

Marktpotenzial für Hochtemperatur-Wärmepumpen in Europa

Martin Koller¹, Annemarie SCHNEEBERGER², Veronika WILK³

AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Giefinggasse 2, 1210 Wien, +43 50550-6408¹, martin.koller@ait.ac.at¹, +43 50550 6349², annemarie.schneeberger@ait.ac.at², +43 50550-6494³, veronika.wilk@ait.ac.at³, www.ait.ac.at

Kurzfassung: Die österreichische Industrie ist mit rund 27% des Endenergieverbrauchs nach dem Verkehrssektor der zweitgrößte Energieverbraucher. Um die internationalen Klimaschutzziele zu erreichen, soll dieser Sektor langfristig mit erneuerbarer Energie versorgt werden [1]. Wärmepumpen (WP) für industrielle Anwendungen werden als ein zentrales Element in der zukünftigen Energieinfrastruktur gesehen und können einen wichtigen Beitrag zur Effizienzsteigerung industrieller Prozesse und zur Vermeidung von CO₂-Emissionen leisten [2] [3]. Für Stakeholder ergibt sich die Frage des möglichen Umsatzes dieser Technologie. Zu diesem Zweck wurde das Marktpotenzial in Europa für industrielle Hochtemperatur-Wärmepumpen (HT-WP) untersucht. Um das Marktpotenzial abzuschätzen, wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. Anhand der gesammelten Informationen wurden weiterführende Betrachtungen durchgeführt, indem beispielsweise länderspezifische Energiepreise berücksichtigt und eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt wurde. Dadurch ergibt sich ein potenzielle Wärmebedarfsdeckung durch HT-WPs. Diese wird verwendet, um den möglichen Absatz an WP-Einheiten in Europa abzuschätzen. Es gibt einige Arbeiten zum Thema Wärmebedarf in der energieintensiven Industrie. Hierbei wird zwischen verschiedene Industriesektoren, Länder und auch Temperaturbereiche unterschieden. Die HT-WPs erreichen Senktemperaturen bis zu 160°C, die Quelltemperaturen liegen bei 80°C. Für eine vollständige Betrachtung wird daher auch das Abwärmepotenzial im entsprechenden Temperaturbereich benötigt. Daten zum Abwärmepotenzial sind jedoch in weit weniger detaillierter Form vorhanden. Ausgehend von einer Arbeit [4], in welcher das technische Potenzial für HT-WPs in Europa durch einen Abgleich von Wärmebedarf und anfallender Abwärme untersucht wurde, wurden weitere Betrachtungen durchgeführt, um auf die mögliche Wärmebereitstellung sowie Schätzungen für den möglichen Absatz an HT-WPs in Europa zu schließen. Im betrachteten Zukunftsszenario sind HT-WPs in der Industrie mit den getroffenen Annahmen (steigende Energie- und CO₂-Preise) in fast allen EU Ländern gegenüber einer fossilen Referenztechnologie zur Wärmebereitstellung (Gaskessel) konkurrenzfähig. Somit könnten 1,2% des gesamten Wärmebedarfs bzw. 8,2% des Wärmebedarfs im Bereich 100°C - 200°C der europäischen Industrie durch HT-WPs versorgt werden.

Keywords: Hochtemperatur-Wärmepumpe, Marktpotenzial, Industrie, Abwärmennutzung

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die österreichische Industrie ist mit rund 27% des Endenergieverbrauchs nach dem Verkehrssektor der zweitgrößte Energieverbraucher. Um die internationalen Klimaschutzziele

zu erreichen, soll dieser Sektor langfristig mit erneuerbarer Energie versorgt werden [1]. WPs für industrielle Anwendungen werden als ein zentrales Element in der zukünftigen Energieinfrastruktur gesehen und können einen wichtigen Beitrag zur Effizienzsteigerung industrieller Prozesse und zur Vermeidung von CO₂-Emissionen leisten [2] [3]. Eine kürzlich veröffentlichte Studie zur Frage, wie die österreichische Industrie vollständig mit erneuerbarer Energie versorgt werden kann, unterstreicht die Bedeutung von HT-WPs als Basistechnologie zur Rückgewinnung von Abwärme und zur Erhöhung der Energieeffizienz [5]. Im H2020 Projekt DryFiciency [6] werden HT-WPs, die Vorlauftemperaturen von 160°C liefern, entwickelt und erstmals in industrieller Umgebung demonstriert. Hierbei wird zwischen offenem (Brüdenverdichtung / Mechanical Vapor Recompression) und geschlossenem System unterschieden, siehe [6]. Nach der erfolgreichen Demonstration soll diese Technologie zur Marktreife geführt werden. Für Stakeholder, wie Komponentenhersteller und Anlagenbauer, ist daher eine Bewertung des möglichen Umsatzes dieser Technologie von großer Bedeutung. Zu diesem Zweck wurde das Marktpotenzial in Europa für industrielle HT-WPs untersucht.

1.2 Definition Potenziale

Das Marktpotenzial wird im Allgemeinen als die Kapazität eines Marktes oder die Gesamtheit der möglichen Absatzmengen für ein bestimmtes Produkt definiert. Bei der Bewertung des Potenzials für eine zukünftig mögliche alternative Lösung der Energieversorgung werden mehrere Arten von Potenzialdefinitionen verwendet. Dazu gehören, wie in Abbildung 1 dargestellt, neben dem Marktpotenzial auch das Ressourcen- (oder theoretisches) Potenzial, das technische Potenzial und das wirtschaftliche Potenzial.

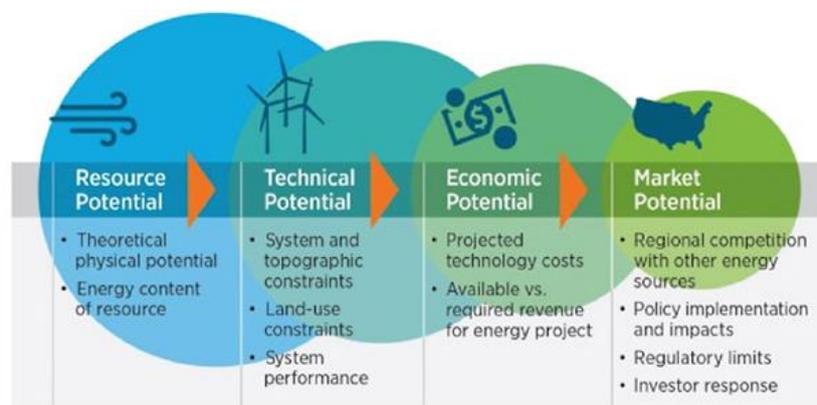


Abbildung 1: Darstellung der verschiedenen Potenziale [7]

Das Ressourcenpotenzial bezieht sich auf das theoretische Potenzial einer Technologie unter Berücksichtigung ihrer physikalischen bzw. technischen Grenzen. Laut Wolf [8] ist es beispielsweise vorstellbar, dass zukünftige WP-Technologien mit dem Arbeitsmedium Wasser transkritische Prozesstemperaturen von bis zu 500 °C erreichen können.

Das technische Potenzial bezieht sich in der Regel auf die vollständige Durchdringung aller technologisch machbaren erneuerbaren Energieressourcen, unabhängig von der wirtschaftlichen Rentabilität. Bei den Industrie-Wärmepumpen (IWP) umfasst das technische Potenzial die verfügbaren Mengen an Niedertemperatur-Abwärmeströmen aus gekühlten Prozessen und anderen Abwärmeströmen (wie z.B. Abluft oder Abwasser) sowie die Abwärme

von Kältemaschinen, Druckluftsystemen und Rauchgaskondensationssystemen, aus denen noch Wärme entnommen werden kann. Für HT-WPs, wie sie in der DryFiciency entwickelt wurden, ergibt sich das technische Potenzial aus den auf Temperaturniveaus >80°C verfügbaren Abwärmemengen, die für den Einsatz in industriellen Prozessen mit Vorlauftemperaturen bis zu 160°C aufbereitet werden sollen. Mit Veränderungen im Design des Kältekreislaufes können auch niedrigere Quelltemperaturen im Bereich von 30-40°C genutzt werden.

Das wirtschaftliche Potenzial ist definiert als der Anteil des technischen Potenzials, bei dem auch eine wirtschaftliche Umsetzung möglich ist.

Das Marktpotenzial berücksichtigt schließlich auch die Auswirkungen zukünftiger politischer Entscheidungen oder Änderungen von Gesetzen, etc. Es handelt sich also um das wirtschaftliche Potenzial, das als Reaktion auf Änderungen der regulatorischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, wie z.B. die Einführung von Subventionen für erneuerbare Energietechnologien, einer CO₂-Steuer auf fossile Brennstoffe, etc. realisiert wird.

1.3 Potenzialanalysen aus der Literatur

In Tabelle 1 wird ein Überblick über Potenzialanalysen für Industrie-WPs in der Literatur gegeben. Die aktuellste Arbeit stammt von G. Kosmadakis [4] und wird als Basis für die weiteren Betrachtungen herangezogen.

Tabelle 1: Potenziale für Industrierärmepumpen aus diversen Quellen

Region	Art des Potenzials	Potenzial in TWh/a	Temp.-bereich	Anmerkung	Quelle
EU28	Technisch	476	<100°C	2,3% des industriellen Endenergieverbrauchs; 15,75% des technischen Potenzials;	S. Wolf, M. Blesl, 2016 [9]
	Ökonomisch	75			
Deutschland	Technisch	62,8	<500°C	34,4% des theoretischen Potenzials	S. Wolf, Diss., 2017, [8]
	Ökonomisch	10,3			
EU28	Technisch	739 (inkl. Nutzung für Fernwärme)	<165°C	3,4 % des industriellen Wärmebedarfs; 16,4% des technischen Potenzials;	S. Wolf, 2 nd DryF EEAB WS, Mannheim 12/2018
EU28	Technisch	32,2	100°C - 150°C	Industrie 237 TWh/a, Fernwärme 502 TWh/a; Wichtigste Sektoren: Molkerei, Papier & Zellstoff, Fleisch, Getränke	Arpagaus et al., 2018 [10]
EU28	Technisch	28,37	100°C - 200°C	Wichtigste Sektoren: Nahrungsmittel & Tabak (8,2%), Chemie (23,9%), Papier & Zellstoff (10,9%)	G. Kosmodakis, 2019 [4]
EU28	Technisch	28,37	100°C - 200°C	1,5% des industriellen Wärmebedarfs; Deutschland, Frankreich, Italien, Spanien und GB > 60% des Gesamtpotenzials; Wichtigste Sektoren: Nicht-metallische Minerale, Papier und Zellstoff, Nahrungsmittel & Tabak and Nicht-Eisen Metalle.	G. Kosmodakis, 2019 [4]

2 Methodik der Potenzialanalyse

Die technische Potenzialabschätzung¹ in [4] basiert auf dem Abwärmepotenzial auf Branchen- und Länderebene in der EU28, welches den für HT-WPs relevanten Temperaturbereich abdeckt. Dieses Potenzial wurde mit dem industriellen Wärmeverbrauch in den entsprechenden Temperaturbändern auf Branchen- und Länderebene abgeglichen. Diese Arbeit kann aus den folgenden Gründen als eher konservativ angesehen werden:

- Es wurde ein COP (Coefficient of Performance) von 4 angenommen. Niedrigere COP-Werte wurden nicht berücksichtigt, obwohl sie wirtschaftlich potenziell zulässig sind.
- Nur 20% des Abwärmeanteils im Temperaturbereich von 100 bis 200°C werden genutzt.
- Das Abwärmepotenzial <100°C wurde aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt. Das DryFiciency WP-Konzept ist jedoch auch mit Abwärme im Temperaturbereich von 80°C bis 100°C anwendbar.
- Abwärme und Wärmebedarf wurden nur auf Branchen- und Länderebene abgestimmt. Eine sektorübergreifende Nutzung (z.B. die Zementindustrie versorgt eine Molkerei mit ihrer Abwärme) wurde nicht berücksichtigt.

Sowohl der COP als auch der Anteil genutzter Abwärme haben einen erheblichen Einfluss auf das technische Potenzial (auch zu sehen in Abbildung 4). Daher wurden für die Potenzialanalyse die Annahmen für das technische Potenzial wie folgt erweitert:

- Der COP der WP muss zwischen 2 und 4 liegen.
- Durchschnittliche jährliche Volllaststunden angenommen: 5256² h

Da keine Angaben über a) den tatsächlich genutzten Anteil des Abwärmeanteils im Temperaturbereich 100°C bis 200°C und b) das Abwärmepotenzial im Temperaturbereich 80°C bis 100°C vorlagen, wurden diesbezüglich weiterhin die Annahmen von G. Kosmodakis verwendet.

Wie aus seiner Definition ersichtlich, hängt die Größe des wirtschaftlichen Potenzials stark von den (zukünftigen) Preisen für Energieträger (Strom-/Gaspreisverhältnis) sowie den Investitionskosten (CAPEX) der HT-WP und einer konkurrierenden Referenztechnologie ab. Als Referenztechnologie wird ein Gaskessel zur reinen Wärmebereitstellung angenommen. Tabelle 2 enthält die zusätzlichen Annahmen bzw. Daten, die zur Ermittlung des Marktpotenzials von HT-WPs, wie sie im Rahmen der DryFiciency entwickelt wurden, verwendet werden. Szenario 1 (S1) "Baseline" berücksichtigt die aktuellen Randbedingungen, Szenario 2 (S2) "Future" basiert auf den für das Jahr 2025 erwarteten zukünftigen Randbedingungen.

¹ 28,37 TWh/a (1,05 TWh/a müssen im 150°C-160°C Temperaturband integriert werden)

² Volllaststunden: max. 8760h/a, 75% in Betrieb, 80% durchschnittliche Last → 5256h/a

Tabelle 2: Annahmen für die Berechnungen des wirtschaftlichen Potenzials

	Einheit	S1: "Baseline"	S2: "Future"
Leistungsgröße (thermisch) einer WP-Einheit	kW	1000	1000
Kohlenstoffintensität der Stromerzeugung für EU28 Länder		Siehe Tabelle 3	
Strom-/Gaspreise für EU28 Länder		Siehe Tabelle 3	
CAPEX Referenztechnologie (Gaskessel)	€/kW	100	100
CAPEX Integration Ref.	€/kW	100	100
CAPEX Wärmepumpe	€/kW	500	375 ³
CAPEX Integration WP	€/kW	500	375 ³
CO₂-Preis	€/t	25	80
Änderung der Energiepreise (Basis: Eurostat, 2019S1)	-	0%	+20%
Max. Amortisationszeit	a (Jahre)	5	5
Volllaststunden	h/a	5256	5256

Die gewählte Leistungsgröße von 1000 kW wurde aufgrund von technisch und prozesstechnischen Randbedingungen als sinnvolle Größe angenommen. Diese Größe liegt innerhalb typischer Werte für HT-WPs, siehe Abbildung 2.

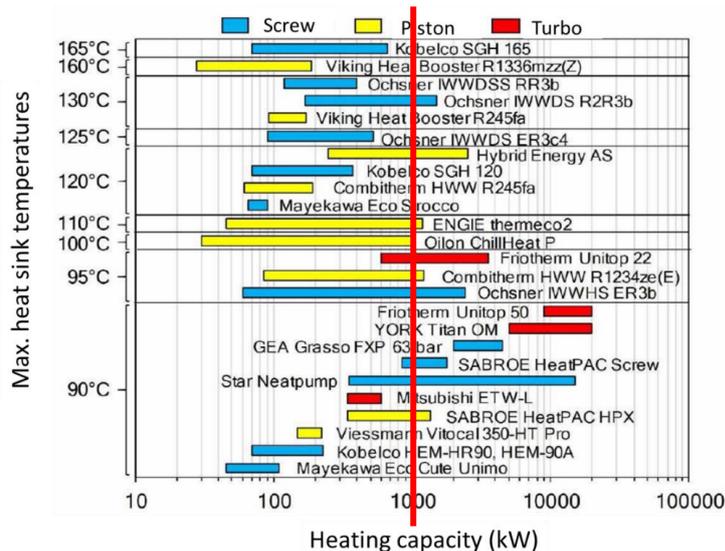


Abbildung 2: Wahl der Leistungsgröße (1000 kW) im Vergleich zu diversen HT-WPs, [10]

Der minimal benötigte COP, um konkurrenzfähig gegenüber der Referenztechnologie zu sein (COP_{min}), wird gemäß folgender Formel berechnet ($Betriebsstunden = Volllaststunden \cdot Max. Amortisationszeit$, $\eta_{ref} = 0,9$):

$$COP_{min} = \frac{Strompreis}{\frac{Gaspreis}{\eta_{ref}} \cdot \frac{Inv_{WP} - Inv_{Ref}}{Betriebsstunden}}$$

³ 25% Reduktion durch öffentliche Förderung und Kostensenkung bei der HP-Technologie.

Mit dem ermittelten COP-Wert wird ein Korrekturfaktor berechnet, welcher die Daten aus [4] entsprechend skaliert.

Bei den Betrachtungen handelt es sich um Schätzungen, welche diversen Limitationen unterliegen. Diese werden im Folgenden erläutert:

- Länderspezifisches minimal notwendiges COP_{min} für Wirtschaftlichkeit wurde zwar berücksichtigt, der Anteil der genutzten Abwärme im entsprechenden Temperaturbereich wird aufgrund unzureichender Daten weiterhin nur geschätzt.
- Abwärme zwischen 80°C und 100°C wird aufgrund unzureichender Daten nicht berücksichtigt
- Keine sektorübergreifenden Anwendungen berücksichtigt.
- Ergebnisse stellen das Gesamtpotenzial dar, ohne zwischen offenen und geschlossenen Systemen zu unterscheiden.
- Gleichzeitigkeit von Wärmebedarf und anfallender Abwärme wird vorausgesetzt.

Aufgrund fehlender Daten über die Art der verfügbaren Abwärmequellen (Dampf, Luftströme) wurde bei den Berechnungen nicht zwischen offenem und geschlossenem WP-Kreislauf unterschieden. Das angegebene Marktpotenzial von HT-WPs bezieht sich daher sowohl auf offene als auch auf geschlossene WP-Systeme. Das Marktpotenzial wird in gewissem Umfang in Bezug auf die Stückzahlen höher und auf den Umsatz geringer sein, wenn man bedenkt, dass die HT-WP mit offenem Kreislauf weniger kostspielig sein wird als die WP mit geschlossenem Kreislauf.

3 Ergebnisse

In Tabelle 3 sind neben den länderspezifischen Energiepreisen und Kohlstoffintensitäten der Stromerzeugung auch die Ergebnisse für COP_{min} und die dazugehörigen Korrekturfaktoren angegeben. Die Energiepreise für S1 und S2 enthalten bereits die CO₂-Kosten und die angenommene Preissteigerung für S2. Entsprechend der Annahme, dass HT-WPs nur in Ländern mit $COP_{min} \leq 4$ berücksichtigt werden, können HT-WPs im dem „Baseline“-Szenario (S1) nur in 2 von 28 EU-Ländern wirtschaftlich angeboten werden (Amortisationszeit max. 5), darunter Finnland und Schweden (gelb-grün: Voraussetzungen erfüllt, grau: Voraussetzungen nicht erfüllt). Märkte mit hohem technischen Marktpotenzial wie Deutschland, Frankreich, Spanien, Italien und Großbritannien können aufgrund ihrer hohen Kohlenstoffintensität und/oder ungünstigen Strom-/Gaspreisverhältnisse nicht wirtschaftlich bedient werden. Diese Zahl erhöht sich drastisch im „Future“-Szenario (S2), welches auf zukünftigen Randbedingungen basiert, auf 22 Länder (Großbritannien, Italien, Polen und Irland sind wegen deren hohen Kohlenstoffintensität bzw. deren ungünstigen Strom-/Gaspreisverhältnisses weiterhin nicht inkludiert; für Malta und Zypern sind die verfügbaren Daten nicht ausreichend, allerdings sind diese Länder aufgrund des vergleichsweise kleinen industriellen Wärmebedarfs für diese Potenzialanalyse vernachlässigbar).

Tabelle 3: Länderspezifische Daten: Gas- und Strompreise von Eurostat für 2019S1 [11], Kohlenstoffintensität von EEA [12], COP_{min} und Korrekturfaktoren

Land	Gaspreis Cent/kWh			Strompreis Cent/kWh			Kohlenstoff- intensität g _{co2} /kWh	COP_{min}		Korrektur- faktor	
	Eurostat	S1	S2	Eurostat	S1	S2		S1	S2	S1	S2
Austria	2,8	3,4	5,3	8,4	8,6	10,7	85,1	12,1	2,9	0,0	1,2
Belgium	2,1	2,7	4,4	8,1	8,5	11,1	169,6	- ⁴	4,0	0,0	1,0
Bulgaria	2,6	3,2	5,0	7,5	8,7	12,8	470,2	17,0	3,6	0,0	1,0
Croatia	2,8	3,4	5,3	8,3	8,8	11,7	210,0	11,4	3,0	0,0	1,1
Czech Rep.	2,6	3,2	5,0	7,4	8,7	13,0	512,7	16,9	3,7	0,0	1,0
Denmark	2,7	3,3	5,2	6,1	6,5	8,7	166,1	10,1	2,4	0,0	1,3
Estonia	3,2	3,8	5,7	7,6	9,6	15,6	818,9	8,2	3,6	0,0	1,0
Finland	6,3	6,9	9,4	5,7	6,0	7,7	112,8	1,3	0,9	1,5	1,5
France	2,7	3,3	5,1	7,2	7,3	9,1	58,5	12,4	2,5	0,0	1,2
Germany	2,7	3,3	5,1	9,0	10,1	14,4	440,8	16,9	4,0	0,0	1,0
Greece	2,9	3,5	5,4	8,3	9,9	15,0	623,0	11,1	3,8	0,0	1,0
Hungary	2,7	3,3	5,2	8,2	8,9	11,9	260,4	13,7	3,3	0,0	1,1
Ireland	2,5	3,1	5,0	10,1	11,1	15,5	424,9	25,7	4,5	0,0	0,0
Italy	2,9	3,5	5,3	11,7	12,3	16,0	256,2	15,6	4,2	0,0	0,0
Latvia	2,9	3,5	5,4	7,9	8,1	10,3	104,9	9,2	2,6	0,0	1,2
Lithuania	3,0	3,6	5,5	7,6	7,6	9,2	18,0	8,0	2,3	0,0	1,3
Luxembourg	2,2	2,8	4,6	4,5	5,0	7,1	219,3	74,8	2,4	0,0	1,3
Netherlands	2,6	3,2	5,0	7,1	8,3	12,5	505,2	16,3	3,6	0,0	1,0
Poland	2,8	3,4	5,3	8,6	10,5	16,5	773,3	14,1	4,3	0,0	0,0
Portugal	2,8	3,4	5,3	8,9	9,7	13,3	324,7	13,7	3,5	0,0	1,0
Romania	2,9	3,5	5,4	8,6	9,3	12,7	306,0	11,5	3,3	0,0	1,1
Slovakia	2,8	3,4	5,3	11,1	11,4	14,3	132,3	15,5	3,8	0,0	1,0
Slovenia	2,6	3,2	5,0	6,8	7,4	10,2	254,1	15,2	2,9	0,0	1,1
Spain	2,8	3,4	5,3	8,6	9,3	12,5	265,4	12,1	3,3	0,0	1,1
Sweden	3,4	4,0	6,0	5,3	5,3	6,4	13,3	3,9	1,4	1,0	1,5
UK	2,3	2,9	4,6	13,2	13,9	18,1	281,1	113,8	6,0	0,0	0,0

Unter Berücksichtigung aller Annahmen liegt die potenzielle Wärmebedarfsdeckung durch HT-HPs zwischen 0,7 TWh/a (S1 "Baseline", 10%) und 44,6 TWh/a (S2 "Future", 40%). Somit ergibt sich ein Marktpotenzial bezüglich HT-WP-Einheiten mit einer Leistungsgröße von 1000 kW zwischen 130 Stück (S1 "Baseline", 10%) und 8481 Stück (S2 "Future", 40%), wie in Tabelle 4 dargestellt. Es ergibt sich ein Umsatz inkl. Integrationskosten von 130 Mio. € bis zu 8,5 Mrd. € (65 Mio. € bis 3,2 Mrd. € exkl. Integrationskosten) in der EU28. Mit dem

⁴ Aufgrund der niedrigen Gaspreise ist eine Amortisation in der angenommenen Zeit mit positiven Strompreisen nicht möglich.

Referenzwert gemäß [4] von 20% genutzter Abwärme und S2 ergeben sich ein Potenzial von 22,3 TWh/a bzw. 4240 Einheiten und ein Umsatz von 3,2 Mrd. € (1,6 Mrd. € exkl. Integration).

Tabelle 4: Marktpotenzial für HT-WPs in EU28

Anteil genutzter Abwärme	S1				S2			
	Wärmebedarfsdeckung	Stückzahl	Umsatz exkl. Int.	Umsatz inkl. Int.	Wärmebedarfsdeckung	Stückzahl	Umsatz exkl. Int.	Umsatz inkl. Int.
	TWh/a	-	Mio. €	Mio. €	TWh/a	-	Mio. €	Mio. €
10%	0,7	130	65	130	11,1	2120	795	1590
20%	1,4	260	130	260	22,3	4240	1590	3180
30%	2,1	390	195	390	33,4	6361	2385	4770
40%	2,7	520	260	520	44,6	8481	3180	6361

Wie in Tabelle 4 ausgeführt, hängt das Marktpotenzial u.a. stark von dem Anteil des genutzten Abwärmepotenzials ab. Abbildung 3 zeigt nochmals das Marktpotenzial in Stückzahlen und Umsatz für die beiden Szenarien bei einem Anteil der genutzten Abwärme von 10% bis 40%.

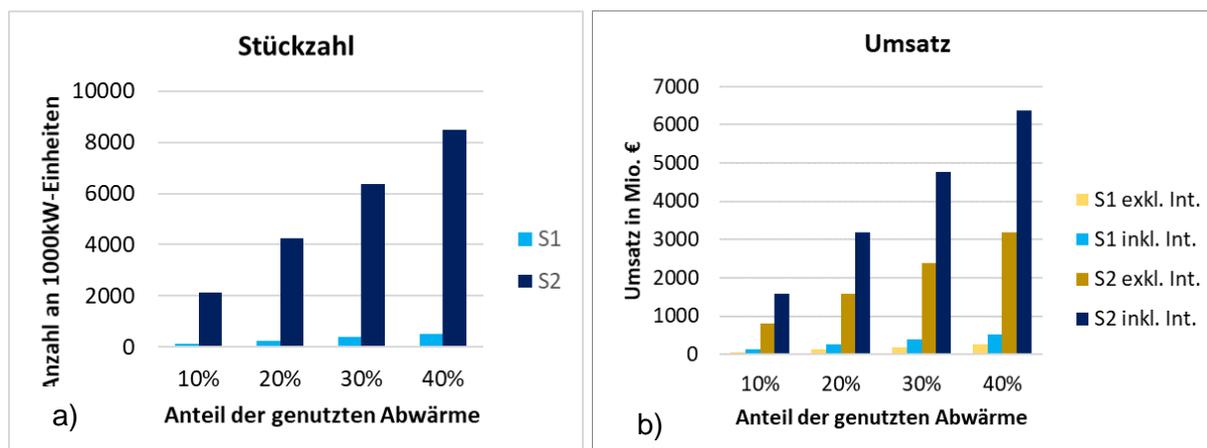


Abbildung 3: Marktpotenzial: a) Stückzahlen und b) Umsatz abhängig vom Anteil genutzter Abwärme; basierend auf [4]

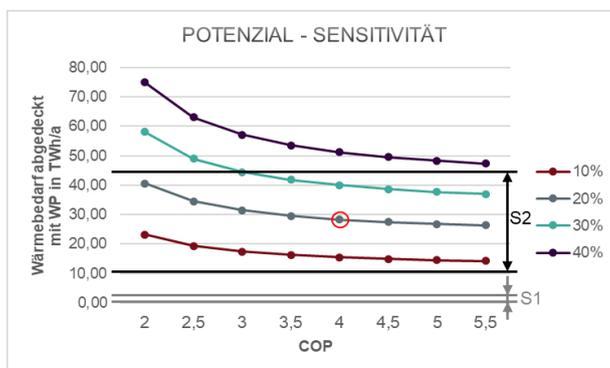


Abbildung 4: Sensitivität in Abhängigkeit des COP und dem Anteil genutzter Abwärme

In Abbildung 4 wird die Sensitivität des potenziell durch HT-WPs gedeckten Wärmebedarfs in der Industrie in Abhängigkeit von COP und Anteil genutzter Abwärme im entsprechenden

Temperaturbereich bei gegebenem Abwärmepotenzial dargestellt. Der rote Punkt markiert das technische Potenzial gemäß [4]. Die Schwankungsbreiten für die Szenarien S1 und S2, welche auch die Wirtschaftlichkeit berücksichtigen, zeigen für S1 ein deutlich niedrigeres Potenzial als der Referenzwert. Die Ergebnisse für S2 liegen jedoch im selben Bereich.

In Abbildung 5 a) ist die potenzielle Wärmebedarfsdeckung in der EU28 für verschiedene Industriesektoren für das „Future“ Szenario mit 20% genutzter Abwärme abgebildet. Es ist ersichtlich, dass die meisten HT-WPs potenziell im Sektor der nichtmetallischen Mineralien verkauft werden, zu dem insbesondere Unternehmen aus der Keramik-, Glas-, Zement- und Kalkindustrie gehören. Zellstoff & Papier, Nahrungsmittel & Tabak und Nichteisenmetalle werden ebenfalls als Sektoren mit einem beträchtlichen Marktpotenzial betrachtet, während das Potenzial in der chemischen Industrie geringer zu sein scheint als ursprünglich erwartet. Unter den in S2 „Future“ angenommenen Randbedingungen sind die wichtigsten Märkte aus länderspezifischer Sicht Deutschland, Frankreich und Spanien (siehe Abbildung 5 b) mit den Top 10 der EU28-Länder).

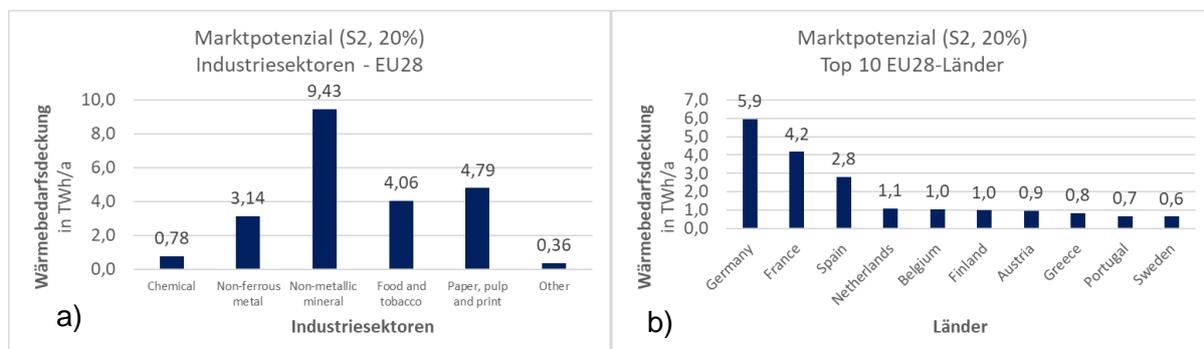


Abbildung 5: a) Potenzial in Einheiten pro Industriesektor (S2, Anteil genutzter Abwärme: 20%); b) Top 10 Länder (S2, Anteil genutzter Abwärme: 20%); basierend auf [4]

4 Schlussfolgerung

HT-WPs bieten eine Möglichkeit, um den industriellen Wärmebedarf effizient und kostengünstig mit erneuerbarer Energie bereitzustellen und somit CO₂-Emissionen zu reduzieren. Der Referenztechnologie „Gaskessel“ stehen jedoch relativ hohe Investitionskosten der WP-Technologie gegenüber. Die vorgestellte Analyse zeigt, dass unter positiven Entwicklungen der Randbedingungen bzgl. WPs, welche in Szenario S2 „Future“ angenommen wurden, die HT-WP sich gegenüber dem Gaskessel als wettbewerbsfähig herausstellt. Es ist jedoch zu betonen, dass das wirtschaftliche Potenzial stark von den getroffenen Annahmen abhängt. Im Referenzfall mit S2 mit 20% genutzter Abwärme ergibt sich eine potenzielle Wärmebedarfsdeckung durch HT-WPs von 22,3 TWh/a. Das entspricht rund 1,2% des gesamten industriellen Wärmebedarfs bzw. 8,2% des Wärmebedarfs im Bereich 100°C - 200°C in der EU28. Das Marktpotenzial ergibt damit 4240 Stk. an 1000 kW-Einheiten bzw. 3,18 Mrd. € Umsatz inkl. Integration. Die wichtigsten Märkte sind Deutschland, Frankreich und Spanien; die wichtigsten Industriesektoren sind Nichtmetallische Minerale, Papier & Zellstoff, Nahrung & Tabak sowie Nichteisen-Metalle.

Des Weiteren ist zu beachten, dass die WP-Technologie aufgrund ihrer Effizienz gegenüber der Referenztechnologie von steigenden Energie- und CO₂-Preisen und längeren

Betrachtungszeiträumen, welche unter anderem durch Life-Cycle-Analysen immer wichtiger werden, profitiert.

5 Danksagung

Diese Arbeit wurde von der Europäischen Union im Rahmen des Horizon 2020 Programms zur "Energy Efficiency and Innovation Action", Grants Nr. 723576, gefördert.

6 Referenzen

- [1] Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft., „Energie in Österreich, Zahlen, Daten, Fakten,“ Wien, 2017.
- [2] Communication from the EU Commission, „Towards an Integrated Strategic Energy Technology (SET) Plan: Accelerating the European Energy System Transformation,“ 2015.
- [3] M. Hartl, P. Biermayr, A. Schneeberger und P. Schöfmann, „Österreichische Technologie-Roadmap für Wärmepumpen,“ bmwft, 2016.
- [4] G. Kosmadakis, „Estimating the potential of industrial (high-temperature) heat pumps for exploiting waste heat in EU industries,“ *Applied Thermal Engineering* 156, pp. 287-298, 2019.
- [5] R. Geyer, S. Knöttner, C. Diendorfer und G. Drexler-Schmid, „IndustRiES - Energieinfrastruktur für 100% Erneuerbare Energie in der Industrie,“ Wien, 2019.
- [6] „DryFiciency,“ [Online]. Available: <http://dry-f.eu/>. [Zugriff am 28.1.2019].
- [7] NREL, „Renewable Energy Economic Potential,“ [Online]. Available: <https://www.nrel.gov/gis/re-econ-potential.html>. [Zugriff am 03.02.2020].
- [8] S. Wolf, Integration von Wärmepumpen in industrielle Produktionssysteme - Potenziale und Instrumente zur Potenzialerschließung, Stuttgart: IER, 2017.
- [9] S. Wolf und M. Blesl, „Model-based quantification of the contribution of industrial heat pumps to the European climate change mitigation strategy,“ pp. 477-487, 2016.
- [10] C. Arpagaus, F. Bless, M. Uhlmann, J. Schiffmann und S. S. Bertsch, „High temperature heat pumps: Market overview, state of the art, research status, refrigerants, and application potentials,“ *Energy* 152, pp. 985-1010, 2018.
- [11] Eurostat, „Database,“ [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/energy/data/database>. [Zugriff am 03.02.2020].
- [12] EEA, „CO2 emission intensity,“ [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-5>. [Zugriff am 03.02.2020].

