			
	Methodologie		X		
DEUTSCHLAND	Abwärmeatlas	X	X		
ITALIEN	Aus dem Projekt REEMAIN: Implementierung, Verifizierung, Best-Practices für die Wärmerückgewinnung in Demoanlagen	X			(X)
	Überschusswärme für Fernwärme unter Einsatz von Hochtemperaturwärmepumpen	X			(X)
	Aus dem Projekt STARDUST (smart cities): Verortung von Quellen und Senken, techno-ökonomische Bewertung	X	X		
NORWEGEN	Zusammenfassung von Umsetzungsprojekte zur Abwärmenutzung in Norwegen	X			
	Vorschlag für eine standardisierte Erhebungsmethode für Überschusswärme		X		
	Matrix mit vorhandenen politischen Instrumenten in Norwegen mit deren positiven, neutralen und negativen Effekten			X	
PORTUGAL	Neue Ergebnisse von Forschungstätigkeiten im Bereich neuartiger Wärmepumpen, Power-Cycles zur Abwärmeverstromung, neuartige Speichertechnologien für industrielle Prozesse				X
	Bewertung von Abwärmelevels in Portugal (Fallbeispiele)	X			
	Abwärme in der Zementindustrie (Fallbeispiel)	X			X
SCHWEDEN	Entwicklung und Einsatz von neuen Methoden zur Identifikation effizienter Abwärmenutzung	X	X	X	

Jedes teilnehmende Land hat sich dazu verpflichtet zumindest ein **Arbeitspensum von 15 Personenwochen pro Jahr** einzubringen. Dieses Arbeitspensum beinhaltet das Reporting für das Projekt. Jedes teilnehmende Land hatte zudem folgende Pflichten:

- Inputs aus zumindest einem laufenden Projekt bzw. einem Teil eines größeren Projektes einzubringen;
- Input zu den Deliverables sowie zu Jahresberichten und Endbericht zu liefern;
- aktiv an den Arbeitsmeetings sowie Workshops teilzunehmen und seine nationalen Ergebnisse einzubringen.

## 4.2. Beschreibung des österreichischen Projektkonsortiums

### 4.2.1. Austrian Institute of Technology (AIT, Projektleitung)



**AIT Center for Energy,**  
Giefinggasse 2, 1210 Wien,  
Projektleiter: Univ.-Prof. Dr. René Hofmann,  
E-Mail: [Rene.Hofmann@ait.ac.at](mailto:Rene.Hofmann@ait.ac.at)

Das Center for Energy entwickelt mit einem Team von 200 MitarbeiterInnen aus 20 Ländern in einem interdisziplinären Ansatz nachhaltige thermische und elektrische Energiesysteme der Zukunft. Die Betrachtung reicht von einzelnen Komponenten über die Systemebene hin zu Energiekonzepten für Gebäude, Industriesysteme, Städte und ganze Regionen. Das AIT ist ausgezeichnet vernetzt und hat u.a. eine führende Rolle in der EERA, den ETP (u.a. RHC, SmartGrids, DHC+) und in diversen Aktivitäten der Internationalen Energieagentur (IEA). Das Geschäftsfeld *Sustainable Thermal Energy Systems* verfügt über profunde Erfahrung und wissenschaftliche Expertise in der Beforschung, Prüfung und Qualitätssicherung von Wärmepumpen- und Solarthermieanlagen sowie thermischen Speichern auf Komponenten- und Systemebene und deren Integration in Gebäude, industrielle Prozesse und Fernwärme- und -kältesysteme.

Mitarbeiter im Annex-Projekt: Univ.-Prof. Dr. René Hofmann, DI Anton Beck

### 4.2.2. Technische Universität Wien



**Technische Universität Wien (TUW),  
Institut für Energietechnik und Thermodynamik (IET)**  
Getreidemarkt 9, 1060 Wien,  
Projektleiter: Univ.-Prof. Dr. Markus Haider  
E-Mail: [Markus.Haider@tuwien.ac.at](mailto:Markus.Haider@tuwien.ac.at)

Die Technische Universität Wien (TUW) ist die größte naturwissenschaftlich-technische Forschungs- und Bildungseinrichtung in Österreich. Das Institut für Energietechnik und Thermodynamik (IET) versteht sich als Kompetenzzentrum für maschinenbauliche und verfahrenstechnische Aspekte der Energie- und Anlagentechnik und forscht schwerpunktmäßig in den Bereichen „Thermodynamik und Wärmetechnik“, „Industrielle Energiesysteme“ und „Strömungsmaschinen“. Das IET fokussiert sich in seiner Arbeit auf zukunftsbezogene Innovationen mit hoher Relevanz und Bedeutung für das industrielle und energiewirtschaftliche Umfeld in Österreich.

IET bringt u.a. Expertise in der numerischen Berechnung wärme- und strömungstechnischer Prozesse, spezielles Know-how in Bezug auf Methoden/Technologien zur Steigerung der industriellen Energieeffizienz (insbes. Wärmerückgewinnung, Abwärmenutzung unter Einsatz erneuerbarer Technologien), Expertise in der Optimierung von Betriebsstrategien.

Mitarbeiter im Annex-Projekt: Univ. Prof. Dr. Markus Haider

### 4.2.3. AEE- Institut für Nachhaltige Technologien



**AEE - Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC),**  
Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf,  
Projektleiter: DI. Christoph Brunner  
E-Mail: [c.brunner@aee.at](mailto:c.brunner@aee.at)

AEE INTEC ist eine außeruniversitäre Forschungseinrichtung, die im Jahr 1988 gegründet wurde und derzeit rund 85 MitarbeiterInnen beschäftigt (davon 65 technisch-wissenschaftliche Angestellte). Die AEE INTEC beschäftigt sich mit der Erforschung von naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen der Solarenergienutzung, mit der Entwicklung von effizienten (netzgebundenen) Versorgungssystemen für Gebäude, Stadtquartiere, Städte und Regionen. Ein Fokus liegt auf industriellen Prozessen und Energiesystemen und der damit verbundenen Ressourcen- und Energieeffizienz auf Prozess- und Systemebene in Industriebetrieben sowie der effizienten Integration von Industriebetrieben in Ver- und Entsorgungsstrukturen und der sich daraus ergebenden Wechselwirkung. In diesen Bereichen spannt sich der Bogen von der Prototypenentwicklung bis hin zur Ausführung von Demonstrationsanlagen. Darüber hinaus plant und berät das Institut und stellt Know-how zur Verfügung. Auftraggeber dieser Projekte sind Länder, Bundesministerien, die Europäische Kommission, die UNIDO, sowie Industrie- und Gewerbebetriebe.

MitarbeiterInnen im Annex-Projekt: DI Christoph Brunner, DI Jürgen Fluch, DI Anna Grubbauer, DI Wolfgang Gruber-Glatzl

#### **4.2.4. Verein Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz (Subauftragnehmer)**



**Verein Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, (EI-JKU)**  
Altenberger Straße 69, A-4040 Linz  
Projektleiter: Dr. Simon Moser  
E-Mail: [Moser@energieinstitut-linz.at](mailto:Moser@energieinstitut-linz.at)

Der Verein Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz (EI-JKU) hat als interdisziplinäre Forschungseinrichtung umfassende Kompetenz in den Bereichen Energierecht, Energiewirtschaft und Energietechnik. Aufgrund dieser Ausrichtung vermag das EI-JKU nicht nur wichtige Beiträge für die tagespolitische Diskussion zu liefern, sondern leistet auch dort Pionierarbeit, wo die Fragen in der Fachöffentlichkeit erst im Entstehen sind. Dies geschieht in enger Zusammenarbeit mit öffentlichen Institutionen, wissenschaftlichen Instituten und Unternehmen.

Das EI-JKU erstellte die F&E-Fahrpläne „Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie“ und „Energieeffizienz in der Textil- und Lebensmittelindustrie“. Beide industriespezifischen Projekte weisen im Sinne der Energieeffizienz stark auf die Notwendigkeit der Betrachtung des Bereichs Abwärme hin. Daneben wurde die energiewirtschaftliche und energierechtliche Kompetenz in Projekten wie z.B. „Smart Energy 4 Smart Industry“ eingebracht. Der Industrie ist auch im Projekt „LoadShift“, welches das EI-JKU leitete, ein eigenes Kapitel gewidmet.

Für den Bereich der industriellen Abwärme besteht energiewirtschaftliche und energierechtliche Kompetenz bzgl. der Speicherung und Nutzung. Das EI-JKU ist konkret an den Projekten „Open Heat Grid“, „heat\_portfolio“, „Seasonal Grid Storage“ und „Future District Heating System Linz“ beteiligt, welche die industrielle Abwärmenutzung in Fernwärmenetzen behandeln. Auch wurden am EI-JKU techno-ökonomische Studien zu spezifischen Technologien durchgeführt.

### 4.3. Ziele der nationalen Kooperation

Die Projektziele aus österreichischer Sicht können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Verstärkte Einbindung österreichischer Forschungseinrichtungen in das internationale Forschungsnetzwerk
- Partizipation an einer Plattform für den Informationsaustausch
- Initiierung internationaler Projekte im Bereich Abwärmenutzung in Industrieprozessen
- Entwicklung neuer Kooperationen und Partnerschaften in Industrie und Forschung
- Wissenstransfer und die Weiter-/ Entwicklung technologischer Kompetenzen
- Anbieten von existierendem Know-how und Wissensausbau

Zudem wurden durch das Einbringen vieler nationaler und internationaler Vorprojekte die Sichtbarkeit des Forschungsstandorts Österreich in Bezug auf Energieeffizienz und Nutzung von industrieller Überschusswärme erhöht.

### 4.4. Ziele der internationalen Kooperation und nationaler Beitrag zur Zielerreichung

Die Hauptziele von Annex 15 Task 2 waren:

- Verbesserung der internationalen Zusammenarbeit im Bereich der industriellen Nutzung von überschüssiger Wärme.
- Schaffung einer Plattform innerhalb der IEA für den Austausch von Erfahrungen und Erkenntnissen in F&E-Projekten in den vier Bereichen
  - Eingehende Bewertung und Bestandsaufnahme der Überschusswärme
  - Methodik zur praktischen Durchführung einer Bestandsaufnahme
  - Mögliche politische Instrumente und Einfluss auf die zukünftige Nutzung von überschüssiger Wärme
  - Technologieentwicklung
- Verbesserung des Wissens über die technischen und wirtschaftlichen Potenziale der industriellen Überschusswärmenutzung in den teilnehmenden Ländern, intern und extern, über die Erfahrungen und Ergebnisse von Inventurstudien in verschiedenen Arten von Industriezweigen und verschiedenen Ländern.
- Austausch von Erfahrungen mit der Durchführung von Inventurstudien.
- Verbesserung des Wissens über die wirtschaftlichen und nachhaltigen Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit industrieller Überschusswärmeprojekte verschiedener möglicher künftiger Entwicklungen der politischen Instrumente und Ermittlung künftiger Pläne oder Trends für die Entwicklung politischer Instrumente in den teilnehmenden Ländern.

Das österreichische Projektteam lieferte während der Projektlaufzeit Input aus Vorprojekten und laufenden Projekten zu den einzelnen Subtasks im Annex. Durch das große nationale Konsortium (drei

Projektpartner, ein Subauftragnehmer) konnten die bearbeiteten Themenfelder maßgeblich mitgestaltet werden.

Auch durch die (Mit)-Organisation von zwei von den durchgeführten internationalen Projektmeetings konnte der Forschungsstandort Österreich ins Zentrum des Projektes gerückt werden. Auch die proaktive Gestaltung von Workshops zum Thema Prozessintegration innerhalb des internationalen Konsortiums konnte die Zusammenarbeit gefördert werden.

#### **4.5. Methodik der Zusammenarbeit und inhaltliche Gliederung**

Die internationale Zusammenarbeit basierte auf Telefon- und Webkonferenzen sowie auf drei Meetings die in Lissabon, Wien und Graz abgehalten wurden. Dabei wurden die nationalen Beiträge vorgestellt und diskutiert. Diese Beiträge wurden anschließend von den Annex-Managern gesammelt und für den internationalen Bericht aufbereitet. Zusätzlich zu den regulären Meetings wurden vom österreichischen Projektteam auch zwei Workshops zum Thema Prozessintegration organisiert, die auch von internationalen Projektteilnehmern besucht wurden.

##### **4.5.1. Subtask 1: In-depth evaluation and inventory of excess heat levels**

In Task 1 des Annex 15 wurden nationale Bestandsaufnahmen von Abwärme in Industrieprozessen zusammengeführt. Als Problem wurden die teilweise sehr groben Daten zu den Abwärmeströmen identifiziert. Ausgewählte Prozesse in den relevanten Branchen der heimischen Industrie wurden mit verschiedenen Analyseverfahren (Prozesssimulation, Pinch-Analyse, etc.) genauer durchleuchtet, um ein klareres Bild der nutzbaren Überschusswärme zu erlangen.

Im internationalen Kooperationsprojekt wurde eine Datenbank für Prozessanalysen geschaffen. Jedes Teilnehmerland lieferte dazu drei aufbereitete Beispielprozesse. Zudem wurden bestehende Studien zur Verfügbarkeit von Überschusswärme um zusätzliche Studien ergänzt.

##### **4.5.2. Subtask 2: Methodology on how to perform an inventory in practice**

In Subtask 2 wurden verschiedene Ergebnismethoden zur Nutzung industrieller Überschusswärme gesammelt, die in den einzelnen Teilnehmerländern angewendet werden. Diese Methoden wurden kategorisiert (Fragebögen, Prozessintegrationsmethoden, Kombinationen) und Vor-/Nachteile aufgezeigt. Arbeiten der österreichischen Partner wurden aufbereitet und im internationalen Projekt vorgestellt.

##### **4.5.3. Subtask 3: Policy instruments and the influence on future use of excess heat**

Wie bereits in Task 1 wurden auch in Task 2 laufende Entwicklungen auf Policy-Ebene näher verfolgt und die möglichen Auswirkungen auf die Nutzung von industrieller Überschusswärme untersucht und entsprechend bewertet (positiv, neutral, negativ). Auch dazu wurden nationale Beiträge gesammelt und aufbereitet.

##### **4.5.4. Subtask 4: Technology development for excess heat usage**

Für den Technologiesubtask wurden relevante Forschungsergebnisse der Teilnehmerländer gesammelt. Neuartige Speicher- und Wärmepumpenkonzepte (Hochtemperaturanwendungen) und deren Integration in Industrieprozesse wurden im internationalen Projektkonsortium präsentiert und

Know-how ausgetauscht. Zudem wurde ein systematischer Vergleich unterschiedlicher Abwärmeverstromungstechnologien durchgeführt und ebenfalls eingebracht.

## 5. Projektergebnisse

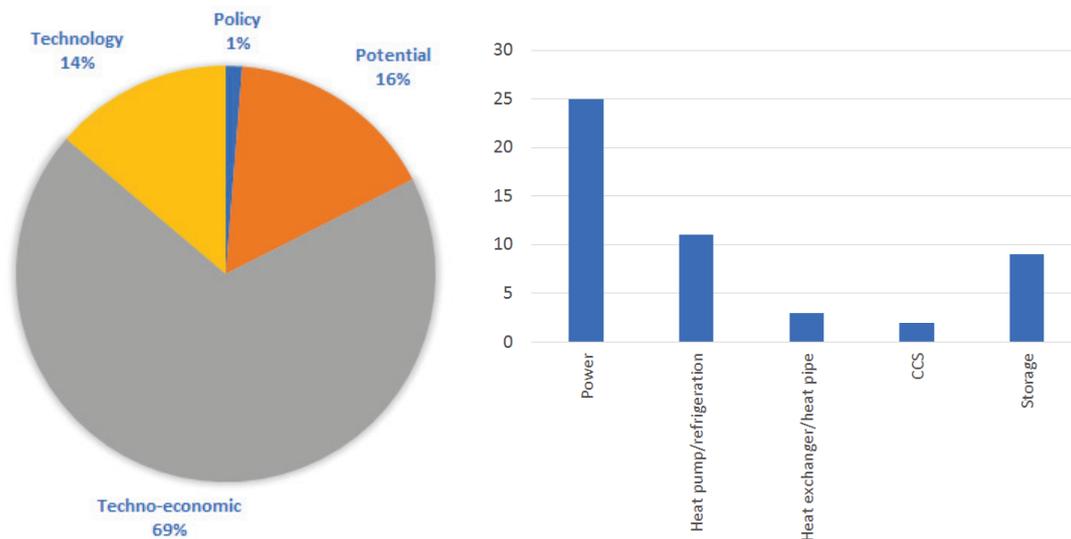
In den folgenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse des internationalen Annex-Projektes angelehnt an den internationalen Endbericht zusammengefasst.

### 5.1. Literaturanalyse

Eine Aufgabe für den Annex-Manager bestand darin, eine Literaturrecherche über das, was seit 2015 weltweit zu diesem Thema berichtet wird, durchzuführen. Die Umfrage ist nicht umfassend und enthält keine detaillierte Analyse, zeigt aber das weltweite Interesse und den Fokus auf verschiedene Regionen und Länder. Die Referenzen wurden mit dem Service "Web of Science" gesammelt und umfassen Arbeiten von 2015 bis zum 1. Quartal 2018. Im Titel musste zumindest einer der Begriffe "waste heat", "excess heat" oder "surplus heat" und im „Scope“ oder in der Zusammenfassung das Wort "industry" enthalten sein. Erwartungsgemäß war "waste heat" der häufigste Begriff (75 %), gefolgt von "excess heat" (15 %) und "surplus heat" (10 %). Die Hauptthemen der Referenzen wurden unterteilt in

- techno-ökonomische Studien,
- Technologiefokus,
- Abschätzung (und Methoden) von Überschusswärmepotentialen,
- und Politikinstrument.

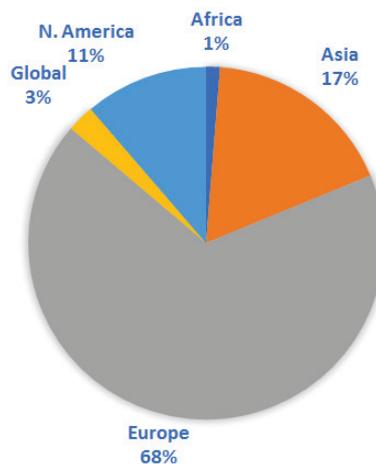
Am häufigsten sind techno-ökonomische Studien, während politische Instrumente das am wenigsten verbreitete Thema ist, siehe Abbildung 5.



**Abbildung 5: Thematische Verteilung wissenschaftlicher Arbeiten zum Thema Abwärme**

Am häufigsten in den techno-ökonomischen Studien und in den Publikationen zu Technologieentwicklungen sind verschiedene Stromerzeugungstechnologien (Rankine-Zyklen (ORC- und Dampfzyklen), thermoelektrische Generatoren und Thermo-Photovoltaik). Wärmepumpen/Kältekreisläufe und Speicher sind ebenfalls häufige Technologien, während Wärmeaustausch und CCS weniger verbreitete Technologien sind.

Betrachtet man die Regionen, so dominiert Europa die Anzahl der Referenzen, siehe Abbildung 6. ("Global" bezieht sich z.B. auf Studien zum globalen Überschusspotenzial.) In Europa hat Schweden die größte Anzahl von Referenzen.



**Abbildung 6: Wissenschaftliche Publikationen nach Regionen**

## 5.2. Erhebung und Analyse von Überschusswärme

In diesem Kapitel werden die von den teilnehmenden Ländern vorgestellten Methoden zur Ermittlung von Mengen und Temperaturniveaus von industrieller Überschusswärme diskutiert. Die darin einzelnen Methoden sind auch im internationalen Endbericht dargestellt.

Die verschiedenen Ansätze lassen sich grob in folgende Kategorien einteilen:

- Fragebögen an Unternehmen
- Methoden zur Identifizierung und Integration von industriellen Energiesystemen
- Nutzung vorhandener Kenntnisse von realen Anlagen oder „Modellanlagen“ für verschiedene Industriezweige und Ermittlung von Potentialen für überschüssige Wärme

### 5.2.1. Erhebung mittels Fragebögen

#### *Deutschland*

Das deutsche Projektteam brachte ihre Erfahrungen bei der Erhebung von Abwärmepotentialen in Deutschland in das internationale Annex-Projekt ein. Dabei stellte sich als größte Herausforderung bei der Potentialerhebung die Heterogenität der produzierenden Industrie heraus: Kleine bis große Unternehmen setzen unterschiedliche Technologien, Maschinen und Produktionsprozesse ein, bei denen Überschusswärme in unterschiedlichen Mengen und bei unterschiedlichen Temperaturniveaus entstehen. Um Überschusswärmepotentiale in Deutschland zu quantifizieren, war eine umfassende Befragung einer repräsentativen Gruppe an Unternehmen aus allen relevanten Branchen erforderlich. Die Erhebung wurde wie folgt durchgeführt:

1. Analyse der gesamten Branche zur Ermittlung der wichtigsten Wirtschaftszweige mit den höchsten Überschusswärmepotenzialen; darauf aufbauend Auswahl der fünf wichtigsten Branchen mit allen zugehörigen Teilbranchen
2. Entwicklung eines Fragebogens zur Ermittlung der Überschusswärmepotentiale

3. Durchführung der Befragung für die fünf wichtigsten Branchen in ganz Deutschland
4. Auswertung der Ergebnisse und Hochrechnung auf bundesweite Überschusswärmepotenziale

Die wichtigsten Branchentypen wurden anhand vorhandener Daten des Statistischen Bundesamtes identifiziert. Die Fragebögen wurden in drei Abschnitte gegliedert:

- Fragen zur Bestimmung des Energieverbrauchs und der Energiekosten;
- Fragen zur eindeutigen Identifizierung der während des Produktionsprozesses erzeugten überschüssigen Wärme;
- Fragen zum Kenntnisstand und der bisherigen Bemühungen der Unternehmen zur Nutzung von überschüssiger Wärme.

Dabei wurden 7288 Unternehmen kontaktiert, 2988 Fragebögen verschickt und schließlich 588 Fragebögen ausgefüllt.

Es zeigte sich, dass aufgrund der sehr unterschiedlichen Überschusswärmequellen in den einzelnen Unternehmen in Deutschland ein Rückschluss auf das gesamte Überschusswärmepotenzial in ausgewählten Branchen mittels einer quantitativen Erhebung nicht möglich ist. Detaillierte Informationen über noch nicht erkannte tatsächlich nutzbare Wärmeüberschussmengen in einem Temperaturbereich über 200 °C können nur durch eine detailliertere Betrachtung und durch die Ausweitung von detaillierteren Untersuchungen der Prozesse vor Ort erreicht werden. Für komplexe Branchen wären beratende und industriell engagierte Ingenieure sehr hilfreich, um verborgene Potenziale zu identifizieren.

### *Norwegen*

Im norwegischen Beitrag wurden Lehren aus der großen ENOVA SF-Inventur 2008 für industrielle Abwärme (Sollesnes & Helgerud, 2009) sowie eine Reihe wichtiger Empfehlungen aus der Analyse der Ergebnisse der Studie im Annex vorgestellt. Dies könnte die Grundlage für einen Vorschlag für eine standardisierte Erhebungsmethode zur Erfassung der Abwärmepotentiale von Industrieanlagen auf internationaler Ebene bilden.

Bei der 2008 durchgeführten Studie war die Rücklaufquote sehr niedrig, wenn die Umfrage per Post oder E-Mail verschickt wurde und die Industrie sie selbst ausfüllen musste. Um eine hohe Rücklaufquote und eine erfolgreiche Befragung zu gewährleisten, war es unerlässlich, zuerst telefonisch Kontakt aufzunehmen, um die relevanten Ansprechpartner in der Branche zu finden und dann ein Interview zu organisieren. Eine Empfehlung lautet, dass Vor-Ort-Besuche immer in Betracht gezogen werden sollten, wenn es die Zeit erlaubt, da geschulte Auditoren Wärmequellen erkennen können, die sonst ignoriert würden. Zudem ist es wahrscheinlich, dass nicht alle Wärmequellen innerhalb der antwortenden Unternehmen gemeldet wurden, oft aus Mangel an Zeit, Daten oder Wissen, um eine solche Quelle zu identifizieren. Daher wird das Gesamtniveau der verfügbaren überschüssigen Wärme voraussichtlich unterschätzt. Unternehmen mit Energiemanagern haben meist einen viel besseren Überblick über ihren Energieverbrauch, die verfügbare Überschusswärmemenge und manchmal sogar Pläne für ihre Nutzung. Die Ernennung von Energiemanagern ist für energieintensive Branchen von entscheidender Bedeutung, und ihre Ausbildung zur genauen Messung und Berichterstattung solcher Daten kann ihren Arbeitgebern langfristig sehr zugute kommen.

Es kann beispielsweise vorkommen, dass heiße Oberflächen und insbesondere Wärmetauscher, die Fluss- oder Meerwasser als Kühlmedium verwenden, nicht als Quelle überschüssiger Wärme angesehen werden, obwohl ihr Energiegehalt enorm ist. In Umfragen könnte das anführen von Beispielen für Überschusswärmequellen dazu beitragen, dass solche weniger offensichtliche Quellen identifiziert und quantifiziert werden.

Obwohl in der Umfrage gefordert, wurden Druckdaten für die verschiedenen Wärmequellen nicht gemeldet (z.B. aus Diskretionsgründen). Eine Druckanzeige wäre jedoch von großem Interesse. Ebenso könnten die Informationen über Schadstoffe in den Wärmequellen nach Art des Quellenstroms angegeben werden.

Im Allgemeinen würde die Öffnung des Zugangs zu den gesammelten Daten, zumindest in aggregierter Form, die Möglichkeiten für weitere wissenschaftliche Arbeiten rund um die Nutzung von Überschusswärme eröffnen und potenziell Möglichkeiten für innovative Technologien und Unternehmen schaffen, sich ein zuverlässiges Bild von den Bedürfnissen der Industrie zu machen.

Die nationale Erhebung über industrielle Abwärme hatte einen großen Einfluss darauf, das Bewusstsein in Norwegen zu schärfen und Maßnahmen zur Nutzung der Abwärme in der Industrie zu ergreifen. Eine Reihe von Rückmeldungen wurden gesammelt, um die nächste nationale Umfrage in Norwegen besser zu gestalten. Diese Rückmeldungen, die zu denen anderer Teilnehmer des IEA IETS Annex 15 hinzugefügt werden, werden eine solide Grundlage für eine standardisierte Erhebungsmethode bilden.

### *Schweden*

Der Bericht aus Schweden ist eine Zusammenstellung von Ergebnissen und Erfahrungen aus fragebogenbasierten Umfragen in Norwegen (wie im norwegischen Bericht erläutert), Deutschland und Schweden. In einem schwedischen Projekt wurden 85 Unternehmen einbezogen, 49 % antworteten und 33 % füllten die Umfrage vollständig aus. In einem weiteren Projekt wurden 58 Unternehmen kontaktiert und 33 % füllten die Umfrage vollständig aus. Die Zuverlässigkeit der erhaltenen Daten war in beiden Studien ein Problem, da verschiedene Betriebe unterschiedlich berichteten. In energieintensiveren Branchen mit eigenen Energiemanagern waren die Daten zuverlässiger. Es wird jedoch vorgeschlagen, dass einem Fragebogen Besuche und/oder weitere Messungen und Untersuchungen des Energiesystems folgen.

### *Österreich*

Im Rahmen der Landesstudie "Abwärmekataster Steiermark" wurden mehr als 40 Unternehmen aus den fünf energieintensivsten steirischen Industriezweigen (Papier- und Zellstoffindustrie, Eisen- und Stahlindustrie, Stein- und Erdenglasindustrie, Maschinenbau und Nahrungsmittelindustrie) vor Ort besucht, nachdem eine Primärerhebung der Abwärmeströme und relevante Energiedaten mittels Fragebogen und Internet durchgeführt worden waren. Zusätzlich zu den vor Ort befragten Unternehmen wurden Daten von rund 30 weiteren Unternehmen mittels eines Online- oder Kurzfragebogens oder telefonisch erhoben.

Primäres Ziel der Studie war es, Daten zu den Abwärmeströmen energieintensiver steirischer Industrieunternehmen zu sammeln, um fundierte Aussagen zum Potenzial für die Nutzung industrieller Abwärme treffen zu können. Im Rahmen des Projektes wurden interne und externe Nutzungsmöglichkeiten industrieller Abwärmeströme vorgestellt.

Zunächst wurde die Untersuchungsmethode definiert, mit der die Primärerhebung und dann eine Sekundärerhebung durchgeführt wurden. Zu Beginn der Primärerhebung wurden die zu befragenden Unternehmen kontaktiert und motiviert, an der Studie teilzunehmen. Die Sammlung unternehmensspezifischer Abwärmeströme und anderer relevanter Energiedaten erfolgte mit Hilfe von persönlichen Erhebungen oder Fragebögen. Dazu gehören neben der Erfassung von allgemeinen Unternehmensdaten auch die Erfassung von Daten zur elektrischen und thermischen Energieversorgung des Unternehmens sowie Fragen zu den energieintensivsten Prozessen, den Eigenschaften von Gebäuden sowie geplanten und bereits umgesetzten Energieeffizienzmaßnahmen.

Während des Projekts erwies sich jedoch der persönliche Besuch von Unternehmen zur Datenerfassung als unverzichtbar. Ein kurzer Fragebogen wurde entwickelt und an eine Reihe von Unternehmen versandt, um das vorhandene Wärmepotenzial vor einem zeitaufwendigen persönlichen Besuch besser einschätzen zu können. Eine der größten Herausforderungen in der Umfrage war die mangelnde Bereitschaft der Unternehmen, an der Studie teilzunehmen.

Die Sekundärerhebung beinhaltete eine Analyse des aktuellen Stands der Technik, existierender Studien und Anwendungsgebiete von Technologien zur Nutzung überschüssiger Wärme. Die Daten aus der Primärerhebung wurden anhand von Informationen aus der Sekundärerhebung ausgewertet.

Das Ergebnis war eine Darstellung des industriellen Abwärmepotentials in der Steiermark, aufgeteilt in ein theoretisches, ein wirtschaftliches und ein realisierbares Potenzial. Das gesamte technische Abwärmepotential der Studie beträgt 15% des gesamten Energiebedarfs der steirischen Industrie.

### *Portugal*

In Portugal wurde in mehreren Branchen ein Fragebogen zur Identifizierung von Überschusswärme verwendet. Dabei wurden die Sektoren Zement- sowie Eisen- und Stahlindustrie näher untersucht. Die wichtigste Schlussfolgerung der Studie war, dass ein geänderter Ansatz für die Durchführung der Umfragen nötig ist, um tiefere Kenntnisse über das Überschusswärmepotenzial zu erlangen. Die Zusammenarbeit mit Unternehmen muss über Telefonkontakte, Interviews und Besuche in den Fabriken erfolgen. Dies erfordert eine stärkere Beteiligung der Unternehmen, um die Quote der Antworten und die Qualität der Antworten zu erhöhen.

### **5.2.2. Methoden zur Identifizierung und Integration von industriellen Energiesystemen**

In einigen nationalen Projekten wurden interessante Entwicklungen von Prozessintegrationstools, die auf die Nutzung von Überschusswärme zugeschnitten sind, vorgestellt. Die Ansätze befassen sich sowohl mit der Identifizierung von Überschusswärme und Temperaturen als auch mit der Optimierung der Überschusswärme- und Exergienutzung, d.h. der Identifizierung wirtschaftlich sinnvoller Nutzungsmöglichkeiten.

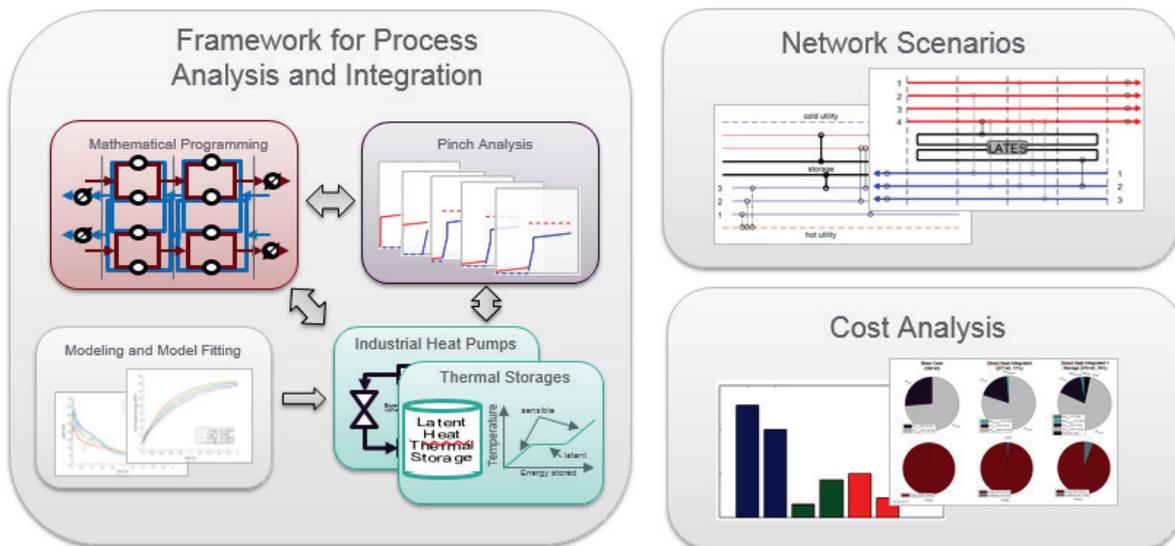
### *Österreich*

Im österreichischen Projekt wurde eine Gruppe von Methoden vorgestellt, bei denen die Identifizierung von Überschusswärme auf Prozessintegrationsmethoden (Pinch-Analyse und mathematische Programmierung) basiert:

- Im IEE-Projekt EINSTEIN wurde eine Richtlinie für Audits entwickelt, aus der die europäische Norm EN 16247 und das Branchenkonzept GREENFOODS für die Lebensmittel- und Getränkeindustrie hervorgehen. Das Branchenkonzept unterstützt

Unternehmen in diesem Bereich dabei, Potenziale für ökologisch und ökonomisch sinnvolle Energieeffizienzmaßnahmen zu identifizieren.

- Wärmepumpen-Integrations schemata für Trocknungsprozesse (Ziegel- und Stärkeindustrie) wurden vorgestellt.
- Neue Methoden zur Erweiterung bestehender Prozessintegrationskonzepte wurden entwickelt. Diese Methoden zielen auf eine verstärkte Integration des dynamischen Prozessverhaltens ab. Zeitabhängige (Grand-) Composite-Curves bieten die Möglichkeit, Potenziale für die Integration flexibler Anlagenkomponenten zu quantifizieren. Es wurde ein erweiterbares Framework abgeleitet, das die folgenden Funktionen enthält (dargestellt in Abbildung 7):
  - Prozessanalyse dynamischer Prozesse mit Hilfe von erweiterten Pinch-Analysemethoden
  - Automatische Ableitung von Potenzialen für die Speicherintegration
  - Automatische Ableitung von Potenzialen für die Wärmepumpenintegration



**Abbildung 7: Schematische Darstellung des erarbeiteten Prozessanalyse-Frameworks**

Alle Teile wurden in einer Lebensmittelfabrik demonstriert und im Bericht vorgestellt. Mit den erarbeiteten Ansätzen kann die gesamte Kette zum Verständnis der Nutzung von überschüssiger Wärme abgedeckt werden. Dazu gehören Auditing zur Identifizierung des Energiesystems und der Energieströme, Energieeffizienzmöglichkeiten (einschließlich Wärmepumpen und Speicher) und erneuerbare Wärmequellen, Identifizierung von Überschusswärmemöglichkeiten mit oder ohne Energieeffizienzmaßnahmen und wirtschaftlich sinnvolle Nutzung von Überschusswärme (intern oder extern).

### *Schweden*

Vom schwedischen Team wurden zwei Methoden zur Identifizierung von Überschusswärme vorgestellt und demonstriert. Beide Methoden basieren auf Pinch-Analysemethoden, die um neue Methoden erweitert wurden.

Die Erfahrung mit detaillierten Pinch-Analyse-Studien zeigt, dass die Art der Datenerhebung sowie die Definition von Systemgrenzen einen großen Einfluss auf die Ergebnisse solcher Studien haben. Pinch-Analysen für große industrielle Prozessanlagen können in der Regel zwei bis drei Monate dauern. Daher können solche Studien nicht für alle diese Anlagen durchgeführt werden und die Ergebnisse der einzelnen Anlagenstudien müssen extrapoliert werden, um allgemeine branchenweite Schlussfolgerungen zu ziehen. Jüngste Arbeiten der schwedischen Forschungsgruppe an der Universität Chalmers haben zum Ziel, einen solchen Ansatz für den Zellstoff- und Papiersektor zu entwickeln.

Für die erste Methode wird ein Ansatz zur Schätzung der nationalen Potentiale für die industrielle Abwärmenutzung vorgeschlagen. Der Ansatz wird auf den Kraftzellstoffindustrie-Sektor in Schweden angewendet, und eine detaillierte Analyse der Daten aus sechs Fallstudien wird verwendet, um ein branchenweites Potenzial mittels Regressionsanalyse abzuschätzen. Die Papier- und Zellstoffindustrie ist aus schwedischer Sicht ein wichtiger Sektor, auf den etwa die Hälfte des industriellen Energieverbrauchs entfällt.

Die Verfügbarkeit von überschüssiger Wärme wird nach diskreten, vordefinierten Temperaturintervallen charakterisiert. Daraus ergibt sich ein Temperaturprofil, die so genannte „excess heat temperature signature“ (XHT-Signatur), die durch Aggregation der verfügbaren Überschusswärme bei den vorgegebenen Temperaturniveaus und Temperaturintervallen gebildet wird. Es werden zwei verschiedene XHT-Signaturen erstellt:

- die theoretische XHT-Signatur, die die unvermeidliche überschüssige Wärme entsprechend der theoretischen, maximalen internen Wärmerückgewinnung des Prozesses unter der Annahme einer minimalen Temperaturdifferenz von 0 K für alle Wärmetauscher darstellt, und
- die Signatur Process Cooling XHT, die die aktuelle Verfügbarkeit von überschüssiger Wärme entsprechend dem aktuellen Kühlbedarf darstellt.

Auf dieser Grundlage wurde eine Methode zur Extrapolation von einigen Fallstudien auf einen ganzen schwedischen Sektor entwickelt. Das Verfahren wurde anschließend angewandt, um die Potentiale zur Stromerzeugung und die Verfügbarkeit von überschüssiger Wärme aus dem gesamten schwedischen Kraftwerkspark abzuschätzen. Um dies zu erreichen, wurden Regressionsfunktionen auf der Grundlage öffentlich bekannter Zellstoff- und Papierproduktion verwendet.

Im zweiten Projekt werden die so genannten Advanced Composite Curves vorgestellt und in einer Fallstudie veranschaulicht. Die Advanced Composite Curves sind jeweils vier Kurven oberhalb und unterhalb des Pinch-Points, wie in Tabelle 2 beschrieben.

**Tabelle 2: Beschreibung der Advanced Composite Curves**

<b>HUC/CUC</b>	Hot/Cold Utility Curve	Composite Curves von Heiz- und Kühlströmen in den Wärmetauschern
<b>AHLC/ACL</b>	Actual Heating/Cooling Load Curve	Composite Curves der Prozessströme in den Wärmetauschern
<b>THLC/TCLC</b>	Theoretical Heating/Cooling Load curve	THLC: Composite Curves, die das niedrigste Temperaturlevel bei dem Heizleistung theoretisch zur Verfügung gestellt werden kann, angeben. TCLC: Composite Curves, die das höchste Temperaturlevel bei dem Kühlleistung theoretisch zur Verfügung gestellt werden kann, angeben. Die Kurven werden anhand der Prozessströme im Wärmetauschernetzwerk bestimmt.
<b>EHLC/ECLC</b>	Extreme Heating/Cooling Load Curve	Composite Curves des Heiz-/Kühlbedarfs, wenn vertikaler Wärmeaustausch (minimale Wärmeübertragerflächen) angenommen wird

Mit Hilfe dieser Composite Curves können viel mehr Informationen aufgezeigt werden als mit der traditionellen Grand Composite Curve. Wesentliche Unterschiede bestehen darin, dass mit diesen Kurven im Gegensatz zu den GCC Folgendes festgestellt oder geschätzt werden kann:

- Es kann zwischen internem und externem Potenzial für die Nutzung von überschüssiger Wärme unterschieden werden.
- Überschusswärmemöglichkeiten auf drei Ebenen können abgeschätzt werden: theoretisch (mit Änderungen bei Prozesswärmetauschern); nur mit Nutzwärmetauschern; und mit dem bestehenden Kühlsystem.
- Reale Temperaturniveaus für verschiedene Teile der Überschusswärmemöglichkeiten können ermittelt werden.
- Der Komplexitätsgrad (z. B. Anzahl der benötigten Wärmetauscher) für verschiedene Stufen der Abwärmenutzung kann geschätzt werden.

### 5.2.3. Nutzung von Vorwissen zur Ermittlung von Überschusswärmepotentialen

#### *Italien*

STARDUST ist eine in EU-Projekten entwickelte Methodik, die im italienischen Bericht vorgestellt wird. In der präsentierten Fallstudie wird die Methodik für die Erstellung eines intelligenten Niedertemperatur-Fernwärmenetzes verwendet. Diese Wärme wird teils im Fernwärmenetz, teils zur Regeneration einer Erdreichquelle im System genutzt.

Die Vorstudie des intelligenten Fernwärmenetzes beinhaltet die Quantifizierung der verfügbaren Abwärme:

1. Scouting von Unternehmen. Betrachtet man ein Gebiet, das durch physikalische Grenzen definiert ist (Eisenbahnlinien, Autobahn, Fluss, Hang des Berges usw.), so sind die in diesem Gebiet ansässigen Unternehmen aufgeführt. Die Unternehmen werden über die Online-Datenbank der nationalen Handelskammer und einen Web Mapping Locator Service ermittelt.

2. Gruppierung von Unternehmen nach Kategorien. Die erfassten Unternehmen werden gruppiert nach:
  - Entfernung (0,5 km Reichweite bis zu 2 km),
  - Größe (klein, mittel und groß) in Bezug auf Arbeitgeber und Umsatz,
  - Branche (Supermarkt, Restaurant, Schwimmbad, Weingensenschaft, Lebensmittelindustrie, etc.)
3. Typische Prozessübersicht. Für jeden Sektor können die ausgeführten Prozesse/Aktivitäten erfasst werden, um Informationen wie den Maschinentyp, das Temperaturniveau während der Prozesse usw. zu erhalten. Diese Art von Informationen sind im Allgemeinen in den BAT-Referenzdokumenten der Europäischen Kommission oder in verschiedenen Datenbanken verfügbar.
4. Identifizierung der wichtigsten Energievektoren: Strom, Erdgas, etc.
5. Identifizierung der wichtigsten Energieverbraucher: Kälte, Druckluft, Warmwasser, Pumpen, Elektromotoren, etc.
6. Identifizierung der am besten geeigneten Endverbraucher für die Wärmerückgewinnung. Die Endverbraucher (ein Prozess oder ein Teil davon) werden als "geeignet für die Wärmerückgewinnung" definiert, wenn die überschüssige Energie bei genau definierten Temperaturniveaus während einer genau definierten Nutzungsdauer verfügbar ist.
7. Treffen mit Unternehmen. Sobald alle bisherigen Informationen für jeden Sektor gesammelt wurden, kann eine branchenspezifische Checkliste erstellt und die erfassten Unternehmen kontaktiert werden, um ein persönliches Treffen zu vereinbaren. Tatsächlich würde eine Inspektion vor Ort es ermöglichen, schnell Informationen zu sammeln. Alternativ kann ein kurzer Fragebogen erstellt und an den Energiemanager oder an den Verantwortlichen der Versorgungsunternehmen geschickt werden.

### *Kanada*

Kanada hat ein Projekt gemeldet, in dem die Ziele darin bestanden, relevante umfassende Informationen über thermische Abwärmeströme zu sammeln und zu organisieren. Die Abwärmeströme sind charakterisiert durch ihren Energiegehalt und Temperaturbereich. Die Abwärmeströme wurden für zwei Sektoren ermittelt: Zellstoff und Papier sowie Lebensmittelherstellung. Die Daten zum Energieverbrauch stammen vom Canadian Industrial Energy End-Use Data and Analysis Center (CIEEDAC). Die veröffentlichten Gesamtenergieverbrauchsdaten aus dem Buch "108 Industrial Processes" (Brown, 1996) wurden in spezifische Operationen unterteilt. Auf diese Weise wurde ein Überblick darüber gewonnen, wie Energie in den kanadischen Industriesektoren genutzt wurde, und nicht wie viel Energie jeder einzelne Standort verbraucht hat.

Die Überschusswärmeströme in den untersuchten Prozessen wurden identifiziert und nach den folgenden Klassen eingeteilt:

- Wärme-Abgasverluste - definiert als Verbrennungsgase und heiße Trocknerluft (150 °C bis 450 °C)
- Dampfverluste - definiert als Niederdruckdampf (100 °C bis 110 °C / 15 psi)
- Prozessgase und -dämpfe - definiert als Abgase und feuchte Luft (80 °C bis 120 °C)

- Flüssigkeitsströme - definiert als Flüssigkeiten (27 °C bis 120 °C)
- Sonstige Verluste

Der Bericht enthält eine umfassende Beschreibung der Überschusswärmemengen in den beiden betrachteten Branchen im gesamten Land. Es wird der Schluss gezogen, dass die Ergebnisse für die Zellstoffwerke leicht überschätzt werden könnten, jedoch nicht mehr als 10 %.

### *Frankreich*

Das französische Projekt ist eine Kombination aus Fragebogenansatz und Nutzung von vorhandenem Wissens über industrielle Energiesysteme. In einer großen französischen Studie wurden die verarbeitende Industrie und die Öltraffinerieindustrie auf dem französischen Festland untersucht, darunter Chemikalien, Lebensmittel, Metallurgie, Stahl, Glas, Zementwerke, etc. In dieser Studie wurde die CEREN (Centre d'Etudes et de Recherche Economiques sur l'énergie) -Datenbank verwendet. Diese umfasst mehr als 7.000 Standorte in 130 Branchen.

Die Datenbank gibt den Energieverbrauch in der Industrie nach Form und Nutzung an:

- Energieverbrauch in Heizkesseln;
- Energieverbrauch in Öfen (Nicht-Kesselverbrauch);
- Stromverbrauch für die Kälteerzeugung (> 30 kW);
- Stromverbrauch für die Druckluftherzeugung (> 30 kW).

Überschüssige Wärme für jede Art von Abwasser wird mit einer dreistufigen Bewertungsmethode abgeschätzt:

**STUFE 1:** Start mit den leistungsintensivsten Prozessen: Öfen, Trockner, Kessel, etc.

Der Kraftstoffverbrauch in der Industrie für Energiezwecke wird aufgeteilt zwischen Öfen und Trockner (mit direkter Brennstoffnutzung), welche fast 51 % dieses Verbrauchs ausmachen und Kessel, die für 39 % des Verbrauchs verantwortlich sind.

Lichtbogenöfen in der Stahlindustrie verbrauchen 4 TWh elektrische Energie und wurden in die Studie einbezogen. Sie erzeugen bei hohen Temperaturen (> 250 °C nach der Verarbeitung) Dämpfe, die recycelt werden können. Es soll mit den am besten zugänglichen Abwärmeströmen begonnen werden (Dämpfe, Nebel, etc.). Diese Gasemissionen entstehen in Form von Rauchgasen aus Öfen, Kesseln und Nebeln, die von Trocknern erzeugt werden. Die Temperaturniveaus dieser Emissionen reichen von weniger als 100 °C (bestimmte Trockennebel und Kesseldämpfe) bis über 500 °C (Ofendämpfe).

**STUFE 2:** Untersuchen von anderen Prozessen mit hohem Energieverbrauch, deren überschüssige Wärmeemissionen zurückgewonnen werden könnten: Kälte- und Druckluftsysteme, die zusammen 20 % des Stromverbrauchs der Industrie ausmachen.

Wiederum soll mit den am besten zugänglichen Emissionen aus diesen Prozessen begonnen werden (Kühlmittel). Dies sind Kühlmittel für Luft- und Kältekompressoren sowie Kühlmittel für andere Komponenten des Kühlsystems, nämlich Entkalkungskondensatoren und Wärmetauscher. Diese Flüssigkeiten haben Temperaturen unter 90 °C.

**STUFE 3:** Untersuchung anderer Quellen von Wärmeemissionen: Wasseraufbereitung und Industrieprodukte mit Kühlbedarf. Diese Quellen sind Abwasser aus Reinigungsmitteln, meist bei sehr

niedrigen Temperaturen (< 40°C) und sensible Wärme von Stahl, Klinker und Glas, bei denen die Luft nach dem Abkühlen 200°C übersteigt.

**SCHLUSSFOLGERUNG:** Diese Auswahlstrategie deckt die wichtigsten thermischen Wärmequellen über alle Temperaturbereiche ab, um die bestmöglichen Recyclingkanäle zu bestimmen.

So können beispielsweise Wärmepumpen eingesetzt werden, um Niedertemperatur-Wärmequellen zu recyceln, die nicht direkt rezykliert werden können, indem das Temperaturniveau dieser Wärmequellen erhöht wird.

Die in diesem Bericht veröffentlichten Ergebnisse zeigen, dass es signifikante Wärmequellen gibt, die sowohl für die Industrie als auch für die Regionen, in denen sich diese industriellen Wärmequellen befinden, von Nutzen sein können. Sie ersetzen aber nicht die bestehenden detaillierten Studien, die ein Überschusswärmepotenzial auf der Ebene eines Standorts, Territoriums oder einer Region belegen.

Folgende Punkte wurden nicht betrachtet:

- Technischer und wirtschaftlicher Kontext der Wärmerückgewinnung (z.B.: Wärmerückgewinnung aus Rauchgasen führt zu Druckverlusten, die ausgeglichen werden müssen; untere Temperaturgrenzen für Rauchgasabkühlung (Säurebildung));
- Länge des zu errichtenden Netzes zwischen Industrie- und Stadtgebieten und die damit verbundenen spezifischen Arbeiten;
- Eignung der zur Verfügung stehende Wärmequelle für die Bedürfnisse des Industriegeländes oder des Fernwärmesystems;
- Mögliche Probleme bei Vertragsabschluss zwischen zwei verschiedene Unternehmen (öffentlich-privat).

#### **5.2.4. Zusammenfassung**

In einigen Projekten sind interessante Entwicklungen von Tools für die Prozessintegration enthalten, die auf die Wärmebereitstellung zugeschnitten sind. Die Ansätze befassen sich sowohl mit der Erfassung von überschüssiger Wärme und den dazugehörigen Temperaturniveaus als auch mit der Optimierung der Nutzung von überschüssiger Wärme und Exergie, das heißt Ermittlung wirtschaftlich sinnvoller Umsetzungsmöglichkeiten von Wärmeintegrationsprojekten.

Mit Hilfe von Fragebögen können Informationen über die Potentiale für die Nutzung von Überschusswärme mit einem relativ geringen Aufwand erfasst werden. Ein Hauptproblem aller Projekte, die Fragebögen zur Identifikation von Potentialen nutzen, ist jedoch die geringe Antwort- oder Rücklauftrate. Einige Vorschläge, um dies zu verbessern, bestünden laut Berichten darin, das Verfahren schrittweise mit Telefonanruf, Fragebogenversand, Firmenbesuch sowie einem Nachbesuch zu gestalten.

In Bezug auf die Qualität der empfangenen Daten in Fragebogenansätzen scheint es zwischen Industriezweigen und dabei auch zwischen den einzelnen Werken große Unterschiede zu geben. Grundsätzlich gilt jedoch, je größer und energieintensiver die Branche ist, desto besser ist das Wissen intern vorhanden (z.B. durch Energiemanager). Auf der anderen Seite verfügen komplexe energieintensive Industrien häufig über komplexe Wärmetauschernetzwerke, wodurch es schwieriger

sein kann, die tatsächliche Überschusswärme (Mengen und Temperaturniveaus) ohne tiefere Untersuchungen zu ermitteln. Das direkt beobachtbare Niveau kann zudem manchmal zu einer Unterschätzung des theoretisch verfügbaren Temperaturniveaus führen.

Wie oben erläutert, werden im Fragebogenansatz normalerweise direkt "sichtbare" überschüssige Wärmequellen angegeben, das heißt messbare überschüssige Wärme aus verschiedenen Anlagenkomponenten. Die Fragebögen sollten normalerweise eine gute Einschätzung der verfügbaren Werte für Industrien mit einfachen oder mäßig komplizierten Energiesystemen liefern.

Für komplexe Industrien, insbesondere Industrien mit einem komplexen Wärmetauschernetzwerk sowohl für Prozesswärme als auch für Versorgungsunternehmen, kann es schwieriger sein, überschüssige Wärmemengen und Temperaturniveaus zu identifizieren. Überschüssige Wärme kann auf mindestens drei Ebenen identifiziert werden:

1. Wärmemengen und Temperaturen, die die Kühler im Energiesystem verlassen: Auf dieser Systemebene ist die Identifikation und Quantifizierung leicht möglich. Diese Wärme kann auch für den internen oder externen Gebrauch leicht zurückgewonnen werden (gilt möglicherweise nicht immer für Luftkühler). Dieses Systemniveau stellt jedoch das niedrigste Temperaturniveau und in vielen Fällen die geringsten Wärmemengen dar. Kühlsysteme sind in vielen Fällen ursprünglich für möglichst niedrige Temperaturniveaus ausgelegt. Dies ist die beste wirtschaftliche Lösung, wenn die Möglichkeit der Rückgewinnung überschüssiger Wärme nicht berücksichtigt wird.
2. Wärmerückgewinnung an der heißen Seite der Kühler: Temperaturunterschiede in Kühlern sind in vielen Fällen sehr hoch wodurch die Temperaturlevels der überschüssigen Wärme erheblich erhöht werden könnte. Die Möglichkeiten zur Rückgewinnung dieser Wärme sind etwas komplizierter, aber immer noch mit relativ geringem Aufwand durchführbar. Die Wärmeübertragungsfläche in den Kühlern muss vergrößert werden und das Kühlsystem durch ein Wärmesammelsystem mit höherer Temperatur ersetzt werden. In diesem Fall können höhere Wärmemengen bei nützlichen Temperaturniveaus genutzt werden.
3. Rückgewinnung von Wärme nahe der theoretisch möglichen Werte: Die meisten realen industriellen Wärmeübertragungssysteme sind im Hinblick auf Wärmemöglichkeiten nicht optimal ausgelegt. Temperaturunterschiede können höher als nötig sein, Kühler werden an nicht optimalen Stellen im Wärmetauschernetzwerk platziert, etc. Daher können sowohl die Mengen als auch die Temperaturniveaus beträchtlich erhöht werden, wenn das Wärmetauschernetzwerk umgebaut wird. Dies bedeutet normalerweise, dass größere Wärmeübertragungsflächen und Wärmetauscher benötigt werden. Dies kann sowohl die nutzbaren Wärmemengen als auch deren Temperaturniveaus im Vergleich zu den beiden anderen oben beschriebenen Ansätzen erheblich erhöhen.

In allen Fällen sollten mögliche Maßnahmen zur Steigerung der internen Wärmerückgewinnung und somit der Energieeffizienz in Betracht gezogen werden, bevor das System für den externen Wärmebedarf optimiert wird.

Werden für die dritte Möglichkeit Daten aus Fragebögen verwendet, besteht die Möglichkeit, dass Potentiale für Überschusswärme unterschätzt werden. Mit Verfahren zur Prozessintegration kann ein detaillierteres Bild für die Möglichkeiten der Nutzung von Überschusswärme abgeleitet werden. Diese

benötigen jedoch wesentlich genauere Informationen über das Energiesystem und deutlich mehr Zeit und Aufwand von sowohl Energiemanagern als auch Prozessintegrationsexperten. Diese fortschrittlichen Verfahren sind hauptsächlich in energieintensiven Industrien mit komplexen Wärmetauschernetzen von Interesse.

Einige neue und interessante Prozessintegrationsmethoden, basierend auf der Pinch-Analyse, wurden von den österreichischen und schwedischen Teams vorgestellt und demonstriert. Das österreichische Team hat Tools entwickelt, mit denen die gesamte Kette vom Energieauditing bis zur optimierten Prozessintegration untersucht werden kann. Die vom schwedische Team entwickelte Methodik erlaubt es das vorhandene Wärmetauschernetzwerk mittels Pinch-Analyse genauer zu berücksichtigen, um die tatsächliche überschüssige Wärme auf verschiedenen Ebenen des Industriebetriebs zu ermitteln. Diese Projekte haben gezeigt, dass die identifizierte Menge und Temperatur der Überschusswärme vom Detaillierungsgrad der Studie abhängen. Generell scheint die identifizierbare Wärmemenge und das Temperaturniveau der technisch verfügbaren überschüssigen Wärme mit zunehmender Tiefe der Studie zuzunehmen, während das wirtschaftlich verfügbare Niveau stark von den Annahmen über wirtschaftliche und politische Instrumente abhängt.

Eine interessante Frage, die in keinem der Projekte diskutiert wurde, ist der ökonomische Kompromiss zwischen den Kosten für eine detailliertere Studie und dem potenziellen wirtschaftlichen Nutzen durch intensivere Nutzung von überschüssiger Wärme. Die Antwort hängt von den Bedingungen in der Industrieanlage ab, insbesondere vom absoluten Energieverbrauch des Werks und von der Komplexität von Energiesystem und Wärmetauschernetz.

Die dritte allgemeine Methodik scheint in Bezug auf die Komplexität zwischen den beiden oben diskutierten Extremen zu liegen. Es werden verfügbare Datenbanken zu industriellen Energiesystemen und Prozessschemata verwendet, in mehreren Fällen gefolgt von Fragebögen, Besuchen oder Interviews. Diese Methodik ist schneller und bedingt geringere Anstrengungen als eine Prozessintegrationsstudie, da sie von früheren Detailstudien profitiert. Wiederum hängt die Genauigkeit der überschüssigen Wärmemengen und Temperaturen von der Komplexität und der Energieintensität der betreffenden Anlage ab. Im Vergleich zu einem Fragebogenansatz unterscheidet sich die Verwendung der verfügbaren Datenbanken für die Energiesysteme. Auch bei einem Fragebogenansatz werden verfügbare Daten für diese Systeme verwendet, jedoch in jedem Betrieb individuell mit unterschiedlichem Wissen zwischen verschiedenen Werken aus dem Portfolio früherer eingehender Studien.

Der für die Fragebogenansätze gemeldete Detaillierungsgrad reicht nicht aus, um Vor- und Nachteile verschiedener Arten von Fragen, die Anzahl der Fragen, die geeignete Managementebene des Werks zu erörtern, um verschiedene Arten von Fragen zu diskutieren, usw.

Österreich hat in den berichteten Projekten eine Kombination aus Fragebogen- und Prozessintegrationsansätzen beschrieben. Es wäre interessant zu diskutieren, wie solche Kombinationen noch verbessert werden könnten und mögliche Vorteile sich dadurch ergeben.

Bei allen vorgestellten Projekten handelt es sich um die Identifizierung von überschüssiger Wärme in heutigen Systemen. Aufgrund der Notwendigkeit einer tiefgreifenden Dekarbonisierung in der Industrie und bestehender/geplanter politischer Instrumente dafür werden industrielle Energiesysteme einen großen Wandel hin zu einem zukünftig niedrigeren Energieverbrauch und zum Teil neuartigen Prozess- und Energietechnologien vollziehen. Dies wird eine radikale Änderung der

Situation für die überschüssige Wärme bedeuten. Überschüssige Wärmemengen werden sich erheblich ändern, während die Temperaturniveaus in Abhängigkeit von den zukünftig eingesetzten Technologien und Systemlösungen erhöht und gesenkt werden können. Daher kann die Planung zukünftiger Systeme zur Nutzung überschüssiger Wärme mit den heutigen Daten zu falschen Entscheidungen führen. Bei der Entwicklung neuer oder verbesserter Ansätze / Methoden wäre es interessant, Aspekte möglicher zukünftiger Änderungen einzubeziehen.

### 5.3. Ergebnisse nationaler Abwärmestudien

Im Bericht zu Task 1 (Berntsson & Asblad, 2015) wurde die Überschusswärme als Wärmehalt aller Ströme (Gas, Wasser, Luft usw.), die zu einem bestimmten Zeitpunkt aus einem industriellen Prozess abgeführt werden, definiert. Es wurde unterschieden, ob die überschüssige Wärme intern oder extern genutzt werden kann und zusätzlich nach der Herkunft der Wärme (fossile oder erneuerbare Energieträger) unterschieden. Daraus ergab sich eine Kategorisierung in „schwarze“, „weiße“ und „grüne“ Abwärme.

Diese Definition wurde in den Projekttreffen von Task 2 diskutiert und es wurde beschlossen, sie zu vereinfachen. Somit ist die Definition der in Task 2 verwendeten überschüssigen Wärme:

- Überschüssige Wärme ist der Wärmehalt aller Ströme (Gas, Wasser, Luft usw.), die zu einem bestimmten Zeitpunkt aus einem industriellen Prozess abgeführt werden.
- Nutzbare Abwärme ist der Teil, der technisch und wirtschaftlich intern oder extern genutzt werden kann.
- Nicht nutzbare Abwärme ist der verbleibende Teil der Abwärme, wenn die intern und extern nutzbaren Teile abgezogen werden. Dieser Teil kann als Abwärme bezeichnet werden.

Außerdem ist es bei allen Quantifizierungen von Überschusswärme wichtig, die in den Berechnungen verwendete Endtemperatur anzugeben. Im schwedischen Projektteam wurde beispielsweise die Endtemperatur mit 60°C angegeben, da die angenommene Anwendung Fernwärme war, während in anderen Studien die Umgebungstemperatur als Referenz genutzt wurde.

Es ist wichtig zu beachten, dass es bei jeder in einem Betrieb eingeführten Energieeffizienzmaßnahme Auswirkungen auf die verbleibende überschüssige Wärme gibt. Dies bedeutet, dass interne Nutzung von überschüssiger Wärme die Möglichkeiten einer externen Nutzung verringert. Eine wichtige Konsequenz könnte jedoch sein, dass sich das Temperaturniveau der verbleibenden überschüssigen Wärme ändert.

Mehrere von den nationalen Projektteams berichteten Fallstudien befassen sich mit Energieeffizienzmaßnahmen. Diese Fallstudien können daher als Studien zur internen Nutzung von überschüssiger Wärme angesehen werden, deren Menge der Einsparung von Heißwasser entspricht. In vielen der Studien werden jedoch die nach einem Umbau verbleibenden überschüssigen Wärmemengen und Temperaturniveaus nicht angegeben.

Im Zuge der Kooperation im Annex 15 Task 2 berichteten die nationalen Projektteams über neue Ergebnisse auf der Grundlage von Erhebungsprojekten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Da das Format dieser Berichte aufgrund der Art der einzelnen Studien unterschiedlich ist, ist der Detaillierungsgrad in den einzelnen Ländern unterschiedlich.

**Tabelle 3: Zusammenfassung nationaler Projektergebnisse**

Type of industry(ies)	Number of plants/companies	Type of study	Method	Waste heat sources	Temperature levels	Excess heat amounts	NT
Chemical industry	15						
Food and beverage	29						
Iron and steel	1						
Manufacturing	3	Regional study, Styria: 10 detailed studies, 66 potential studies	Questionnaires	The suggested measures in terms of heat-integration, techno-logical innovations and the use of solar process-heat result in savings that amount to more than 28 Mio. kWh/a for all 10 companies, implying an annual reduction of 5.830 t CO <sub>2</sub> . Further information can be found in <a href="http://www.noest.or.at/intern/dokumente/193_Endbericht_Styrian_Promise.pdf">http://www.noest.or.at/intern/dokumente/193_Endbericht_Styrian_Promise.pdf</a>			Austria
Metal	11		Statistical analysis				
Pharmaceutical	1						
Pulp and paper	12						
Textile	4		Correlation of specific energy demand				
Pulp and paper		Regional study: Mapping of excess heat in Styria (about 200 companies)	Questionnaires and site visits. Replies from about 70 companies.			The total technical waste heat potential collected in the study amounts 15% of the total energy demand of the Styrian industry.	Austria
Stone, earth and glass							
Engineering							
Food and beverage							
Food		European project for development of a methodology and software tool for energy auditing					
Textile	In total 90 companies		Audits of 90 companies using the Einstein software and toolkit				Austria
Metal treatment							
Manufacture of leather	1	International project for energy efficiency and solar thermal heat for automotive and supply industry					
Manufacture of carpets	1						
Manufacture of electronic components	3						
Manufacture of motor vehicles	6		Questionnaires, mass and energy balancing				Austria
Treatment and coating of metals	5						
Manufacture of bearings, gears, gearing and driving elements	2						
Processing and preserving of fruit and vegetables	4						
Processing and preserving of meat and production of meat products	3	National project for energy efficiency and solar thermal heat in Austrian food industry	Questionnaires, mass and energy balancing, pinch analysis				Austria
Manufacture of bakery and farinaceous products	1						
Manufacture of dairy products	2						
Processing and preserving of meat and production of meat products	34						
Processing and preserving of fish, crustaceans and molluscs	4	International project for increasing energy efficiency and renewable energy in the European food and beverage industry, 204 companies	Questionnaires, mass and energy balancing				
Processing and preserving of fruit and vegetables	26		Some detailed studies with site visits and measurements, pinch analysis				Austria
Manufacture of dairy products	31						
Manufacture of bakery and farinaceous products	22						
Manufacture of other food products	24						
Manufacture of beverages	63						
Food and beverage	3						
Metal processing	3	National project for energy efficiency measures and combined solar thermal and heat pump systems for industry.	Questionnaires, mass and energy balancing				
Pulp and paper	2						
Production of insulation materials	1		Site visits and measurements, pinch analysis				Austria
Laundries	2						

**Tabelle 4: Zusammenfassung nationaler Projektergebnisse (Weiterführung)**

Type of industry(ies)	Number of plants/companies	Type of study	Method	Waste heat sources	Temperature levels	Excess heat amounts	NT
Agri-food industry		National	Statistical database CEREN combined with surveys.		> 500°C	0.46 TWh/year	France
					400 – 500°C	0.36 TWh/year	
					300 – 400°C	0.24 TWh/year	
					200 – 300°C	2.33 TWh/year	
					100 – 200°C	7.61 TWh/year	
					40 – 100°C	7.87 TWh/year	
					< 40°C	15.27 TWh/year	
Chemical and plastics industry		National	Statistical database CEREN combined with surveys.		> 500°C	0.20 TWh/year	France
					400 – 500°C	0.20 TWh/year	
					300 – 400°C	0.34 TWh/year	
					200 – 300°C	3.39 TWh/year	
					100 – 200°C	6.37 TWh/year	
					40 – 100°C	5.58 TWh/year	
					< 40°C	7.80 TWh/year	
Paper & Cardboard		National	Statistical database CEREN combined with surveys.		> 500°C	0.07 TWh/year	France
					400 – 500°C	0.07 TWh/year	
					300 – 400°C	0.08 TWh/year	
					200 – 300°C	1.79 TWh/year	
					100 – 200°C	3.09 TWh/year	
					40 – 100°C	9.05 TWh/year	
					< 40°C	0.49 TWh/year	
Meatals including steel		National	Statistical database CEREN combined with surveys.		> 500°C	1.55 TWh/year	France
					400 – 500°C	0.30 TWh/year	
					300 – 400°C	0.36 TWh/year	
					200 – 300°C	3.95 TWh/year	
					100 – 200°C	2.15 TWh/year	
					40 – 100°C	1.83 TWh/year	
					< 40°C	2.7 TWh/year	
Non-metal		National	Statistical database CEREN combined with surveys.		> 500°C	0.40 TWh/year	France
					400 – 500°C	1.36 TWh/year	
					300 – 400°C	1.69 TWh/year	
					200 – 300°C	3.22 TWh/year	
					100 – 200°C	3.21 TWh/year	
					40 – 100°C	1.52 TWh/year	
					< 40°C	0.19 TWh/year	
Other industry		National	Statistical database CEREN combined with surveys.		> 500°C	0.11 TWh/year	France
					400 – 500°C	0.21 TWh/year	
					300 – 400°C	0.18 TWh/year	
					200 – 300°C	1.06 TWh/year	
					100 – 200°C	3.16 TWh/year	
					40 – 100°C	2.12 TWh/year	
					< 40°C	2.08 TWh/year	
Refining		National	Statistical database CEREN combined with surveys.		> 500°C	0.26 TWh/year	France
					400 – 500°C	0.66 TWh/year	
					300 – 400°C	1.66 TWh/year	
					200 – 300°C	0.81 TWh/year	
					100 – 200°C		
					40 – 100°C		
					< 40°C		
Data centers		National	Statistical database CEREN combined with surveys.		> 500°C		France
					400 – 500°C		
					300 – 400°C		
					200 – 300°C		
					100 – 200°C		
					40 – 100°C	0.74 TWh/year	
					< 40°C	2.84 TWh/year	
Household waste incineration plants		National	Statistical database CEREN combined with surveys.		> 500°C		France
					400 – 500°C		
					300 – 400°C		
					200 – 300°C	1.15 TWh/year	
					100 – 200°C	1.16 TWh/year	
					40 – 100°C	2.07 TWh/year	
					< 40°C		
Wastewater treatment plants		National	Statistical database CEREN combined with surveys.		> 500°C		France
					400 – 500°C		
					300 – 400°C		
					200 – 300°C	0.03 TWh/year	
					100 – 200°C	0.10 TWh/year	
					40 – 100°C	0.32 TWh/year	
					< 40°C		

**Tabelle 5: Zusammenfassung nationaler Projektergebnisse (Weiterführung)**

Type of industry(ies)	Number of plants/companies	Type of study	Method	Waste heat sources	Temperature levels	Excess heat amounts	NT
Paper		National	Combined information from the CIEEDAC database with industrial flowsheets for processes	Stack losses steam losses process gases and vapours liquid streams	150 – 450°C 100 – 110°C 80 – 120°C 27 – 120°C	9.2 TWh/year 20.0 TWh/year 5.4 TWh/year	Canada
Chemical pulp		National	Combined information from the CIEEDAC database with industrial flowsheets for processes	Stack losses steam losses process gases and vapours liquid streams	150 – 450°C 100 – 110°C 80 – 120°C 27 – 120°C	14.7 TWh/year 5.8 TWh/year 10.1 TWh/year 23.0 TWh/year	Canada
Dairy products		National	Combined information from the CIEEDAC database with industrial flowsheets for processes	Stack losses steam losses process gases and vapours liquid streams	150 – 450°C 100 – 110°C 80 – 120°C 27 – 120°C	0.8 TWh/year 1.5 TWh/year 0.3 TWh/year 1.1 TWh/year 2.1 TWh/year	Canada
Meat products		National	Combined information from the CIEEDAC database with industrial flowsheets for processes	Stack losses steam losses process gases and vapours liquid streams	150 – 450°C 100 – 110°C 80 – 120°C 27 – 120°C	0.3 TWh/year 1.1 TWh/year 2.1 TWh/year	Canada
Steel mill, electric arc furnace		Single industry	Heat balance analysis of process, measurement of flow velocity and temperature	Off-gas from an electric arc furnace	25 – 550°C (reference temperature to average off-gas temperature)	63 GWh/year (assuming operational time 7000 h/year)	Germany
Chemicals and chemical products	45	National	Surveys supplemented with statistics on company size, number of locations, number of employes and turnover.			574 GWh/year	Germany
Non-metallic mineral products	44					536 GWh/year	
Basic metals	53					241 GWh/year	
Food products	33					158 GWh/year	
Paper and paper products	40					792 GWh/year	
Textile		Single industry	Preliminary screening combined with measurements				Italy
Food		Single industry	Preliminary screening combined with measurements				Italy
Foundry		Single industry	Preliminary screening combined with measurements and pinch analysis	Flue gases Cooling water		4 GWh/year	Italy
Food and beverage		Single industry	Questionnaire and building simulation model	Cooling water, process cooling Cooling water, building cooling demand	0.5 – 5 °C 20 – 40 °C	4 GWh/year 0.2 GWh/year	Norway
Food and beverage		Single industry	Measurements and engineering estimates	Cooling water, process cooling	0 °C	15 GWh/year	Norway
Oil and gas		Single industry	Questionnaire	Data not publicly available			Norway
Biorefinery		Single industry	Pinch analysis			33 GWh/year (below 100 °C)	Portugal
Synthetic fibre production		Single industry	Pinch analysis				Portugal
Residues treatment		Single industry	Pinch analysis				Portugal
The largest companies		Regional	Questionnaire, response rate 33%.	water, flue gases, air	mainly in the range 25 – 55 °C	1.5 TWh/year	Sweden
Energy-intensive industries		Regional	Questionnaire, response rate 33%.		mainly below 65 °C	0.8 TWh/year	Sweden
Chemical pulp		National	Case studies (6) using pinch analysis and XHT-method, extrapolated to national level		> 60 °C	3.4 TWh/year (theoretical 5.7 TWh/year)	Sweden

### 5.3.1. Österreich

In Task 1 des vorliegenden Annex-Projektes wurde das österreichische technische Überschusswärmepotenzial mit 15 TWh/Jahr angegeben. In Task 2 wurden die bestehenden Studien aktualisiert und durch andere bestehende Studien ergänzt. Da die "low-hanging fruits" in Österreich zunehmend "geerntet" werden und somit Niedertemperatur-Abwärmequellen auch in Zukunft als Potenzial bleiben, ist ein genaueres Bild des Temperaturniveaus der verschiedenen Prozesse unerlässlich.

Der Schwerpunkt von Task 2 lag auf den Sektoren Zellstoff und Papier, Nichteisenmetalle, Eisen und Stahl, Zement und Keramikprodukte sowie Lebensmittel, deren großes Potenzial in früheren Studien identifiziert wurde. Ausgewählte Prozesse wurden detailliert bewertet und werden mit geeigneten Methoden (Pinch-Analyse, dynamische Prozesssimulation, Dymola oder SOCO, statisch IPSEpro, Sankey-Diagramme) dargestellt und hinsichtlich ihres Nutzungspotenzials bewertet.

### 5.3.2. Kanada

Laut der Literaturstudie in Task 1 wurde die Überschusswärmemenge für die Provinz Québec auf 76 TWh/Jahr geschätzt, wobei Zellstoff und Papier das Bild dominierten.

Wie in Kapitel 5.2.3 erläutert, hat Kanada in Task 2 versucht, die überschüssige Wärme in vier kanadischen Industriesektoren zu schätzen: Zellstoff, Papier, Milchprodukte und Fleischprodukte. Die vier Industriesektoren machen etwa 23 % des Energieverbrauchs der gesamten kanadischen Fertigungsindustrie aus.

### 5.3.3. Frankreich

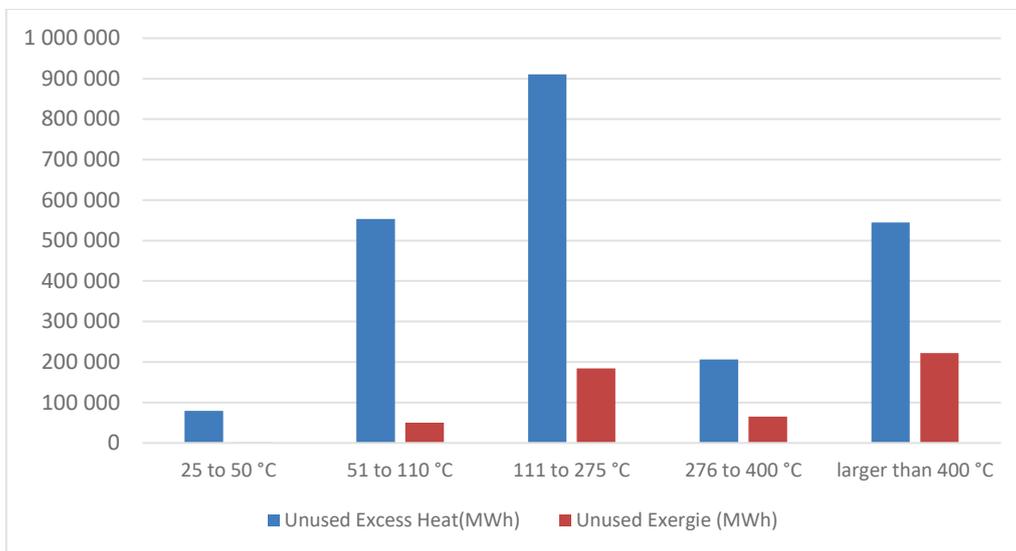
Ein wichtiger Beitrag aus Frankreich ist der Bericht "Excess Heat 2017" (Marina Boucher, 2018). Es handelt sich um eine umfassende nationale Zusammenstellung von Sektoren, Regionen und Temperaturniveaus. Die Hauptkapitel des Berichts sind:

- Überschüssige Wärme
- Industrielle Abwärmequellen in Frankreich und Aufteilung nach Regionen
- Überschüssige Wärmequellen in Frankreich aus Müllverbrennungs- und Kläranlagen und Rechenzentren
- Überschüssige Wärmequellen in der Nähe bestehender Wärmenetze
- Quellen für die Stromerzeugung aus Abwärme
- Der Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) "Fonds Chaleur" (Wärmefonds)

In Tabelle 4 sind die Daten aus dem Bericht nach Temperatur und Branche gegliedert dargestellt.

### 5.3.4. Deutschland

In Tabelle 5 ist die Überschusswärme für Unternehmen der fünf energieintensivsten Industriezweige dargestellt. In Abbildung 8 sind die akkumulierte ungenutzte überschüssige Wärme und Exergie für die fünf Industriezweige nach Temperatur kategorisiert dargestellt. Diese Daten basieren jedoch nur auf einer kleinen Anzahl von bewerteten Anlagen. Das bedeutet, dass einige wenige Anlagen mit hohen Überschusswärmeemissionen einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis haben.



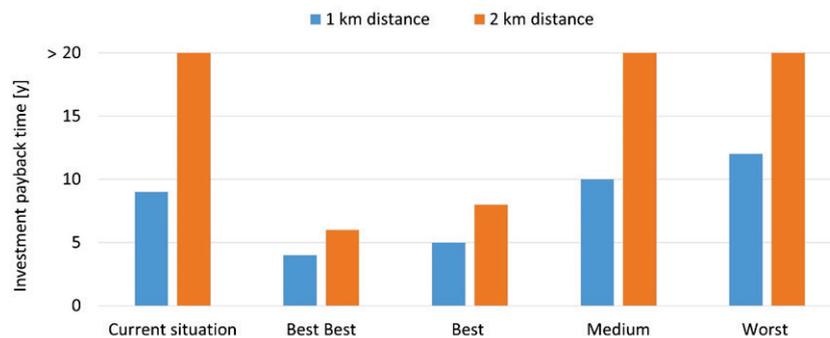
**Abbildung 8: Identifizierte Überschusswärme für verschiedene Austrittstemperaturniveaus bei 25°C Referenztemperatur**

### 5.3.5. Italien

Neben den in Tabelle 5 vorgestellten Fallstudien zu drei verschiedenen Branchen wurden Möglichkeiten zur Nutzung der Überschusswärme einer Gießerei im Nahwärmesystem mit

Hochtemperatur-Wärmepumpen diskutiert. Die Wärmequelle ist dabei das Kühlwasser zu den Kühltürmen.

Die wichtigsten Parameter, die die Machbarkeit beeinflussen, sind: die Entfernung zwischen der Wärmeabgabestelle in der Gießerei und dem Nahwärmesystem, die spezifischen Kosten der Hochtemperatur-Wärmepumpen, die Energieabstimmung zwischen dem Nahwärmebedarf und der industriellen Wärmeverfügbarkeit, die Anzahl der Ofenbetriebsstunden, die Primärenergiekosten und der Wert der Energieeffizienzprämien (weiße Zertifikate). Die daraus resultierenden Wirtschaftszahlen (Abbildung 9) ermöglichen es, die wichtigsten Barrieren aufzuzeigen. Die wichtigsten technischen Barrieren sind die Anpassung von Energiebedarf und Verfügbarkeit sowie die Entfernung der Wärmeabgabestelle.



**Abbildung 9: Payback-Time für Investments für Wärmerückgewinnung von Kühlwasser**

### 5.3.6. Norwegen

Die im Jahr 2008 durchgeführte nationale Bestandsaufnahme der industriellen Abwärme in Norwegen mit 72 teilnehmenden norwegischen Industrien zeigte, dass diese etwa 63 % (ca. 53 TWh/Jahr) des Energieverbrauchs der norwegischen Industrie verursachen. Die im Jahr 2008 nicht genutzten überschüssigen Wärmeressourcen erreichten 19 TWh und wurden auf zwei verschiedene Arten berücksichtigt: Nach Art der Wärmequelle (Wasser/Abwasser, Dampf und Abgas) und nach Temperaturbereich (25-40 °C, 40-60 °C, 60-140 °C und > 140 °C).

In Task 2 wurde die geografische Lage der Hochtemperatur-Abwärme (> 140 °C) hinzugefügt, siehe Abbildung 10. Darüber hinaus wird eine Abschätzung des Wärmebedarfs nach Temperaturniveaus für die norwegische Industrie abgeleitet. Dies ist in Abbildung 11 dargestellt.

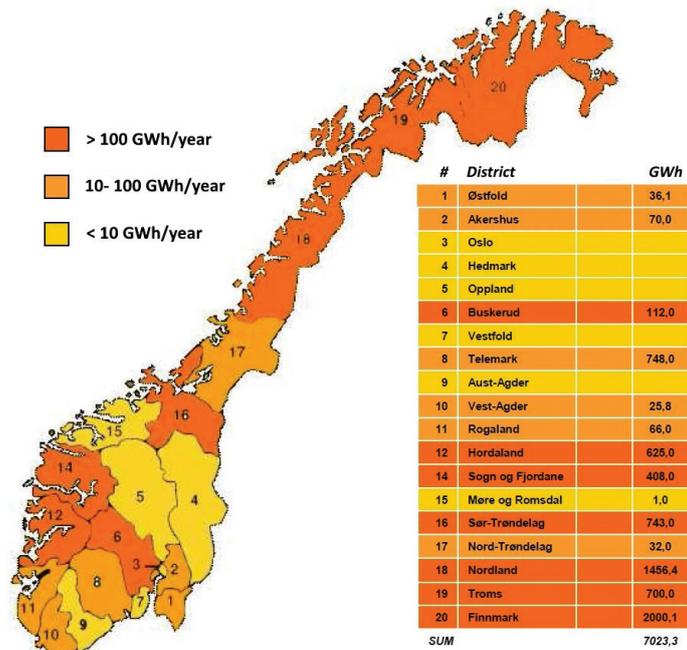


Abbildung 10: Überschusswärmequellen in Norwegen mit Temperaturniveaus über 140 °C

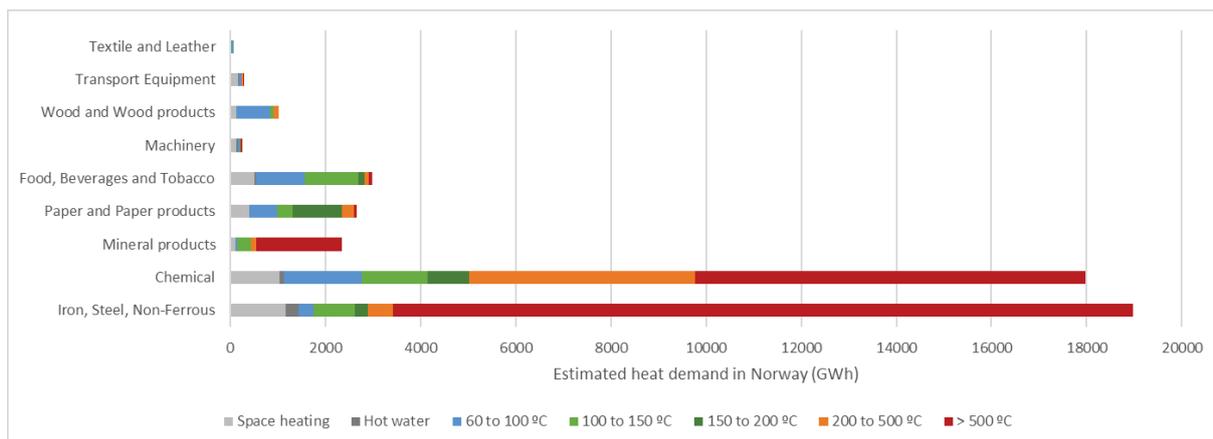


Abbildung 11: Schätzungen für den Wärmebedarf der norwegischen Industrie nach Branchen (2016)

### 5.3.7. Schweden

In dieser Arbeit wurde versucht, basierend auf Daten aus sechs Fallstudien und den allgemeinen Daten aus der schwedischen Statistik<sup>7</sup>, Potentiale für die Stromerzeugung und die Verfügbarkeit von überschüssiger Wärme aus dem gesamten schwedischen Anlagenpark abzuschätzen. Um dies zu erreichen, wurden Regressionsfunktionen basierend auf öffentlich gemeldeten Zellstoff- und Papierproduktionsraten verwendet, um die Potentiale für Stromerzeugung sowie die Verfügbarkeit von überschüssiger Wärme aus dem gesamten schwedischen Papier und Zellstoffanlagenpark abzuschätzen. Diese Studie ging davon aus, dass Wärme hauptsächlich für Fernwärmeanwendungen genutzt wird, die mit Abwärmtemperaturniveaus über 60 °C kompatibel ist. Die Schätzungen aus dem vorgeschlagenen Ansatz zeigen, dass es ein großes Potenzial zur Steigerung der Abwärmennutzung aus den schwedischen Zellstoff- und Papierfabriken gibt.

<sup>7</sup> <https://www.forestindustries.se/> besucht 25.2.2019

## 5.4. Beispielsammlung industrieller Energiesysteme

In den nationalen Projekten wurde eine große Anzahl von Industrieanlagen untersucht, um mögliche Abwärmemengen und Temperaturniveaus zu quantifizieren und zu bewerten. Die Berichte aus diesen Studien gehen jedoch nicht im Detail auf die Energiesysteme in den untersuchten Anlagen ein. In den Diskussionen über Methoden zur Identifikation von Überschusswärmemengen und/oder Temperaturniveaus wurde festgestellt, dass das Wissen über das gesamte Energiesystem sehr wichtige Informationen über Nutzungsmöglichkeiten für Überschusswärme liefern kann. Durch die detaillierteren Kenntnisse einiger industrieller Energiesysteme können die verschiedenen Gruppen ihre Ansätze oder Methoden zur Identifizierung von Überschusswärme nutzen und Ergebnisse und Methoden miteinander vergleichen. Das bedeutet, dass Gruppen ihre Methoden verbessern, mit anderen Methoden kombinieren und Wege zu einer engeren Zusammenarbeit finden können. Daher wurde beschlossen, dass jedes Land detailliertere Informationen über eine kleine Anzahl von realen Industrieanlagen bereitstellen soll, basierend auf den Ergebnissen verschiedener Projekte mit der Industrie. Bei dieser Aufgabe war es das Ziel, solche Beispiele zu teilen und zusammenzustellen und sie als wertvolle Datenbank in verschiedenen zukünftigen Projekten in und zwischen unseren verschiedenen Gruppen zu haben.

Die meisten nationalen Projektteams, insbesondere diejenigen, die mit Prozessintegration arbeiten, haben Beispiele für industrielle Energiesysteme in Form von Excel-Tabellen geliefert.

Der Informationsgrad der angeführten Beispiele kann weitgehend als "detailliert" oder "allgemein" eingestuft werden. Ein detailliertes Beispiel enthält sowohl die Prozessbeschreibung als auch Informationen zur Prozessintegration. Die 17 gesammelten Beispiele sind in Tabelle 6 gelistet. Etwa ein Drittel entfällt auf den Bereich der Lebensmittelindustrie. Der zweithäufigste Sektor ist Zellstoff und Papier.

**Tabelle 6: Beispielsammlung industrieller Energiesysteme (zum Download auf der IETS-Webseite)**

<i>Land</i>	<i>Industrietyp</i>	<i>Detailliert (D) / Allgemein (A)</i>	<i>PI- Daten</i>	<i>Name</i>
<i>Österreich</i>	Getränke- und Lebensmittel	D	Ja	AT_case_1
<i>Österreich</i>	Oberflächenbehandlung von Metallen	D	Ja	AT_case_2
<i>Österreich</i>	Molkerei	D	Ja	AT_case_3
<i>Kanada</i>	Schlachtbetrieb	D	Ja	CA_case_1
<i>Kanada</i>	Zellstoff, Chemie	D	Ja	CA_case_2
<i>Kanada</i>	Papier und Zellstoff, Trimethylolpropan (TMP)	D	Ja	CA_case_3
<i>Italien</i>	Textil	A	Nein	IT_Case_1
<i>Italien</i>	Gießerei	D	Ja	IT_Case_2
<i>Italien</i>	Bäckerei	A	Nein	IT_Case_3
<i>Norwegen</i>	Lebensmittel, Schokolade	A	teilweise	NO_Case_1
<i>Norwegen</i>	Molkerei	D	Ja	NO_Case_2
<i>Norwegen</i>	Flüssigerdgas (LNG)	A	teilweise	NO_Case_3
<i>Portugal</i>	Synthetikfasern	D	Ja	PT_Case_1
<i>Portugal</i>	Reststoffbehandlung	D	Ja	PT_Case_2
<i>Portugal</i>	Bioraffinerie, Biodieselproduktion	D	Ja	PT_Case_3
<i>Schweden</i>	Bioraffinerie, adaptierte Zellstofffabrik	D	Ja	SE_Case_1
<i>Schweden</i>	Papier und Zellstoff	D	Ja	SE_Case_2

## 5.5. Ergebnisse nationaler Technologieprojekte

### Österreich

Die Technologieentwicklungsprojekte aus Österreich beziehen sich auf thermische Energiespeichertechnologien (TES)

- Aktive und passive sensible thermische Speichersysteme
- Latente thermische Speichersysteme
- Hybride (sensibel – latente) Speicher
- Hybride TES, die Ruths Dampfspeicher, PCM und elektrische Heizung kombinieren

neue Entwicklungen im Bereich der Hochtemperatur-Wärmepumpen sowie Systemstudien zur Abwärmeverstromung mittels ORC und superkritischen CO<sub>2</sub> (sCO<sub>2</sub>) Kreisläufen.

### Dänemark

Im Bericht des dänischen Projektteams wurde ein schnelllaufender Turbokompressor mit Dampf als Arbeitsmedium vorgestellt. Der Verdichtertyp wird ursprünglich als Kompressor in Fahrzeugen eingesetzt und bietet ein attraktives Preis-Leistungs-Verhältnis.

Während der Tests ergaben sich jedoch Probleme mit dem Traktionsgetriebeölsystem:

1. Der Durchfluss durch die internen Ölpumpen war unzureichend. Die internen Ölpumpen im Getriebe ließen sich nicht ohne weiteres modifizieren, da sie Teil einer integrierten Konstruktion sind.
2. Die Dichtung auf der Hochgeschwindigkeitswelle zwischen Getriebe- und Laufrad des Dampfkompessors war nicht ausreichend dicht. Nach weniger als 30 Betriebsstunden hat sich das Öl verfärbt und begann bei Hitze zu schäumen.
3. Nach ca. 50 Betriebsstunden wurde ein erhöhter Geräuschpegel (schlechte Geräusche) des Getriebes erkannt und kein weiterer Testbetrieb durchgeführt.

Eine Lösung könnte darin bestehen, ein neues verbessertes Dichtungskonzept für die Hochgeschwindigkeitswellenabdichtung zu implementieren. Dies erfordert eine größere konstruktive Änderung des Getriebegehäuses, da in der vorliegenden Ausführung nur sehr wenig Platz für die Abdichtung zur Verfügung steht.

Die Ölpumpenkapazität (Fördermenge) der Innenpumpen ist zu gering. Um dies zu ändern, ist eine modifizierte Konstruktion des Getriebes erforderlich.

### Norwegen

Die präsentierten norwegischen Technologieentwicklungsprojekte beziehen sich auf Wärmepumpentechnologien:

- Mechanische Brüdenkompression
- Schnee für die Zukunft

Eine detaillierte Darstellung der einzelnen nationalen Technologieprojekte der internationalen Projektpartner wird im finalen Ergebnisbericht des Annex verfügbar sein.

## 5.6. Politische Instrumente

Im Abschlussbericht von Task 1 wurde folgendes festgestellt, dass alle teilnehmenden Länder über politische Instrumente unterschiedlicher Art verfügen, die die Nutzung von überschüssiger Wärme sowohl intern als auch extern beeinflussen.

Die bestehenden oder möglichen politischen Instrumente für die externe Nutzung können in mindestens vier verschiedene Kategorien unterteilt werden (natürlich variieren Anzahl und Art der Instrumente von Land zu Land):

- Regulatorisch/verwaltungstechnisch
- Wirtschaft/Steuern/Subventionen
- Informationen/Verhaltensänderungen
- Technische Verbesserungen/Forschung

Der mögliche Einfluss dieser verschiedenen Kategorien auf die Nutzung von Überschusswärme ist positiv, neutral oder negativ, wie der Bericht zeigt.

Die wichtigsten politischen Instrumente für die Nutzung von Abwärme werden diejenigen sein, die auf die Treibhausgasemissionen, insbesondere für CO<sub>2</sub>, abzielen. Unabhängig davon, wie dies steuerlich gehandhabt wird, wird eine CO<sub>2</sub>-Abgabe auch zukünftige Preise für Brennstoffe und Emissionen beeinflussen und damit hohen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Überschusswärme haben.

Die IEA hat drei verschiedene Szenarien mit sehr unterschiedlichen zukünftigen CO<sub>2</sub>-Emissionen entwickelt. Der Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit zukünftiger möglicher CO<sub>2</sub>-Abgaben wurde als wichtiger Bereich für die weitere Arbeit identifiziert.

### 5.6.1. Kanada

Kanada hat in Kanada eine große Anzahl verschiedener Arten von Politikinstrumenten gemeldet. Einige Instrumente sind auf Provinzebene und andere auf Bundesebene. Das macht die Situation komplex. Zu den politischen Instrumenten, die die Nutzung von überschüssiger Wärme beeinflussen, gehören regulatorische und wirtschaftliche Anreize, sowie Forschungsanstrengungen zur Erzielung technischer Verbesserungen und der Verbreitung von Informationen zur Förderung von Verhaltensänderungen.

Der CO<sub>2</sub>-Handel, Cap and Trade oder Carbon Tax, wird in mehreren Provinzen sowie auf Bundesebene eingeführt. Das Provinzniveau variiert, liegt aber typischerweise bei 20-30 CAD und wird in einigen Jahren auf bis zu 50 CAD steigen. Auf Bundesebene liegt der Wert jetzt bei 10 CAD und wird bis 2022 auf 50 CAD steigen.

Die Regierung Kanadas trägt zur Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen für Energieeffizienz bei, einschließlich direkter finanzieller Anreize, Finanzierung und Zuschüsse, Forschungsbüros und -labors, gezielter Rechtsvorschriften, Programme für Forschung und Entwicklung (F&E).

Verschiedene andere politische Instrumente, von der Provinz- bis zur Bundesebene, adressieren ebenfalls die industriellen Abwärmenutzung. Auf Provinzebene bieten sowohl die Landesregierungen als auch die Versorgungsunternehmen eine gewisse Unterstützung für industrielle Energiesparprojekte an.

### 5.6.2. Norwegen

ENOVA SF hat 2008 eine umfassende Studie über das Potenzial zur Nutzung von industrieller Abwärme in Norwegen in Auftrag gegeben. Neben der Quantifizierung des verfügbaren Wärmeüberschusses in der Branche wurden in der Studie einige wichtige Barrieren aufgezeigt, die mit der Nutzung dieser ungenutzten Ressource verbunden sind:

- Wirtschaftliche Herausforderungen, sowohl in Bezug auf Rentabilität als auch auf Investitionen
- Technische Herausforderungen, z.B. niedrige Temperaturniveaus von Überschusswärme, Dauer, Schadstoffe im Quellstrom
- Technische Einschränkungen, z.B. Verfügbarkeit von Schlüsselkomponenten, Interesse an Norwegen als Markt
- Geographischer Abstand zwischen überschüssigen Wärmequellen und potenziellen Kühlkörpern (z.B. Fernwärme)
- Organisatorische Herausforderungen, z.B. Schwierigkeiten bei der Implementierung neuer und unkonventioneller Technologien, Kultur und Interesse an einer effizienten Energienutzung
- Fehlende politische Anreize und finanzielle Unterstützung

Danach hat die Regierung, insbesondere über die ENOVA SF, mehrere neue Instrumente eingeführt, die sich direkt auf alle oben genannten Hindernisse beziehen und sich wirksam auf die Nutzung von industrieller Überschusswärme in Norwegen auswirken. Anreize können z.B. in Form von finanzieller Unterstützung, zusätzlichen Steuern oder Beratung bestehen.

Norwegen war weltweit eines der ersten Länder, das im Öl- und Gassektor eine spezifische Steuer auf Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe eingeführt hat. Norwegen behielt die CO<sub>2</sub>-Abgabe für den Öl- und Gassektor auch nach der endgültigen Aufnahme des Sektors in das EU-CO<sub>2</sub>-ETS im Jahr 2008 bei und hielt die CO<sub>2</sub>-Gesamtsteuersätze so hoch wie bisher. Etwa 50 % der norwegischen Emissionen sind im EU CO<sub>2</sub> ETS enthalten. Zu den Industriezweigen gehören: Zellstoff & Papier, Fernwärme, Gaskraftwerke, Gasterminals, Offshore-Öl- & -Gasproduktion, Raffinerien, nichtmetallische Mineralien, Stahlerzeugung, Aluminiumerzeugung, Ferrolegierungen, chemische Industrie. Im Jahr 2016 wurden insgesamt 137 Unternehmen in das System einbezogen.

Nachfolgend sind eine Reihe von effektiven ENOVA-Maßnahmen zur Verbesserung der Nutzung von industrieller Abwärme aufgeführt: (1) Energiemanagement-Unternehmen in Netzwerken; (2) Unterstützung bei der Einführung neuer Technologien für erneuerbare Heiz- und Kühlanlagen; (3) Energie- und Klimamaßnahmen in Industrie und Anlagen; (4) Pilot-, Demonstrations- und großtechnische innovative Energie- und Klimatechnologien; (5) Unterstützung bei der Einführung von Energiemanagement in der Industrie.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es eine breite Palette von politischen Instrumenten gibt, die sich auf die Nutzung von industrieller Abwärme in Norwegen auswirken. Mehrere wurden aufgrund ihrer höheren Auswirkungen als erfolgreich eingestuft, insbesondere im Rahmen der von der norwegischen Agentur ENOVA SF verwalteten Maßnahmen. Die vorhandenen politischen Instrumente, insbesondere die finanzielle Unterstützung der ENOVA SF, führten zu einer Vielzahl von Technologieimplementierungen zur Nutzung der verfügbaren überschüssigen Wärme in der Industrie,

intern oder extern. Ein Teil des Erfolgs ist auf die vertragliche Verpflichtung der ENOVA SF zurückzuführen, die eingesparte Energie nach der Umsetzung zu berücksichtigen und mit den im Förderantrag dargestellten Zahlen abzugleichen. Ein weiterer Teil des Erfolgs dieser Maßnahmen ist die Möglichkeit, die externe Nutzung von Überschusswärme für die Fernwärme zu monetarisieren, deren Markt in Norwegen in den letzten zehn Jahren deutlich gewachsen ist. Forschungsprojekte zur Nutzung industrieller Abwärme haben ebenfalls wesentlich dazu beigetragen, das Bewusstsein in der Branche zu schärfen.

### 5.6.3. Österreich

Der österreichische Beitrag basiert teilweise auf EU-Projekten, z.B. GREENFOODS, und enthält die folgenden Teile:

#### *Erhebung und Bewertung der bestehenden politischen Instrumente*

In einem ersten Schritt werden bestehende Instrumente identifiziert und auf ihre Eignung für eine erhöhte Abwärmenutzung überprüft. Besonderes Augenmerk wird auf die nationale Umsetzung der EU-Energieeffizienzpolitik und deren (positive, neutrale, negative) Auswirkungen auf die Nutzung von Abwärme gelegt. Sowohl die interne Nutzung als auch die Integration in Energienetze und innovative Technologien werden berücksichtigt. Weitere relevante politische Instrumente (CO<sub>2</sub>-Besteuerung, Technologieforschung usw.) werden innerhalb des Konsortiums untersucht und verglichen.

In einem zweiten Schritt wird der Bedarf der Industrieunternehmen ermittelt und mit den angebotenen Instrumenten sowie bestehenden Barrieren verglichen. Auch die Barrieren externer Finanzierungsmöglichkeiten (Betreibermodelle, Contracting, etc.) werden berücksichtigt.

#### *Entwicklung maßgeschneiderter politischer Instrumente für eine bestmögliche (effiziente und nachhaltige) Nutzung der Überschusswärme*

Auf der Grundlage der Ergebnisse früherer Arbeiten werden maßgeschneiderte und innovative Politikinstrumente abgeleitet, entwickelt und angepasst und im Rahmen des Implementing Agreement einschließlich innovativer Finanzierungsmodelle wie dieser im Horizon2020-Projekt TrustEE analysiert und entwickelt. Ziel ist es, negative Auswirkungen der analysierten Politikinstrumente zu vermeiden, die positiven Effekte zu verstärken und Best Practice Beispiele zu positionieren.

Größte Barrieren:

1. Fehlende finanzielle Mittel und begrenzte Eigenmittel;
2. Lange Amortisationszeiten bei Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen;
3. Keine angemessene finanzielle Unterstützung in Bezug auf die getätigten Investitionen oder die fehlende Unterstützung.

Ein weiteres Hindernis ist der begrenzte Zugang zu Informationen über Finanzierungs- und Finanzierungsinstrumente sowie über Technologien und Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz.

Im Jahr 2016 wurde das Horizon2020-Projekt TrustEE gestartet, das auf den Ergebnissen des GREENFOODS-Projekts aufbaut. Ziel ist es, die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen und die Integration erneuerbarer Energien in die europäische Industrie zu fördern. Die Entwicklung eines innovativen Finanzierungsmodells und einer digitalen, webbasierten Plattform zur automatisierten

und standardisierten technischen und wirtschaftlichen Bewertung von Projekten zur Energieeffizienz und zu erneuerbaren Energien soll diese Herausforderungen bewältigen.

#### *Allgemeine Schlussfolgerungen:*

Die Ergebnisse der transnationalen Umfrage im Rahmen von GREENFOODS haben gezeigt, welche Haupthindernisse die Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen wie die Nutzung von überschüssiger Wärme oder erneuerbaren Energiequellen behindern. Aufbauend auf dieser Erhebung wird im Rahmen der Arbeit dieses Annex eine neue Erhebung durchgeführt, die an nationale Industrieunternehmen und Berater versandt wird.

Die im Rahmen des Horizon-2020-Projekts TrustEE entwickelte Finanzierungs- und Projektbewertungsmethode bietet eine innovative und maßgeschneiderte Finanzierungsmöglichkeit für die Umsetzung von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien in Abwärmesystemen.

#### **5.6.4. Frankreich**

Über den „Heat Fund“ unterstützt ADEME die Erzeugung von erneuerbarer Wärme aus Biomasse, Geothermie und Solarthermie, die Rückgewinnung von überschüssiger Wärme und die Entwicklung von Fernwärmesystemen, die zu mindestens 50 % aus erneuerbaren und rückgewonnenen Energien bestehen.

Seit 2015 unterstützt ADEME Projekte zur Wärmerückgewinnung durch die Finanzierung von Vorstudien und Investitionen.

Umfang:

- Rückgewinnung von Restwärme aus einem Prozess zur Verwendung in einem anderen Prozess
- Speicherung und Erhöhung des Temperaturniveaus (Wärmepumpe, mechanische Dampfkompensation, etc.)
- Verteilung und Rückgewinnung von Wärme für interne (Heizräume) oder externe (benachbarte Gewerbe, Stadtwärme, etc.) Anwendungen.

Förderquote:

- Studien: bis zu 50 % gewährt
- Investitionen: Der Zuschuss wird berechnet, um nach 18 Monaten einen ROI zu erzielen, aber der Zuschuss darf 30 % (bzw. 50 % für KMU) der Gesamtkosten nicht überschreiten.

Von 2015 bis 2017 unterstützte der „Heat Fund“ 90 industrielle Projekte zur Wärmerückgewinnung, die rund 2000 GWh/Jahr für einen Gesamtzuschuss von 90 Mio. EUR einsparten (einschließlich der Kosten für den Bau/Ausbau von Anlagen und Wärmenetzen). Darüber hinaus wurden 35 Projekte zur Optimierung von Verbrennungsanlagen gefördert, die ca. 1500 GWh/Jahr einsparen.

#### **5.6.5. Schweden**

Im schwedischen Bericht werden einige wichtige Gesetze und Richtlinien auf europäischer und schwedischer Ebene für politische Instrumente diskutiert.

Auf schwedischer Ebene umfassen die Instrumente zur Umsetzung der europäischen Energieeffizienzrichtlinie verschiedene Gesetze wie:

Nationale Energieeffizienz-Aktionspläne (NEEAP) für 2011 und 2014, das schwedische Umweltgesetzbuch<sup>8</sup> erwähnt keine Überschusswärme, die schwedische Norm "SS-EN 16247-3:2014 Energieaudits - Teil 3: Prozesse: Elemente des Energieauditprozesses"<sup>9</sup> erwähnt, dass das Audit Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz identifizieren und bewerten soll, und im Rahmen von Maßnahmen zur Verringerung oder zum Ausgleich der Energieverluste beinhaltet es den Begriff Abwärme.

Das Gesetz SFS 2008:263 - Fernwärmegesetz<sup>10</sup> wurde 2014 geändert, um Dritten den Zugang zu Fernwärmenetzen zu ermöglichen. Wenn der an der Wärmeversorgung interessierte Partner und das Fernwärmeunternehmen keine Einigung über die Lieferung der Wärme erzielen können, hat der interessierte Partner das Recht, einen geregelten Zugang zu beantragen, und das Fernwärmeunternehmen muss die technischen und wirtschaftlichen Bedingungen des Vertrages vorschlagen. Diese Bestimmung verlangt, dass das interessierte Unternehmen die Studien für die Anschluss- und Infrastrukturkosten übernimmt. Das Fernwärmeunternehmen ist nicht verpflichtet, den Zugang zu gewähren, wenn es nachweisen kann, dass sein Betrieb gefährdet ist. Die an der Wärmeversorgung interessierte Partei kann nicht bereits als Wärmenutzer an das Fernwärmenetz angeschlossen sein.

Das Gesetz SFS 2014:266 über Energieaudits für große Unternehmen<sup>11</sup> verpflichtet Unternehmen mit mehr als 250 Mitarbeitern, Energieaudits durchzuführen. Ausgehend von den Energiebilanzen können überschüssige Wärmemengen berechnet werden.

#### **5.6.6. Allgemeine Kommentare**

Der kanadische Bericht ist der einzige, der CO<sub>2</sub>-Gebühren ausdrücklich erwähnt. Bei der norwegischen Entwicklung von Politikinstrumenten wurden die effizientesten identifiziert und eingesetzt. Dies hat zu einer großen Entwicklung von Implementierungen zur Nutzung von Abwärme geführt, sowohl für den internen als auch für den externen Gebrauch.

In Frankreich gibt es politische Instrumente, die ausdrücklich auf überschüssige Wärme ausgerichtet sind, wobei die Regierung solche Projekte mitfinanziert. Im österreichischen Projekt wurden die wichtigsten Hindernisse für die Umsetzung identifiziert.

Das schwedische Gesetz über Energieaudits in großen Industrien ist für die Nutzung von überschüssiger Wärme sehr interessant, welches in allen europäischen Ländern eingeführt wird. Dies bedeutet, dass das Wissen über die Energiebilanzen in den großen europäischen Industrien erheblich verbessert wird. Allerdings werden alle diese Informationen wahrscheinlich nicht offiziell verfügbar sein.

Die Vielfalt der Arten von Politikinstrumenten und deren Gestaltung ist enorm, wie aus den nationalen Beiträgen hervorgeht. Darüber hinaus ist die Definition der politischen Instrumente in diesem

---

<sup>8</sup> <https://www.government.se/legal-documents/2000/08/ds-200061/> besucht am 26.02.2019, 14:30

<sup>9</sup> <https://www.sis.se/api/document/preview/102025/> besucht am 26.02.2019, 14:31

<sup>10</sup> [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/fjarrvarmelag-2008263\\_sfs-2008-263](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/fjarrvarmelag-2008263_sfs-2008-263) besucht am 26.02.2019, 14:32

<sup>11</sup> [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2014266-om-energikartlaggning-i-stora\\_sfs-2014-266](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2014266-om-energikartlaggning-i-stora_sfs-2014-266) besucht am 26.02.2019, 14:33

Zusammenhang unklar. Wo ist zum Beispiel die Grenze zwischen Subventionen, F&E-Finanzierung und z.B. dem ETS-System für die CO<sub>2</sub>-Abgabe? Keiner der nationalen Berichte diskutiert quantitativ, wie verschiedene politische Instrumente die Wirtschaft bei der Nutzung von überschüssiger Wärme konkret beeinflussen. Dies ist aufgrund der Vielzahl von Parametern und Variationen mehr oder weniger unmöglich. Es ist jedoch klar, dass politische Instrumente im Zusammenhang mit den Emissionskosten für Treibhausgase in vielen Fällen für die Nutzung von überschüssiger Wärme in Situationen von Vorteil sein sollten.

Aufgrund der Notwendigkeit einer radikalen Dekarbonisierung der Gesellschaft werden sich die politischen Instrumente höchstwahrscheinlich in naher Zukunft sukzessive ändern. Da die Überschusswärme in den meisten Fällen sehr geringe Treibhausgasemissionen aufweist, wird dieser Sektor sehr wahrscheinlich von einer solchen Entwicklung profitieren.

### **5.7. Zusammenfassung der Ergebnisse der internationalen Kooperation**

Die drei verschiedenen Methoden zur Quantifizierung von Abwärmemengen (Fragebögen an Unternehmen, Methoden zur Prozessintegration von industriellen Energiesystemen und Nutzung des vorhandenen Wissens über reale Anlagen oder "Modell"-Anlagen zur Identifizierung von Überschusswärme) wurden in nationalen Teamprojekten eingesetzt. Es kann der Schluss gezogen werden, dass alle drei für Projekte zur Bestandsaufnahme von Abwärme relevant sind.

Fragebögen scheinen jedoch am relevantesten zu sein und liefern zuverlässigere Ergebnisse in Industrien mit einer geringen Komplexität im Energiesystem, wie etwa mit einfachen Wärmetauschersystemen und einigen großen Wärmequellen. Andererseits liefern Prozessintegrationsmethoden wahrscheinlich in den meisten Fällen relevantere und zuverlässigere Ergebnisse in komplexeren Branchen mit großen Wärmetauschersystemen und mehreren Wärmequellen. Prozessintegrationsmethoden sind jedoch zeitaufwendiger und damit teurer. Die Kombination von z.B. Modellanlagenwissen und Fragebögen kann eine Möglichkeit sein, die Zuverlässigkeit von Fragebogenstudien in mittelkomplexen Branchen kostengünstiger zu verbessern.

Was die politischen Instrumente betrifft, so ist die Vielfalt der Arten von politischen Instrumenten und deren Gestaltung enorm, wie aus den nationalen Berichten hervorgeht. Darüber hinaus ist die Definition der politischen Instrumente in diesem Zusammenhang unklar. Aufgrund der Vielzahl von Parametern und Variationen ist es mehr oder weniger unmöglich, eine Bewertung aller Typen allgemeiner durchzuführen. Es ist jedoch klar, dass politische Instrumente im Zusammenhang mit den THG-Emissionskosten in vielen Fällen für die Nutzung von überschüssiger Wärme in Situationen, in denen die Alternativen mehr Treibhausgase emittieren, von Vorteil sein sollten. Aufgrund der Notwendigkeit einer radikalen Dekarbonisierung der Gesellschaft werden sich die politischen Instrumente höchstwahrscheinlich in naher Zukunft sukzessive ändern. Da die Überschusswärme in den meisten Fällen sehr geringe Treibhausgasemissionen aufweist, wird dieser Sektor sehr wahrscheinlich von einer solchen Entwicklung profitieren.

Einige allgemeine Schlussfolgerungen aus dem internationalen Annex-Projekt sind:

- Alle teilnehmenden Länder scheinen Überschusswärmennutzung als einen ihrer priorisierten Energieeffizienz-Bereiche zu haben. Diese Erkenntnis basiert auf den vielen Großprojekten, die von allen Gruppen gemeldet wurden.

- Obwohl die Nutzung von überschüssiger Wärme in allen teilnehmenden Ländern verbreitet ist, gibt es in diesem Bereich noch großes Potenzial für Energieeinsparungen. Dazu gibt es offensichtlich auch großes wirtschaftliches Potenzial. Dies wird an den vielen durchgeführten Umfragen deutlich, in denen vielversprechende Möglichkeiten identifiziert wurden.
- Jedoch gibt es bei der Umsetzung von Abwärmeprojekten Hürden, weswegen viele Projekte nicht realisiert werden. Diese Hürden sind unter anderem:
  - Fehlende ordnungsgemäße Inventur, d.h. die tatsächlichen Mengen und Temperaturniveaus der überschüssigen Wärme wurden nicht ermittelt.
  - Unsicherheit über Integration, Steuerung und Zusammenspiel mit anderen Teilen des Energiesystems
  - Unterschiedliche Anforderungen an die Rentabilität der Investitionen zwischen Anbieter und Nutzer
  - Unökonomisches Projekt mit den heutigen politischen Instrumenten (aber in vielen Fällen vielversprechend mit möglichen zukünftigen politischen Instrumenten)
  - Zu hohes Risiko aufgrund von Unsicherheiten über die zukünftigen Rahmenbedingungen

## 5.8. Weiterführende Informationen

Die Arbeiten, die im Zuge des Annex publiziert wurden, sind auf der Task-Homepage

<https://iea-industry.org/annexes/annex-xv-industrial-excess-heat-recovery/>

zu finden. Die Ergebnisse von Annex 15 Task 2, die auch für diesen Ergebnisbericht aufbereitet wurden, sind zum Berichtszeitpunkt noch nicht verfügbar. Sie werden auf der Homepage des Tasks veröffentlicht, sobald die Arbeiten fertiggestellt sind.

## 6. Vernetzung und Ergebnistransfer

### 6.1. Zielgruppe für die Verbreitung der Projektergebnisse

Die Ergebnisse, die im Zuge des Annex 15 Task 2 erarbeitet wurden, sind für die nationale Forschung im Bereich der internen Wärmerückgewinnung und Wärmeauskopplung relevant. Durch die Beschäftigung 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 7 dargestellt.

**Tabelle 7: Disseminationsmaßnahmen und deren Adressaten**

<b>Maßnahme</b>	<b>Adressaten</b>
<b>Nationalen Stakeholder-Workshop</b> (19.10.2018, Haus der Industrie/IV)	Unternehmen aus Industrie & Gewerbe, Anlagenplaner, technische Büros, österreichische Forschungseinrichtungen
<b>Beiträge in Newslettern</b> (KLIEN, IEA Forschungskooperation, IV, AEE Intec Homepage Newsletter, Newsletter der JKU, TU Wien IET Homepage, AIT Homepage)	Industrie & Gewerbe, Forschungseinrichtungen
<b>Präsentation auf Websites</b> (Programmwebsite des bmvit, Websites der BIEGE)	Interessierte Öffentlichkeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/iets/iea-iets-annex-15.php">https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/iets/iea-iets-annex-15.php</a></li> <li>• <a href="https://www.ait.ac.at/themen/sustainable-thermal-energy-systems/projects/annex-15/">https://www.ait.ac.at/themen/sustainable-thermal-energy-systems/projects/annex-15/</a></li> <li>• <a href="https://www.tuwien.ac.at/aktuelles/news_detail/article/126280/">https://www.tuwien.ac.at/aktuelles/news_detail/article/126280/</a></li> <li>• <a href="https://www.aee-intec.at/iea-iets-annex-15-industrielle-abwaermenutzung-phase-2-p209">https://www.aee-intec.at/iea-iets-annex-15-industrielle-abwaermenutzung-phase-2-p209</a></li> </ul>	
<b>Präsentation der Arbeit im Annex 15 auf div. Veranstaltungen</b> (EnPro Symposiums (12.6.2017, Wien), IEA-Vernetzungstreffen (12.10.2017 - 13.10.2017, Salzburg), Highlights der Energieforschung (20.03.2018, Wien))	Forschung, Industrie, politische Entscheidungsträger
<b>Aktualisierte Skripten</b> für Lehrtätigkeiten an Ausbildungsstätten (z.B. „Prozesssimulation von thermischen Energieanlagen“ und „Energieverfahrenstechnik“ an der TU Wien)	Studenten

Die **Einbindung der ExCO Vertreter** erfolgte durch regelmäßige Information (zwei Mal pro Jahr) über den Lauf der Arbeiten sowie durch Einladung zu den Projektmeetings. Das **bmvit** wurde über Disseminationsmaßnahmen im Projekt zeitgerecht informiert sowie zu geplanten Veranstaltungen eingeladen. Die Ergebnisse wurden zudem für Publikation auf der IEA Website des bmvit 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.

### 6.3. Relevanz und des Nutzens der Projektergebnisse

Es wurden zwei Workshops zum Thema Prozessintegration mit österreichischer Beteiligung abgehalten (September 2017 und Jänner 2018, Wien). Dabei wurden nationale Ansätze präsentiert und so der Wissensaustausch im Konsortium vorangetrieben. Dabei wurde konkret die Möglichkeit zur Identifikation von Retrofit-Maßnahmen als zentraler Punkt erkannt. Darauf aufbauend wurde die Einbindung von Retrofitting in das im Zuge der nationalen Beteiligung am Annex erarbeitete

Prozessintegrationsframework weiterentwickelt. Das vom Schwedischen Projektpartner entwickelte Konzept der Advanced Composite Curves wurde aufgegriffen und ebenfalls ins Framework integriert.

Für das österreichische Konsortium relevante Ergebnisse sind unter anderem die Prozessbeschreibungen, die einen tieferen Blick in die Industrieprozesse innerhalb des internationalen Projektverbandes erlauben und für weiterführende Forschungstätigkeiten eine hilfreiche Datenbasis darstellen. Ebenso zählt der Wissensaustausch zur praktischen Erhebung von Abwärmepotentialen klar zum Mehrwert der aus dem Annex Projekt hervorgegangen ist. Es hat sich gezeigt, dass in den Teilnehmerländern ähnliche Probleme mit niedrigen Rücklaufquoten bei Umfragen und ähnlich geringem Wissen in Betrieben über das eigene Energiesystem bestehen. Der Detaillierungsgrad für die ökonomisch sinnvolle Anwendung von Abwärmeerhebungsmethoden hängt stark von der Größe und der Branche der Industriebetriebe ab.

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. Erkenntnisse für das Projektteam**

Im Zuge des Projektes hat sich gezeigt, dass in den Teilnehmerländern ähnliche Hindernisse bei der Umsetzung von Projekten zur Überschusswärmenutzung bestehen wie in Österreich. Die eigenen Potentiale sind den einzelnen Industriebetrieben oft kaum oder zumindest nicht in vollem Umfang bewusst. Zudem sind für Industrieunternehmen kurze Amortisationszeiten in Wärmeintegrationsprojekten von weniger als drei Jahren notwendig, um diese überhaupt in Betracht zu ziehen. Dabei wären Finanzierungsmodelle gefragt, die das finanzielle Risiko der Industriebetriebe reduzieren.

Zudem wurde deutlich, dass vor allem Retrofit-Projekte für die Industrie relevant sind. Dafür wurden bei den einzelnen Meetings verschiedene Ansätze (Workshops zum Thema Prozessintegration) vorgestellt und diskutiert, die auch in Österreich Anwendung finden könnten.

### **7.2. Weiterführende Arbeiten**

Neben der internationalen Vernetzung und den damit einhergehenden Wissensaustausch können vor allem die erarbeiteten Wissensdatenbanken bezüglich Temperaturniveaus und Überschusswärmemengen für weiterführende Forschungszwecke genutzt werden. Zudem wurde das Bewusstsein über zukünftige Szenarien im industriellen Energiesystem geschärft. Dadurch können relevante Schritte in Richtung politischer Entscheidungsträger unternommen werden.

Zudem fließen die gewonnenen Kenntnisse in Skripten für die Lehre an der TU Wien sowie an der FH Pinkafeld und an der FH Joanneum ein, um die direkte Verknüpfung von aktuellen Forschungsthemen und Bildung zu stärken.

Das im Zuge der nationalen Beteiligung erarbeitete Prozessintegrationsframework wird mit den neuen Erkenntnissen aus der Zusammenarbeit im Annex (Schwerpunkt Retrofit & Auskopplung in Wärmenetze) weiterentwickelt und wird in nationalen Projekten als Entscheidungshilfe für Abwärmeprojekte eingesetzt werden.

Die Zusammenarbeit im Annex 15 kann vorrangig als Wissensaustausch der einzelnen Projektpartner verstanden werden. Die gemeinsam erarbeiteten Inhalte können aber sowohl für Forschungseinrichtungen aber auch für Industriebetreiber (Auditing, Energiemonitoring, Durchführung von Abwärmeprojekten) sowie für Fördergeber (Förderinstrumente für Abwärmenutzung) interessant sein.

### 7.3. Weiterführende Forschungsprojekte

Es ist international anerkannt, dass der Klimawandel und die damit einhergehenden Aufgaben für die Industrie eines der wichtigsten Zukunftsthemen überhaupt sind. Das Thema industrielle Abwärmenutzung ist zentral und von wesentlicher Bedeutung für den Umstieg in ein erneuerbares Energiesystem. Damit ist die industrielle Abwärmenutzung auf jeden Fall zukunftsrelevant. Im Zuge von Annex 15 Task 2 konnte dieses Thema jedoch noch nicht erschöpfend bearbeitet werden. Es wird daher aktuell auf internationaler Ebene die Weiterführung der Aktivitäten im Rahmen eines Task 3 vorbereitet.

Auf der Grundlage aller Beiträge und Diskussionen während der Sitzungen legte der Annexmanager einen Vorschlag für mögliche Subtasks bei der Fortsetzung des Annex vor. Alle Teilnehmer haben ihr Interesse an einer Fortsetzung des Annex bekundet, jedoch bisher ohne jegliche Verpflichtung.

Die möglichen Subtasks in Task 3 sind im Folgenden aufgelistet.

**Subtask 1:** Kombination von Verfahren zur Identifizierung und Quantifizierung von Überschusswärme

**Subtask 2:** Konsequenzen zukünftiger Veränderungen in industriellen Energiesystemen für Überschusswärme

**Subtask 3:** Operative Aspekte, z.B. Überwachung, Steuerung, Kontrolle, etc.

**Subtask 4:** Risikominimierung bei Projekten im Zusammenhang mit Überschusswärme

**Subtask 5:** Erstellung von innovativen Überschusswärmeprojekten

## 8. Verzeichnisse

### 8.1. Publikationsverzeichnis

Task-Homepage (Taskbericht): <https://iea-industry.org/annexes/annex-xv-industrial-excess-heat-recovery/>

Journal- und Konferenzbeiträge sowie Vorträge, die in Zusammenhang mit der Teilnahme am Annex-Projekt ermöglicht wurden:

- A. Beck, R. Hofmann: "A Novel Approach for Linearization of a MINLP Stage-Wise Superstructure Formulation"; Computers & Chemical Engineering, **112** (2018), 112; S. 17 - 26.
- A. Beck, R. Hofmann: "How to tighten a commonly used MINLP superstructure formulation for simultaneous heat exchanger network synthesis"; Computers & Chemical Engineering, **112** (2018), 112; S. 48 - 56.
- A. Beck, W. Glatzl, J. Fluch, R. Hofmann: "Process integration in a dairy factory considering thermal energy storages - a comparison of two different approaches"; Vortrag: International Sustainable Energy Conference 2018, Graz; 03.10.2018 - 05.10.2018; in: "ISEC Proceedings Renewable Heating and Cooling in Integrated Urban and Industrial Energy Systems", (2018), S. 153 - 161.
- C. Zauner, R. Hofmann, B. Windholz: "Increasing Energy Efficiency in Pulp and Paper Production by Employing a New Type of Latent Heat Storage"; Poster: 28th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, Graz; 10.06.2018 - 13.06.2018; in: "Proceedings of the 28th European Symposium on Computer Aided Process Engineering", A. Friedl, J. Klemes, S. Radl, P. Varbanov, T. Wallek (Hrg.); Elsevier B.V., Part A (2018), ISBN: 978-0-444-64237-0; S. 1359 - 1364.
- A. Beck, R. Hofmann: "Extensions for Multi-Period MINLP Superstructure Formulation for Integration of Thermal Energy Storages in Industrial Processes"; Hauptvortrag: 28th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, Graz; 10.06.2018 - 13.06.2018; in: "Proceedings of the 28th European Symposium on Computer Aided Process Engineering", A. Friedl, J. Klemes, S. Radl, P. Varbanov, T. Wallek (Hrg.); Elsevier B.V., Part A (2018), ISBN: 978-0-444-64237-0; S. 1335 - 1340.
- A. Beck, R. Hofmann: "Tightening of MINLP Superstructure Relaxation for Faster Solution of Heat Exchanger Network Synthesis Problems"; Vortrag: 12th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik; 04.10.2017 - 08.10.2017; in: "Proceedings of the 12th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems", (2017), ISSN: 1847-7178; Paper-Nr. FP-950, 11 S.
- R. Hofmann, A. Beck: "IEA IETS ANNEX 15 Industrial Excess Heat Recovery"; Vortrag: Highlights der Energieforschung 2018 - Systemintegration & Sektorkopplung, TU Wien; 20.03.2018.
- R. Hofmann, A. Beck: "IEA IETS ANNEX 15 Industrielle Abwärmenutzung - Integration von thermischen Komponenten in zeitabhängige Prozesse mittels mathematischer

- Optimierung*"; Vortrag: IEA Vernetzungstreffen 2017: Die Transformation des Energiesystems als sozial-ökologische Aufgabe, Salzburg; 12.10.2017 - 13.10.2017.
- R. Hofmann, A. Beck: "*IETS Annex 15 Industrielle Abwärmenutzung - Optimierte Prozessintegration*"; Vortrag: Symposium "Solarthermie und Wärmepumpen in der Industrie", Industriellenvereinigung, Wien; 12.06.2017.
  - M. Haider: "*Thermische Speicher für Effizienzsteigerung und Flexibilitätserhöhung in ausgewählten Industriekraftwerkskonfigurationen - Teil 1/2*"; Vortrag: Standardkessel Baumgarte Fachseminar, Duisburg (eingeladen); 27.11.2017 - 28.11.2017; in: "Standardkessel Baumgarte Fachseminar Industriekessel", (2017), Paper-Nr. 2, 27 S.
  - R. Hofmann: "*Thermische Speicher für Effizienzsteigerung und Flexibilitätserhöhung in ausgewählten Industriekraftwerkskonfigurationen - Teil 2/2*"; Vortrag: Standardkessel Baumgarte Fachseminar, Duisburg (eingeladen); 27.11.2017 - 28.11.2017; in: "Standardkessel Baumgarte Fachseminar Industriekessel", (2017), Paper-Nr. 2, 27 S.
  - R. Hofmann: "*Design Optimization and Operational Optimization of Industrial Energy Supply Systems - using the Example of Thermal Energy Storage*"; Vortrag: AIT Symposium Empowering Innovation Tomorrow by Basic Research Today, AIT Wien (eingeladen); 29.06.2018.
  - R. Hofmann: "*Flexibilisierungspotential von thermischen Energieanlagen für transientes Verhalten*"; Vortrag: VO610701005 Regelung von Kraftwerken und Netzen, Universität Stuttgart; 13.12.2017.
  - R. Hofmann: "*Flexibilisierungspotential von thermischen Energieanlagen für transientes Verhalten*"; Vortrag: VO610701005 Regelung von Kraftwerken und Netzen, Universität Stuttgart; 14.12.2018.
  - R. Hofmann: "*Integration Methods of Thermal Energy Storages for Load Flexibilization of Industrial Energy Supply Systems*"; Vortrag: Workshop on Thermal Energy Storage at the Laboratory of Renewable Energy Sciences and Engineering (LRESE), EPFL, Lausanne (eingeladen); 11.12.2017.
  - R. Hofmann: MJ2426, Applied Heat & Power Technology (AHPT), 04/2018, Guest Lecture Exchange, KTH Stockholm.
  - J. Fluch, Ch. Brunner: „*Industrielle Abwärmenutzung*“. In: nachhaltige technologien, 03/2017, S. 30, <https://user-bk2ymcy.cld.bz/nachhaltige-technologien-3-17-web/30>
  - J. Fluch: BEE-Werkstatt Energiemarkt - Bericht Workshop - „*Prozesswärme dekarbonisieren, aber wie?*“. <https://www.bee-ev.de/home/veranstaltungen/veranstaltungskalender/detailansicht/bee-werkstatt-prozesswaerme-01032017-berlin/>

## 8.2. **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Anteil des produzierenden Bereichs am Endenergieverbrauch auf Bundesländerebene (Basis 2014). .....	10
Abbildung 2: Abwärmemenge nach Temperaturniveau (6.997 GWh/a) (KPC, 2012, S. 42).....	11
Abbildung 3: Endenergieverbrauch für Raumwärme/Warmwasser (RW/WW) und Prozesswärme (PW) nach Temperaturbereichen und Branchen in der EU28 für 2012 aus (Naegler, Simon, Gils, & Klein, 2016, S. 8).....	13
Abbildung 4: Anteile am Endenergieverbrauch für Wärme für Raumwärme/Warmwasser (RW/WW) und Prozesswärme (PW) in verschiedenen Temperaturbereichen aus (Naegler, Simon, Gils, & Klein, 2016, S. 8).....	14
Abbildung 5: Thematische Verteilung wissenschaftlicher Arbeiten zum Thema Abwärme .....	30
Abbildung 6: Wissenschaftliche Publikationen nach Regionen .....	31
Abbildung 7: Schematische Darstellung des erarbeiteten Prozessanalyse-Frameworks .....	35
Abbildung 8: Identifizierte Überschusswärme für verschiedene Austrittstemperaturniveaus bei 25°C Referenztemperatur.....	47
Abbildung 9: Payback-Time für Investments für Wärmerückgewinnung von Kühlwasser .....	48
Abbildung 10: Überschusswärmequellen in Norwegen mit Temperaturniveaus über 140 °C .....	49
Abbildung 11: Schätzungen für den Wärmebedarf der norwegischen Industrie nach Branchen (2016) .....	49

## 8.3. **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Beiträge der teilnehmenden Länder und die adressierten Subtasks .....	24
Tabelle 2: Beschreibung der Advanced Composite Curves.....	37
Tabelle 3: Zusammenfassung nationaler Projektergebnisse.....	44
Tabelle 4: Zusammenfassung nationaler Projektergebnisse (Weiterführung) .....	45
Tabelle 5: Zusammenfassung nationaler Projektergebnisse (Weiterführung) .....	46
Tabelle 6: Beispielsammlung industrieller Energiesysteme (zum Download auf der IETS-Webseite)..	50
Tabelle 7: Disseminationsmaßnahmen und deren Adressaten .....	60

## 8.4. **Literaturverzeichnis**

- Berntsson, T., & Asblad, A. (2015). *Annex XV: Industrial Excess Heat Recovery - Technologies and Applications*. Sweden.
- Brown, H. L. (1996). *Energy analysis of 108 industrial processes*. Lilburn, GA; Upper Saddle River, NJ: Fairmont Press; Distributed by Prentice Hall PTR.
- Europäische Kommission. (2014). Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. *Für ein Wiedererstarben der europäischen Industrie*. Brüssel.
- European Commission. (2011). Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. *A resource-efficient Europe – Flagship initiative under the Europe 2020 Strategy*. Brüssel.
- KPC. (2012). *Abwärmepotenzialerhebung 2012 - Erhebung außerbetrieblicher Potenziale in österreichischen Industriebetrieben*. Wien: Kommunalkredit Public Consulting GmbH.

- Marina Boucher, F. S. (2018). *Excess Heat 2017 Edition*. Angers: ADEME.
- Naegler, T., Simon, S., Gils, H.-C., & Klein, M. (2016). Potenziale für erneuerbare Energien in der industriellen Wärmeerzeugung. *BWK- Energie-Fachmagazin*, 68, S. 20–24.
- Pehnt, M., Bödeker, J., Arens, M., Jochem, E., & Idrissova, F. (2010). Die Nutzung industrieller Abwärme –technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung. Heidelberg, Karlsruhe.
- Simon Moser, Karl-Heinz Leitner, & Horst Steinmüller. (2014). F&E-Fahrplan: Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie. (Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung, Hrsg.) Wien.
- Sollesnes, G., & Helgerud, H. (2009). *Utnyttelse av spillvarme fra norsk industri; ENOVA; Norks Energi*.



**Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie**  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien  
[bmvit.gv.at](https://www.bmvit.gv.at)