

STUDIEN



Maschinenbau

Transform.Industry – Transformationspfade und
FTI Fahrplan für eine klimaneutrale Industrie 2040

transform.industry

Aktionsplan Branche Maschinenbau

Ausschreibung	Energieforschung 2020
Projektstart	01.10.2021
Projektende	31.07.2023
Auftragnehmer (Institution)	AIT Austrian Institute of Technology GmbH (Koordinator) Österreichische Energieagentur, Montanuniversität Leoben und Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz
Ansprechpartner	Christian Schützenhofer (Projektkoordinator, AIT)
E-Mail	christian.schuetzenhofer@ait.ac.at

Einleitung und Hintergrund	03
1.0 Status-Quo	04
1.1 Allgemeine Brancheninformation	04
2.0 Transformationspfade	08
2.1 Zusammenfassung der branchenspezifischen Szenarien-Ergebnisse für die eingesetzten Energieträger	08
2.2 Investitionsbedarfe und potenzielle Stranded Assets	13
2.3 Branchenspezifische Schlüsseltechnologien	14
2.4 Handlungsempfehlungen	24
Literaturverzeichnis	26
Kontaktdaten	26

Einleitung und Hintergrund

Innerhalb der kommenden zwei Jahrzehnte wird Österreich zu einem klimaneutralen Land umgebaut. Die Transformation ist eine gewaltige Herausforderung, besonders in der Industrie. Damit der Umbau erfolgreich wird, braucht es große Mengen erneuerbarer Energie, Investitionen in Produktionsprozesse, die zum Teil noch neu entwickelt werden müssen, sowie einen Innovationsvorsprung im internationalen Wettbewerb.

Das Projekt *transform.industry* liefert Antworten auf die Frage, wie diese Transformation der Industrie in Österreich gelingen kann.

transform.industry ist ein Forschungsprojekt, das den produzierenden Sektor beim Weg in die Klimaneutralität unterstützt. Das Projektteam rund um AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Österreichische Energieagentur, Montanuniversität Leoben und Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz zeigt auf, wie sich Klimaschutz, Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit in unterschiedlichen Bereichen der österreichischen Industrie miteinander vereinbaren lassen.

Eine Bestandsaufnahme in 13 Branchen und die Identifikation von Schlüsseltechnologien, mit denen Treibhausgasemissionen verhindert oder entfernt werden können, bilden das Fundament des Projekts. Anhand von Transformationsszenarien werden der Investitions- und Energiebedarf sowie volkswirtschaftliche und ökologische Effekte abgeschätzt. Auf dieser Basis entwickeln die ExpertInnen gemeinsam mit VertreterInnen der industriellen Praxis einen strategischen Forschungs-, Technologie- und Innovationsfahrplan. Weiters sprechen sie Handlungsempfehlungen aus, welche Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen, um innovative Schlüsseltechnologien „Made in Austria“ entwickeln und zur Marktreife bringen und damit die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie weiter ausbauen können.

Die F&E-Dienstleistung ist im Auftrag des Klima- und Energiefonds entstanden und mit Mitteln des Energieforschungsprogramms 2020 finanziert.

1.0 Status-Quo

Im ersten Teil dieses Aktionsplans wird ein Überblick über historische Entwicklungen in der Branche Maschinenbau hinsichtlich Produktionswertes, Wertschöpfung,

Unternehmen und Erwerbstätige, Energieeinsatz und Emissionen gegeben.

1.1 Allgemeine Brancheninformation

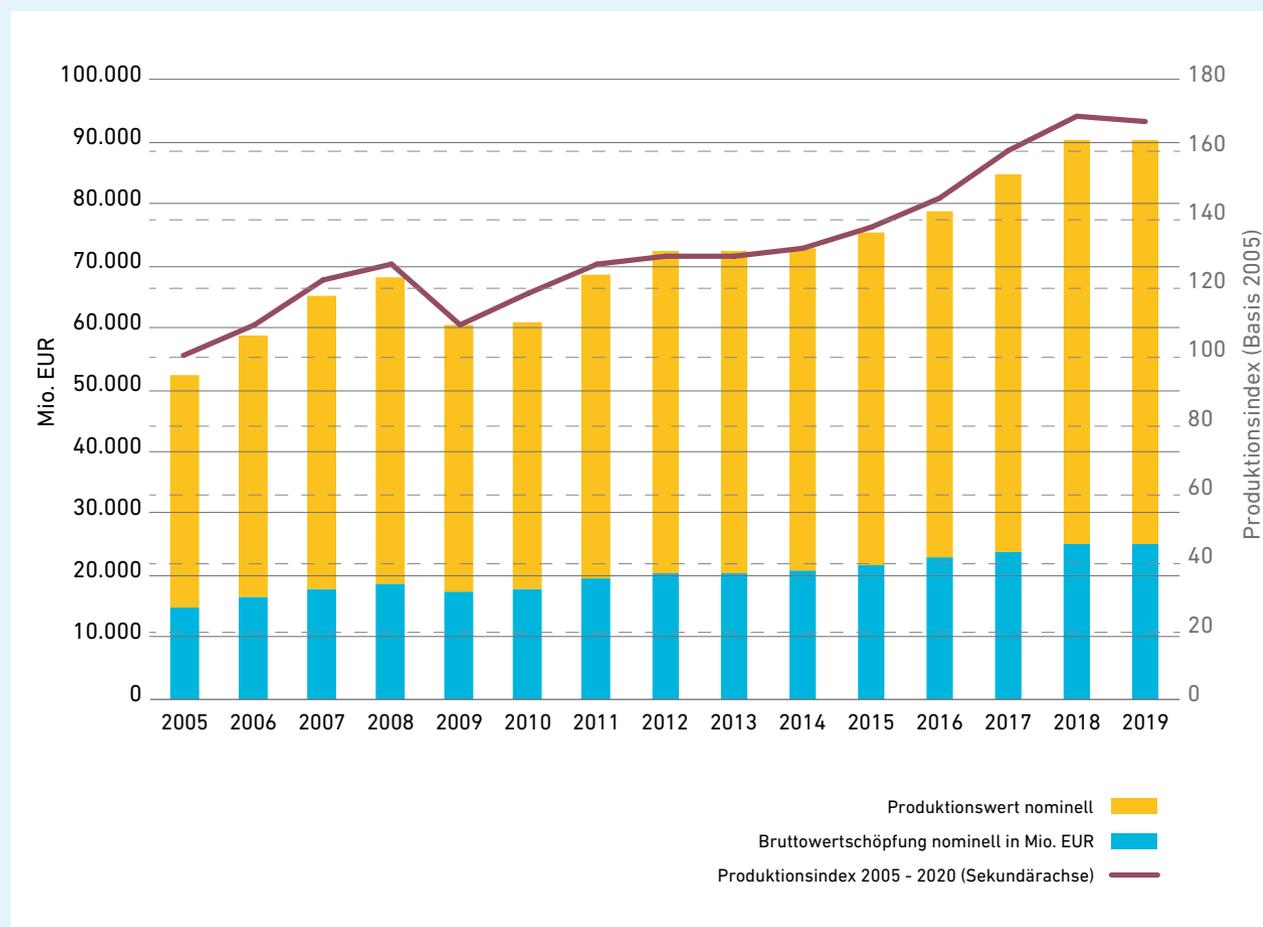


Abbildung 1

Wirtschaftliche Entwicklungen Branche Maschinenbau.

Quelle: (Statistik Austria, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, 2020)

Die Branche Maschinenbau zeigt seit 2005 einen steigenden Trend im Bereich der Wertschöpfung, des Produktionswertes und des Produktionsindex (Abbildung 1). Nach dem Anstieg zwischen 2005 und 2008 kam es, im Zuge

der globalen Finanzkrise, zu einem Rückgang in der Produktion in den Folgejahren. Dieser Rückgang erholte sich jedoch ab 2011 wieder. Besonders starker Zuwächse zeigte der Produktionswert zwischen 2014 und 2018.

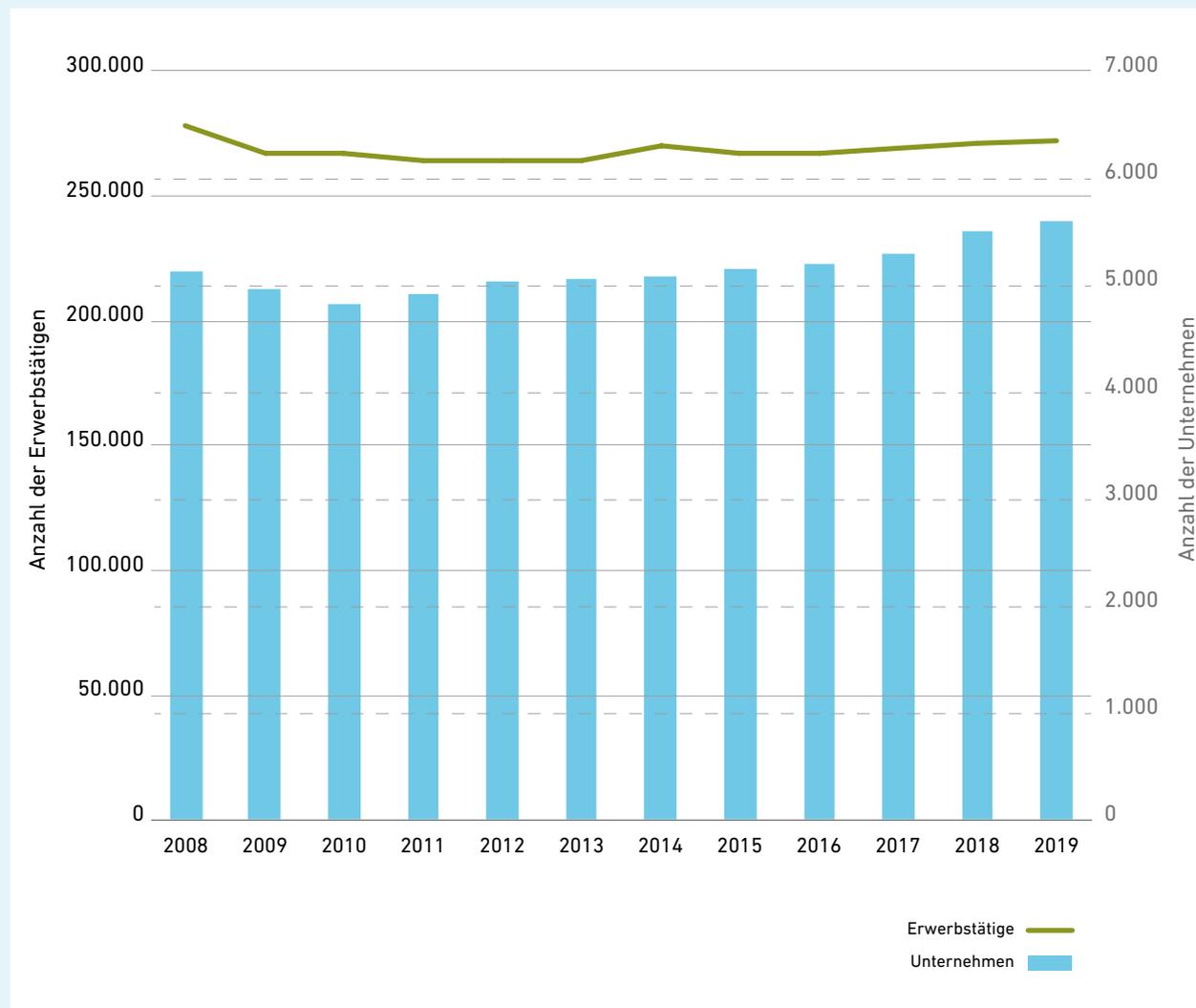


Abbildung 2
Entwicklungen Erwerbstätige & Unternehmen Branche Maschinenbau,
Quelle: (Statistik Austria, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, 2020)

Seit 2010 hat die Branche Maschinenbau eine stetig wachsende Zahl an Erwerbstätigen (Abbildung 2), die Anzahl der Unternehmen entwickelte sich seit 2008 wechselhaft. Auf einen Rückgang zwischen 2008 und 2011 folgte eine weitgehende Stagnation, bis die Zahl 2014 wieder anstieg.

Aus dem Energieeinsatz in Abbildung 3 ist eine deutliche Reduktion nach 2012 sichtbar. Dieser Einbruch ging auch mit einer Reduktion des Einsatzes von Gas,

Öl und Erneuerbaren einher. Nach 2013 wuchs der Energieeinsatz wieder an, besonders der Anteil an Strom stieg nach 2013. Im Vergleich zu den anderen Energiemengen blieben die eingesetzten Energiemengen bei der Fernwärme seit 2008 relativ stabil. Die ungewöhnliche hohe Veränderung des Energieeinsatzes zwischen 2012 und 2013 ist – nach Rücksprache mit der Statistik Austria – vermutlich auf eine Umstellung der Erhebungsmethode im produzierenden Bereich zurückzuführen und wird von Seiten der Statistik Austria geprüft.

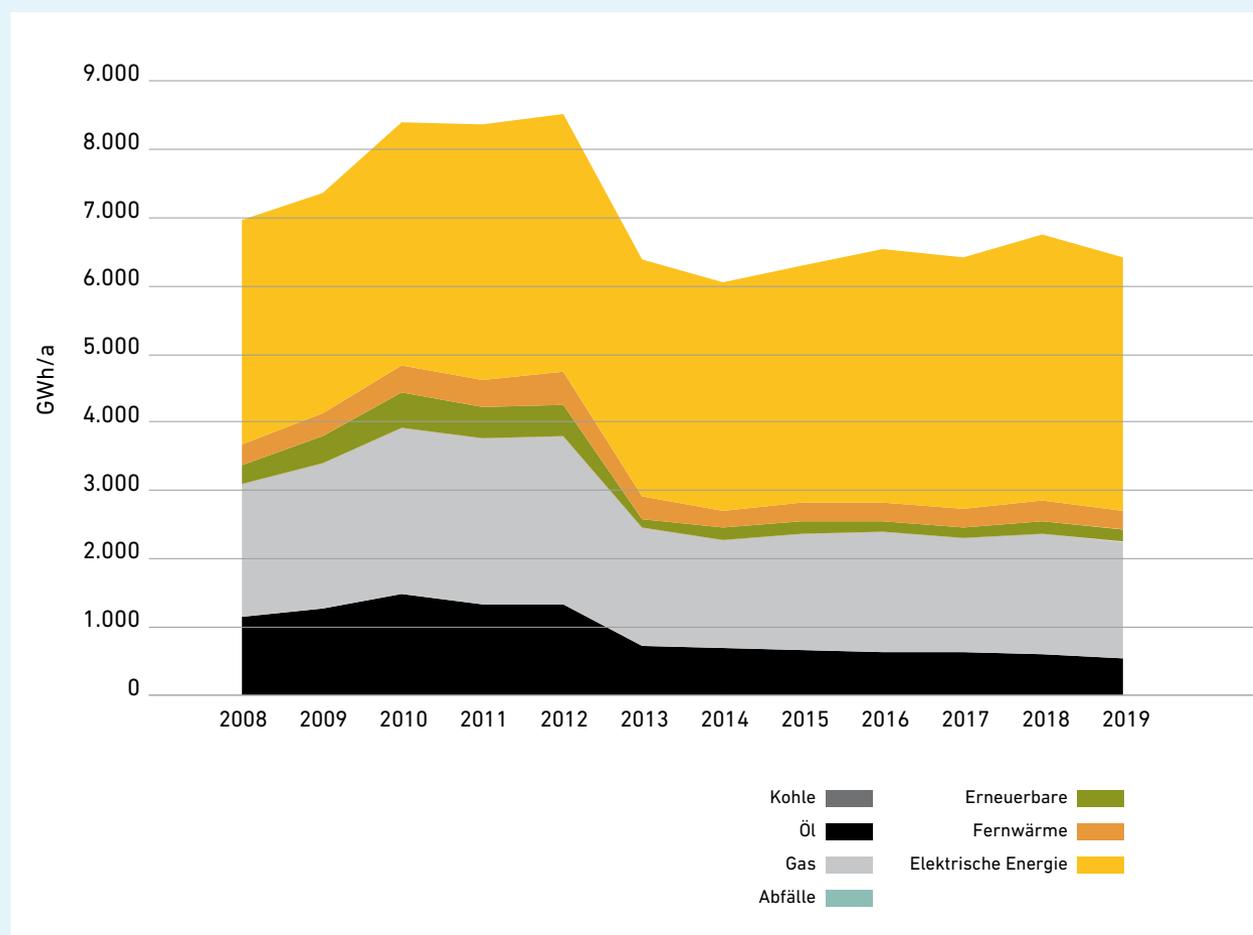


Abbildung 3

Energieeinsatz Branche Maschinenbau,

Quelle: (Statistik Austria, Energiegesamtrechnung, 2020)

Die Treibhausgasemissionen in der Branche Maschinenbau sind überwiegend auf den Einsatz von Gas und elektrischer Energie zurückzuführen, diese hatten einen Anteil von rund 80% an den gesamten Emissionen der Branche über die Jahre hinweg (Abbildung 4). Die Emissionen durch den Einsatz von Öl nahmen seit 2010 deutlich ab, im Jahr 2019 betrug deren Anteil noch knapp 10% an den Gesamtemissionen der Branche.

Die Branche Maschinenbau war 2019 für knapp 4% der gesamten Treibhausgasemissionen des produzierenden Bereichs verantwortlich, an den gesamtösterreichischen Emissionen hatte die Branche einen Anteil von knapp 0,5%.

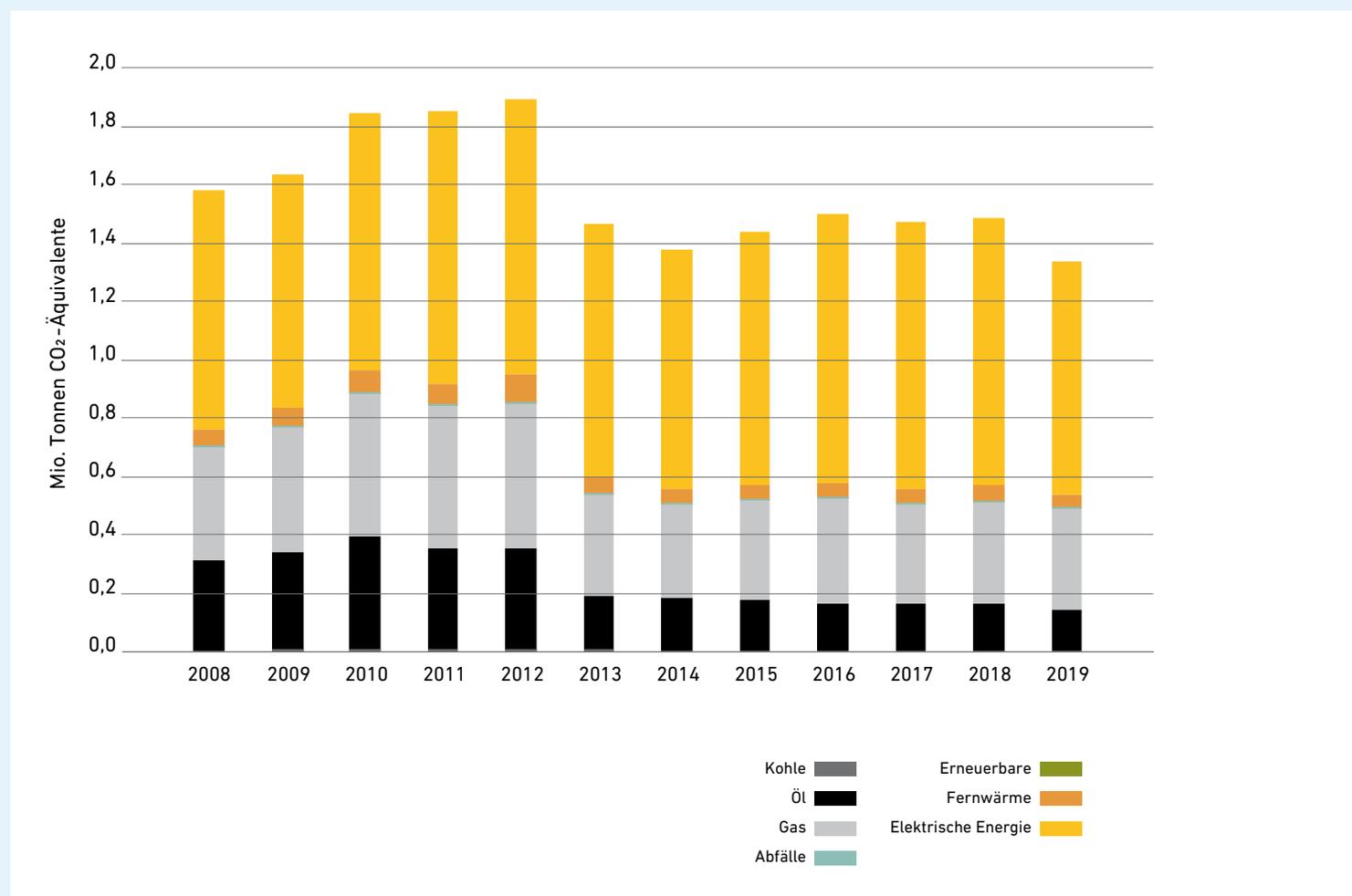


Abbildung 4

Treibhausgasemissionen Branche Maschinenbau.

Quelle: (Statistik Austria, Energiegesamtrechnung, 2020).

NEFI, eigene Berechnungen

2.0 Transformationspfade

Die Erkenntnisse zur Transformation vom Status Quo zur Klimaneutralität in der Branche Maschinenbau wurden mit einem mehrstufigen Ansatz gewonnen. Zuerst wurden ausgehend vom Energieeinsatz 2020, zukünftig eingesetzte Energieträger und -mengen für unterschiedliche Entwicklungspfade in Fünfjahresschritten bis 2040 in vier Szenarien modelliert, vgl. Abschnitt 2.1. Ein Überblick zu den Entwicklungspfaden wird im folgenden Abschnitt gegeben, Details zu den Annahmen für die ausgearbeiteten Szenarien finden sich im Gesamtbericht wieder. Schlussendlich wurden aus den gesammelten Ergebnissen die branchenspezifischen Schlüsseltechnologien identifiziert und weitere Handlungsempfehlungen abgeleitet, vgl. Abschnitt 2.3 bzw. 2.4.

Für die Branche Maschinenbau lässt sich festhalten, dass folgende Energieträger zur zukünftig klimaneutralen Energieversorgung beitragen werden:

- Elektrizität,
- Erneuerbares Gas,
- Fernwärme sowie
- Biomasse und zu kleinen Teilen
- Abwärme bzw. Umgebungswärme.

Nach Analyse der volkswirtschaftlichen Effekte der unterschiedlichen Entwicklungspfade für die gesamte Industrie, aber auch der Investitionsbedarf und Energieträger für die Branche selbst, tragen primär die folgenden Maßnahmengruppen zur Zielerreichung einer gesamtheitlich und nachhaltig positiven Transformation bei:

- **Effizienzsteigerung** zur Reduktion des Primärenergieeinsatzes bspw. durch gesteigerte Recyclingraten, Wärmerückgewinnung, Elektrifizierung und Einsatz von industriellen Wärmepumpen

- **Energieträgerwechsel** von fossilen flüssigen und gasförmigen Brennstoffen zu biogenen Brennstoffen für Hochtemperaturprozesse oder Elektrifizierung von Prozessen
- **Kaskadische Nutzung und Maximierung der potenziellen Wertschöpfung von Energieträgern**, um den Importbedarf für Energie und Grundstoffe zu reduzieren. Beispiele dafür sind u. a. die kaskadische Nutzung von Grundstoffen (stoffliche Nutzung vor energetischer Nutzung) oder aber auch der branchenübergreifende Austausch von Energieträgern angepasst an die erzielbare Verbrennungstemperatur, bzw. den Bedarf von Produktionsprozessen.

2.1 Zusammenfassung der branchenspezifischen Szenarien-Ergebnisse für die eingesetzten Energieträger

Der zukünftige Energiebedarf sowie die eingesetzten Energieträger in der Branche Maschinenbau wurde mit der Kombination eines Bottom-Up und Top-Down-Ansatzes abgeschätzt. Basierend auf den bisherigen Entwicklungen der Nutzung von Energie und unter der Annahme klimaneutraler Energiebereitstellung bis 2040 wurde in vier Szenarien bzw. Entwicklungspfaden ermittelt, wie sich der Bedarf an klimaneutralen Energieträgern innerhalb der Branche entwickelt¹. Diese vier Szenarien bilden dabei verschiedene Ansätze und Trends ab, wie die Klimaneutralität in der Industrie erreicht werden kann. Allen Szenarien gemein ist die Annahme einer konstant moderaten Wirtschaftsentwicklung bei gleichbleibenden Erzeugungsmengen von Grundstoffen. Die Annahmen und Entwicklungspfade der einzelnen Szenarien werden in der folgenden Diskussion der Ergebnisse für die Branche kurz dargestellt.

¹ Die Erzeugung der eingesetzten Endenergieträger und dabei anfallende Emissionen, die dem Sektor Energie zuzuordnen sind, werden in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse für die vier Szenarien im Vergleich zum Status Quo Basisjahr 2020, werden für die Jahre 2025, 2030, 2035 und 2040 und für die eingesetzten Energieträger in Abbildung 5 dargestellt. Es lässt sich langfristig für 2040 ein Trend für die Branche erkennen: der Einsatz von erneuerbarem Gas und elektrischem Strom, wird

für die Energiebereitstellung in der Branche maßgeblich sein. Weitere kleine Beiträge werden durch Fernwärme, Biomasse bzw. Abwärme und Umgebungswärme bereitgestellt. Die folgende Beschreibung behandelt vorrangig das betrachtete Zieljahr 2040.

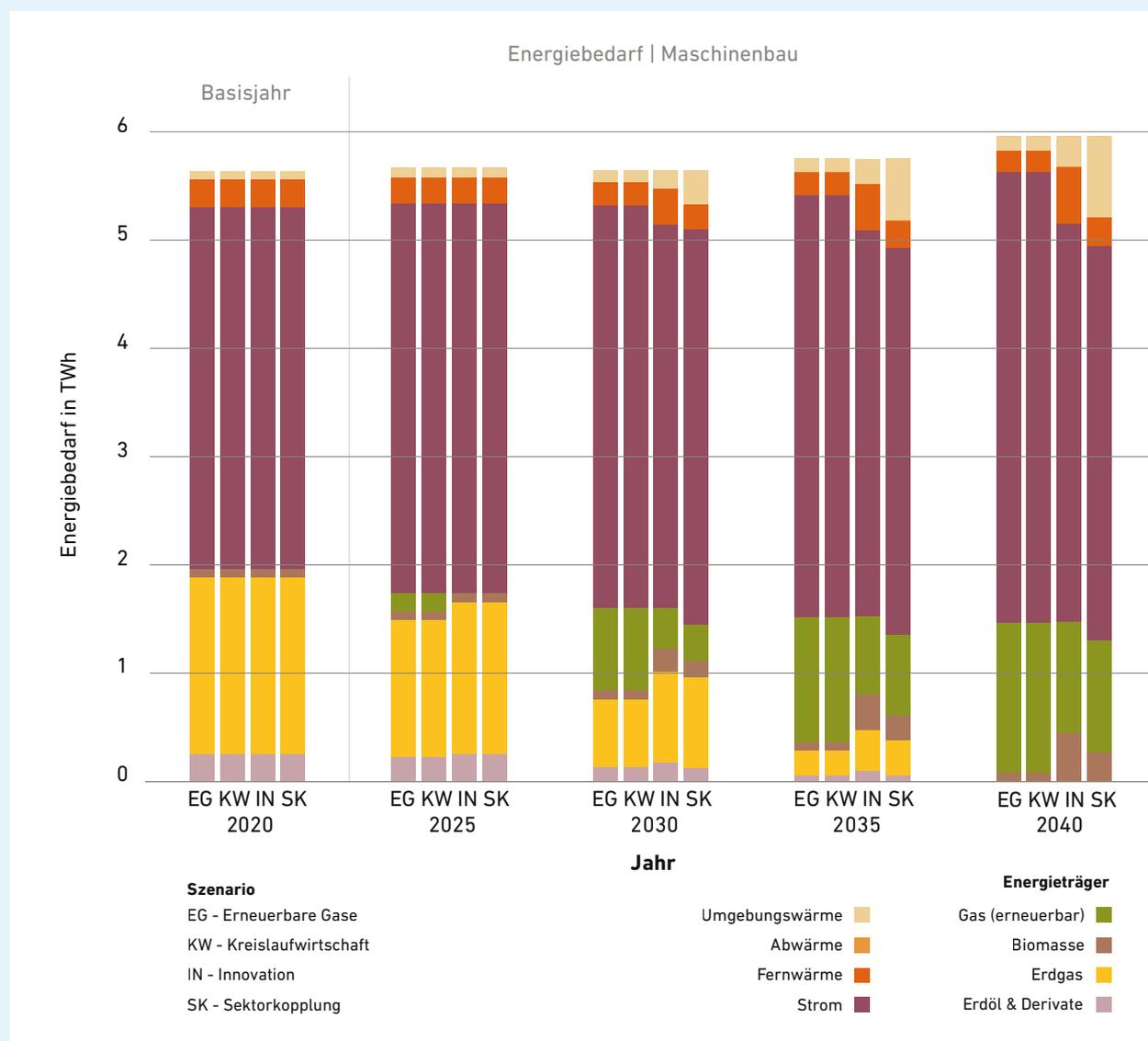


Abbildung 5
Energieverbrauch der Branche gegliedert nach Energieträgern für den Status Quo 2020 und je Szenario für die Jahre 2025, 2030, 2035, 2040.

Im Szenario Erneuerbare Gase (EG) erfolgt die Substitution fossiler Energieträger durch den Einsatz erneuerbarer Gase (CH₄ aus biogenen Ressourcen). Darauf aufbauend wird im Szenario Kreislaufwirtschaft (KW) angenommen, dass durch forciertes Recycling in einigen Branchen die Primärstoffherstellung effizienter wird. Für die Branche Maschinenbau ergeben sich keine Unterschiede zwischen diesen zwei Szenarien. Unterschiede sind hier vor allem in den Branchen Steine, Erden, Glas oder Eisen und Stahl ersichtlich.

Das Szenario Innovation (IN) nimmt an, dass durch innovative Technologien die Nutzung von brancheninternen Abwärmepotenzialen verbessert und damit der Verbrauch von konventionellen Energieträgern reduziert werden kann. Für die Branche Maschinenbau ergibt sich dadurch eine leicht erhöhte Elektrifizierung der Wärmebereitstellung mit Wärmepumpen für unterschiedliche Temperaturen. Im Szenario Sektorkopplung (SK) wird vertiefend zum Szenario Innovation zusätzlicher standort-übergreifender Austausch von Energieträgern angenommen. Abwärme aber auch hochexergetische² Energieträger werden über Standortgrenzen hinweg, gemäß optimalem exergetischen Einsatz, verwendet. Für die Branche Maschinenbau bedeutet das, dass im Vergleich zum Szenario Innovation weniger biogene Energieträger wie Biomasse eingesetzt werden, und mehr Abwärmequellen für Wärmepumpen, mitunter über Betriebsgrenzen hinweg erschlossen werden müssen.

Es lässt sich festhalten, dass steigende Elektrifizierung von Prozess- und Raumwärme zu abnehmendem Erdgasverbrauch und steigendem Strombedarf in der Branche führen. Szenario-abhängig ist der Anteil der Elektrifizierung oder jener des Energieträgerwechsels auf erneuerbares Gas (leitungsgelbunden) höher. Umgebungswärme, mittels Wärmepumpen nutzbar gemacht und Abwärme, teils direkt, teils auch durch Wärmepumpen angehoben stellt eine wesentliche zusätzliche Energiequelle dar. Deutlich ist in allen Szenarien der gesteigerte Strombedarf.

Die Erkenntnisse aus der Modellierung zeigen, wie in Abbildung 6 dargestellt, dass die eingesetzten Energieträger Elektrizität und erneuerbares Gas große, Szenario-unabhängige Anteile des Energieträgermixes aufweisen. Dazu wird in Abbildung 6 zunächst die Schnittmenge jenes Energieträgermixes gezeigt, der für alle vier Szenarien für 2040 sowie mit der aktuellen Energiebereitstellung (Jahr 2020) ident ist. Diese Darstellung soll verdeutlichen, welche Varianzen aber auch Gemeinsamkeiten die vier Szenarien erzeugen bzw. haben. **Aus dem Anteil der Schnittmenge (die ersten zwei Balken für 2020 mit den Szenarioergebnissen 2040 bis für die Szenarioergebnisse 2040) lässt sich die Robustheit von gesetzten Maßnahmen ablesen.**

Es ist mit hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass der hier dargestellte Energieträgermix in der Branche eingesetzt werden wird. Die residuale Energiemenge, deren Mix keine Überschneidung mit den weiteren Ergebnissen hat, ist in weiß dargestellt. Die Schnittmenge des Energieträgermixes, die in der ersten Säule zu sehen ist, setzt sich vorrangig aus Strom und einem geringen Anteil an Fernwärme und Umgebungswärme zusammen. Im Vergleich zum Gesamtenergiebedarf 2020 aber auch 2040 beträgt sie über 50%. Über diese Schnittmenge hinaus, die ab der zweiten Säule in dunkelgrau dargestellt ist, gibt es Schnittmengen aller vier Pfade für das analysierte Zieljahr 2040. Diese weitere Schnittmenge setzt sich vorrangig aus erneuerbarem Gas und Strom zusammen. Im Vergleich zum Gesamtenergiebedarf 2040 ist sie mit mehr als 80% bereits hoch. Der residuale Energiebedarf ohne Schnittmenge des Energieträgermixes ist in weiß dargestellt. Darüber hinaus werden zusätzlich die mitunter weiteren Energieträger für die vier Szenarien dargestellt (Säule drei bis sechs). Je nach Entwicklungspfad, ergeben sich zwei unterschiedliche Möglichkeiten, den übrigen Anteil (<20%) zu decken. Zum einen können größere Mengen an erneuerbarem Gas und Strom eingesetzt werden. Zum anderen ist eine verstärkte Elektrifizierung mittels Wärmepumpen (Abwärmennutzung) und der Einsatz von Biomasse als Trend zu erkennen.

² Exergie ist jener Teil der Energie der vollständig in jede andere Energieform umgewandelt werden kann, wie bspw. in technische Arbeit oder Hochtemperaturwärme beim reversiblen Übergang vom Anfangszustand in die Umgebungsbedingungen.

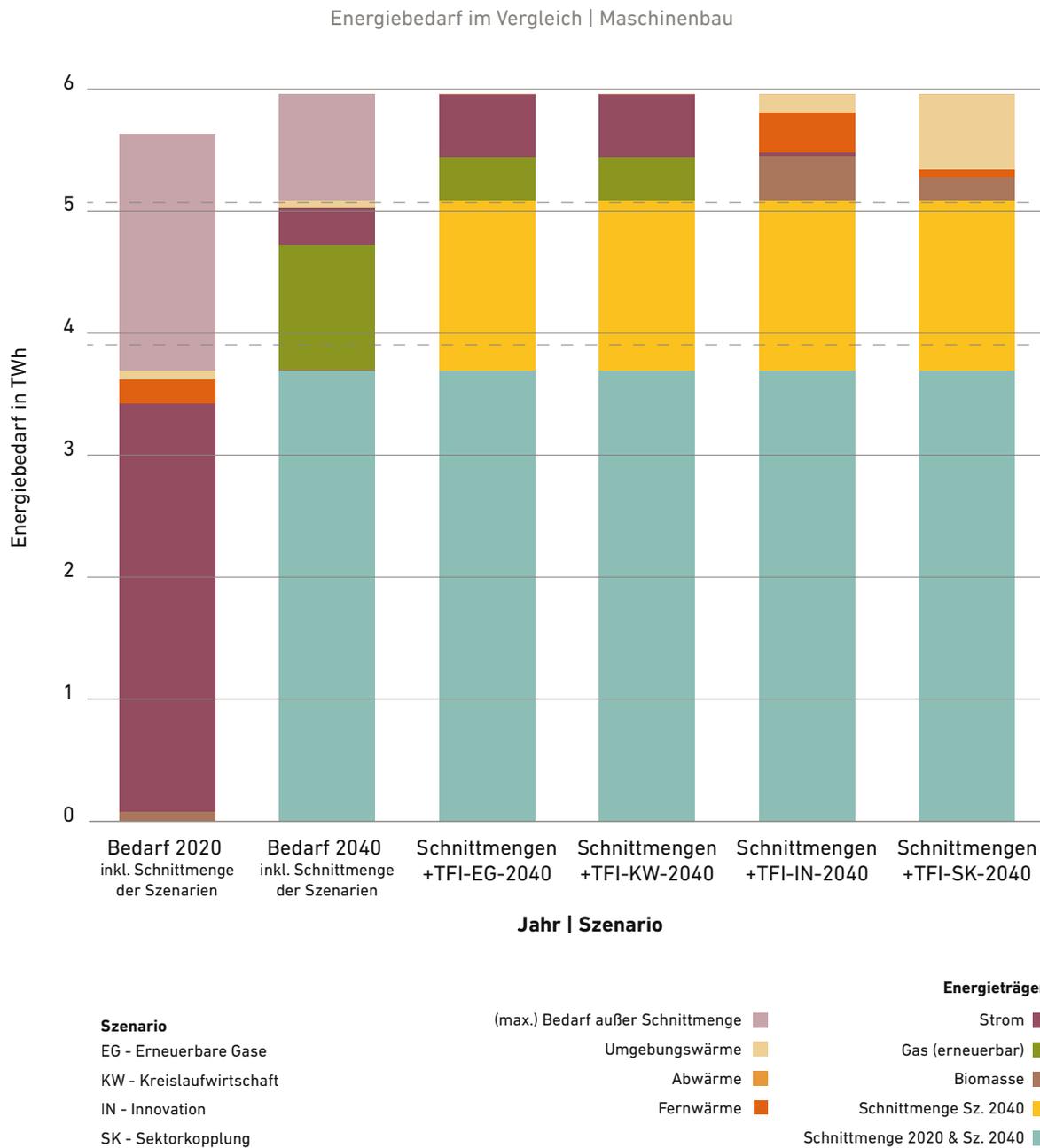


Abbildung 6
 Vergleich der Schnittmengen und Unterschiede des eingesetzten Energieträgermixes gemäß Modellergebnis

Die relativen Anteile der Nutzenergiesegmente aber auch deren absolute Energiemengen, die proportional zum Produktionsindex, vgl. Abbildung 1 sind, ändern sich in der Branche Maschinenbau wenig. Dieses Ergebnis wird

in Abbildung 7 visualisiert. Die Anwendungskategorie mit dem größten Nutzenergieverbrauch in der Branche Maschinenbau sind Standmotoren, gefolgt von Raumwärme und -kühlung sowie Prozesswärme > 200 °C.

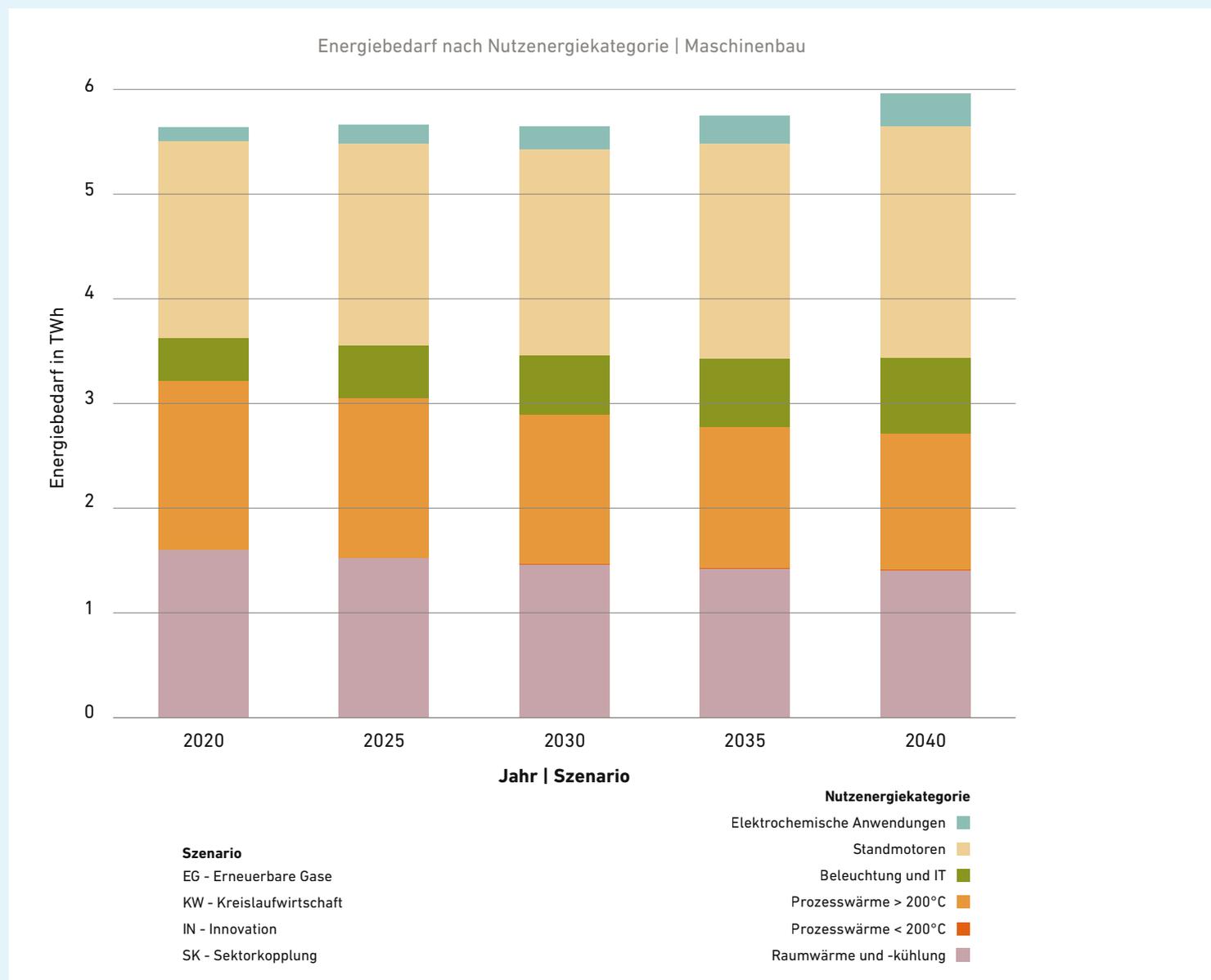


Abbildung 7
Energieverbrauch der Branche gegliedert nach Nutzenergie
für den Status Quo 2020 für die Jahre 2025, 2030, 2035, 2040.

2.2 Investitionsbedarfe und potenzielle

Stranded Assets³

Die in den Leistungs- und Strukturdaten der Statistik Austria erfassten Gesamtinvestitionen in der Branche Maschinenbau lagen in den Jahren 2008–2020 bei **durchschnittlich 2113 Mio. € pro Jahr mit kontinuierlicher Zunahme ab 2013. Davon entfielen durchschnittlich 91 % auf Investitionen in Sachanlagen.** Bei Beibehalten aktueller Prozessketten und entsprechender Fortschreibung dieser Investitionszyklen würde sich damit ein Gesamtvolumen an Investitionen in Sachanlagen von 15,4 Mrd. € bis 2030 bzw. 34,5 Mrd. € bis 2040 ergeben. **Im Vergleich dazu betragen die ermittelten Investitionskosten für die Transformation, die in erster Linie die Bereitstellung von Raumwärme betreffen, je nach Szenario, bis zu 35 Mio. € pro Jahr** bzw. in Summe bis zu 427 Mio. € bis 2040 (siehe Abbildung 8). Davon betreffen rd. 50 % direkte Investitionen für Equipment, der Rest bezieht sich auf indirekte Investition, wie z. B. Engineering, periphere Komponenten, oder Bautätigkeiten.

Ein Großteil der in der Branche Maschinenbau, die als nicht-energieintensive Branche gilt, anfallenden Emissionen entfällt auf den Einsatz elektrischer Energie für Standmotoren, Beleuchtung und EDV, Raumheizungen und Klimaanlage, sowie Prozesswärme. Im Zuge der Transformation zur Klimaneutralität der Branche werden hierfür folglich keine nennenswerten Stranded Assets erwartet, die der Industriebranche direkt zugeordnet werden können.

Zweiter wesentlicher Aspekt für die Reduktion von Treibhausgas-Emissionen der Branche ist der Einsatz von Erdgas für die Bereitstellung von Raumwärme und Prozesswärme > 200 °C. Potenzielle Stranded Assets sind hier in erster Linie von den eingesetzten Technologien (Wärmepumpen, erneuerbare Brennstoffe) abhängig. Für diese Branche ergeben sich jedoch keine stark gegenläufigen Trends für die verschiedenen Entwicklungspfade, vgl. Abschnitt 2.1. Wenngleich für die Bereitstellung von Prozesswärme > 200 °C aufgrund begrenzter Alternativen zu Gas- oder Festbrennstoffkesseln nicht von signifikanten Stranded Assets auszugehen ist, ist eine weitgehende (effiziente) Elektrifizierung, über Wärmepumpen oder direkt, wo möglich vorzuziehen. Dies gilt insbesondere aufgrund begrenzter Verfügbarkeit an erneuerbaren Brennstoffen und damit verbundenen deutlich höheren Energiekosten für erneuerbare Gase.

³ Stranded Assets bezeichnen Investitionsgüter, die einen unerwartet hohen Wertverlust haben und vorzeitig abgeschrieben werden müssen



Abbildung 8
Notwendiger Investitionsbedarf für die Transformation
(Bandbreite aus den Szenarien) in der Branche Maschinenbau

2.3 Branchenspezifische Schlüsseltechnologien

Die in den Entwicklungspfaden berücksichtigten Maßnahmen für die unterschiedlichen Nutzenergiekategorien (Anwendungsbereiche) wurden in zusammengefasst und hinsichtlich folgender Kriterien verglichen:

- Emissionsreduktions-Potenzial in der Branche (hier werden Anwendungsgebiete mit geringem Energiebedarf als niedriger eingeschätzt im Vergleich zu Anwendungsbereich mit hohem Energiebedarf)
- Investitionsbedarf bzw. Energiekosten im Vgl. zu Alternativen für den Anwendungsbereich (hier werden die spezifischen Investitionskosten sowie Energieträgerkosten für die Technologien und Maßnahmen herangezogen),
- Primärenergiereduktions-Potenzial (hier werden Effizienzverbesserungen im Vergleich zum Status Quo berücksichtigt) und

- Reifegrad der Maßnahme (hier wird berücksichtigt, auf welchem Teil der Skala zwischen vor-marktreif (noch in Entwicklung) und etabliert (Serienprodukt) sich die Technologie oder Maßnahme befindet).

Aus diesen Kriterien wurde unter Berücksichtigung der Analyse der volkswirtschaftlichen Effekte für die gesamte Industrie eine Bewertung jeder Maßnahme für die Branche vorgenommen. Die Bewertungsmöglichkeiten waren „empfehlenswert“, „bedingt empfehlenswert“ und „nicht empfehlenswert“. Maßnahmen, die für die Branche als „(bedingt) empfehlenswert“ eingestuft worden sind in den folgenden zwei Tabellen dargestellt. „Nicht empfehlenswerte“ Maßnahmen für die Branche sind im Folgenden nicht dargestellt.

Anwendungsbereich	Kurzbezeichnung Maßnahme	Emissionsreduktionspotenzial in der Branche bzw. branchenübergreifend (hoch, mittel, niedrig)	Invest-Bedarf in Relationen zu Alternativen im Anwendungsbereich (preiswert, mittel, teuer)	Energiekosten in Relation zu Alternativen im Anwendungsbereich (preiswert, mittel, teuer)	Primärenergie-reduktionspotenzial in Relation zu Alternativen im Anwendungsbereich (hoch, mittel, niedrig)	Reifegrad (vor-marktreif, marktreif, marktverfügbar, etabliert)	Klassifikation der Maßnahme (empfehlenswert, bedingt empfehlenswert, nicht empfehlenswert)
Anwendungsübergreifend	Reduktion Primärenergiebedarf (Effizienz und Kreislaufwirtschaft)	Mittel	Mittel	Preiswert	Mittel	Vor-marktreif/ Marktverfügbar	Empfehlenswert
Raumwärme	Integration Wärmepumpen – Nutzung Umgebungswärme oder industrielle Abwärme (standort-intern oder -übergreifend)	Hoch	Teuer	Mittel	Mittel	Marktverfügbar	Empfehlenswert
	Direkte Wärmerückgewinnung (standortintern oder -übergreifend)	Hoch	Preiswert	Preiswert	Mittel	Marktverfügbar	Empfehlenswert
	Geothermie	Hoch	Teuer	Preiswert	Mittel	Marktreif	Bedingt empfehlenswert
	Erhalt/Ersatz der Bestandsstruktur und Energieträgerwechsel für fossile Brennstoffe (erneuerbare Gase – grüner H ₂ /erneuerbares CH ₄)	Hoch	Preiswert	Teuer	Niedrig	Etabliert	Bedingt empfehlenswert
	Einsatz Fernwärme	Hoch	Mittel	Teuer	Mittel	Etabliert	Bedingt empfehlenswert
Prozesswärme < 200 °C	Erhalt/Ersatz der Bestandsstruktur bzw. Neuanlagen und Energieträgerwechsel für fossile Brennstoffe (erneuerbare Gase – grüner H ₂ /erneuerbares CH ₄)	Niedrig	Preiswert	Teuer	Niedrig	Etabliert	Bedingt empfehlenswert
	Erhalt Bestandsstruktur bzw. Neuanlagen für feste Brennstoffe wie Biomasse oder Ersatzbrennstoffe	Niedrig	Preiswert	Mittel	Niedrig	Etabliert	Bedingt empfehlenswert
	Elektrifizierung bzw. Integration Hochtemperatur-Wärmepumpe	Niedrig	Teuer	Mittel	Hoch	Vor-marktreif	Empfehlenswert
	Branchen-übergreifende direkte Abwärmenutzung	Niedrig	Mittel	Preiswert	Hoch	Marktverfügbar	Empfehlenswert



Anwendungsbereich	Kurzbezeichnung Maßnahme	Emissionsreduktionspotenzial in der Branche bzw. branchenübergreifend (hoch, mittel, niedrig)	Invest-Bedarf in Relationen zu Alternativen im Anwendungsbereich (preiswert, mittel, teuer)	Energiekosten in Relation zu Alternativen im Anwendungsbereich (preiswert, mittel, teuer)	Primärenergie-reduktionspotenzial in Relation zu Alternativen im Anwendungsbereich (hoch, mittel, niedrig)	Reifegrad (vor-marktreif, marktreif, marktverfügbar, etabliert)	Klassifikation der Maßnahme (empfehlenswert, bedingt empfehlenswert, nicht empfehlenswert)
Prozesswärme > 200 °C	Erhalt/Ersatz der Bestandsstruktur bzw. Neuanlagen und Energieträgerwechsel für fossile Brennstoffe (erneuerbare Gase – grüner H ₂ /erneuerbares CH ₄)	Hoch	Preiswert	Teuer	Niedrig	Etabliert	Empfehlenswert
	Erhalt Bestandsstruktur bzw. Neuanlagen für feste Brennstoffe wie Biomasse oder Ersatzbrennstoffe	Hoch	Preiswert	Mittel	Niedrig	Etabliert	Empfehlenswert
	Elektrifizierung der Prozesswärmebereitstellung < 1000 °C	Hoch	Mittel	Teuer	Hoch	Marktverfügbar	Empfehlenswert
Standmotoren	Selbstfahrende Arbeitsmaschinen: Ersatz von Dieselantrieben durch batteriebetriebene elektrische Antriebe	Niedrig	Teuer	Mittel	Mittel	Marktreif	Bedingt empfehlenswert
	Selbstfahrende Arbeitsmaschinen: Ersatz von Dieselantrieben durch brennstoffzellenbetriebene elektrische Antriebe	Niedrig	Teuer	Mittel	Niedrig	Vor-marktreif	Bedingt empfehlenswert

Tabelle 1
Branchenspezifische Schlüsseltechnologien
für den Sektor Maschinenbau

Die folgenden Abschnitte fokussieren auf die wichtigsten Technologien – die sogenannten **No-regret-Technologien – der Branche**. Als solche wurden Technologien bewertet, welche mindestens zwei der folgenden drei Kriterien erfüllen:

1. Basierend auf der Analyse der Szenarien bzw. der Kriterien in Tabelle 1, als empfehlenswert und somit in Summe als **volkswirtschaftlich vorteilhaft** eingestuft
2. Die Maßnahme hat ein für die Branche **erhebliches Potenzial zur Emissionsminderung** (vgl. Spalte 3 in Tabelle 1).

3. Die Maßnahme kann durch **verbesserte (Energie-) Effizienz** einen positiven Wertschöpfungseffekt in der Branche erzielen und ist somit über mehrere Entwicklungspfade hinweg empfehlenswert (vgl. hohes Primärenergiereduktions-Potenzial Spalte 6 in Tabelle 1).

Daraus abgeleitet werden Maßnahmen wie z. B. der Einsatz erneuerbarer Brennstoffe, Elektrifizierung allgemein und Wärmepumpen bzw. Wärmerückgewinnung für Raum- und Prozesswärme, in diesem Abschnitt detailliert behandelt. Auch anwendungsübergreifende Effizienzmaßnahmen werden beschrieben.

Technologien zur Prozesswärmebereitstellung mit hohem Dekarbonisierungspotenzial

Kriterium	Beschreibung: Elektrifizierung zur Prozesswärmebereitstellung
Relevanz für die Branche Maschinenbau	In der Branche Maschinenbau kann die Bereitstellung der Prozesswärme auch über die Elektrifizierung von Industrieöfen oder elektrischen Heizelementen erfolgen. Das Dekarbonisierungspotenzial sowie auch die technische Machbarkeit , bspw. elektrische Heizelemente in Öfen oder zur Thermalölerwärmung sind als hoch eingestuft .
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Reduktion Primärenergie – Reduktion Abgasvolumina – Keine Stickoxidzunahme
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Risiko für Produktqualität mitunter durch Sauerstoff-Atmosphäre
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> – Elektrische Anschlussleistung am Standort muss entsprechend gegeben sein – Bei hohen Anschlussleistungen Risiko für Ausgleichsenergiekosten – Für vollständige Dekarbonisierung ist eine dekarbonisierte elektrische Energiebereitstellung Voraussetzung – Substitution in Bestandsanlagen ist nur bedingt möglich und muss für Einzelfälle geprüft werden – Für Widerstandsheizungen kann der Flächenbedarf stark zunehmen – Zunehmende technische Herausforderungen bei höheren Temperaturen über 1000 °C
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Technology-Readiness-Level: 9

Tabelle 2

Schlüsseltechnologie Elektrifizierung zur Prozesswärmebereitstellung: Eigenschaften der Technologie

Kriterium	Beschreibung: Energieträgerwechsel (gasförmig) zur Prozesswärmebereitstellung
Relevanz für die Branche Maschinenbau	In der Branche Maschinenbau werden mehr als 30 % der benötigten Energie für Prozesse zwischen 200 und 500 °C eingesetzt, wodurch die Auswirkung auf eine Dekarbonisierung hoch ist. Die Relevanz dieser Maßnahme, Verbrennung erneuerbarer Gase in entsprechenden Feuerungsanlagen, ist je nach Entwicklungspfad hoch bis sehr hoch . Nach Prozessoptimierungen und damit einhergehende Temperatursenkungen wird jedoch die Elektrifizierung in Kombination mit Wärmerückgewinnung als vorteilhaft gesehen. Wird keine Elektrifizierung umgesetzt, liefern gasförmige Brennstoffe den größten Beitrag für den Transformationsprozesses .
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Nutzung bestehender Anlagen und Infrastruktur, vor allem für den Einsatz von Methan biogenen Ursprungs – Energieträger zum Teil im Inland verfügbar
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Hoher Bedarf an erneuerbaren Gasen – Energieträger möglicherweise nicht in ausreichender Menge im Inland verfügbar – Vergleichsweise hohe Energieträgerkosten – Verbrennungstemperaturen steigen bei hohem Wasserstoffgehalt im Brennstoff, wodurch die Stickoxidemissionen ohne nachfolgende Reinigung zunehmen – Bei steigendem Wasserstoffgehalt nehmen die Volumina zu – Umrüstung von Bestandsanlagen bei Wasserstoffeinsatz mitunter notwendig
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> – Verfügbarkeit erneuerbarer Gase, inkl. Importkapazitäten – Einsetzbarkeit von Gas mit hohem Wasserstoff-Anteil bzw. reinem Wasserstoff – Ersatz der Brenner in Bestandsanlagen – Technische Rahmenbedingungen der Lieferinfrastruktur (Gasnetz) müssen gegeben sein
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Technology-Readiness-Level: 9 – Bei Wasserstoffeinsatz: Abgasnachbehandlung möglicherweise erforderlich

Tabelle 3

Schlüsseltechnologie Feuerung für gasförmige Energieträger
für Prozesswärmebereitstellung: Eigenschaften der Technologie

Kriterium	Beschreibung: Wärmepumpe zur Prozesswärmebereitstellung
Relevanz für die Branche Maschinenbau	Prozesswärme unter 200 °C in der Branche Maschinenbau liegt mitunter als Dampf vor. Bei einigen Prozessen fällt Abwärme (feuchter Luft, Abwasser, etc.) an. Das Nutzen von Abwärmeströmen als Quelle für Wärmepumpen bietet sich an. Kombinationen aus Wärmepumpen und Dampfverdichtern bieten hohes Anwendungspotenzial für Prozessbedarfe bis 200 °C. Die Technologie der Wärmepumpen kann bei entsprechender Entwicklung in den nächsten Jahren einen kleinen Beitrag zur Dekarbonisierung in der Branche liefern und ist aus Effizienz- und Exergieperspektive als empfehlenswert eingestuft .
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Abwärmenutzung und dadurch weniger Primärenergieeinsatz bei gleichzeitiger Dekarbonisierung der Stromversorgung möglich – Erhöhung der Energieeffizienz – Kosteneinsparungen und schnelle Amortisationszeiten bei großer Abwärmemenge möglich – Weitere Leistungszahl- und Dampftemperatursteigerung durch Konfigurationen mit Dampfverdichtern möglich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Hohe initiale Investitionen gegenüber Alternativtechnologien – Status Quo (2023): Geringe laufende Einsparung durch aktuelles Preisverhältnis Strom vs. Erdgas (überwiegend eingesetzter Brennstoff zur Wärmeerzeugung) – Bei hohen Temperaturdifferenzen zwischen Abwärme (Quelle) und Wärmenutzung sinkt die Leistungszahl
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> – Komplexität gegenüber konventionellen Technologien höher – Bisher keine Pilot- und Demoanlagen zur Dampferzeugung – Amortisationszeit stark von Verhältnis Strom- zu Gaspreis abhängig bzw. von weiteren Energiepreisen. – Abwärme muss gleichzeitig und in ausreichender Menge vorhanden sein, wenn Prozesswärme benötigt wird. – Örtliche Nähe zwischen Wärmequelle und Prozesswärme notwendig, um Wärmeverluste und hohe Installationskosten für Verrohrung zu vermeiden.
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Technology-Readiness-Level: 6–8 für geschlossene Wärmepumpen (IEA, 2022) – Technology-Readiness-Level: 8–9 für Dampfverdichter (IEA, 2022) – Heterogene Anwendungsfälle mit starkem Einfluss der Konfiguration auf die Wirtschaftlichkeit, was eine Standardisierung für verkaufte Anlagen erschwert – Elektrische Anschlussleistung am Standort muss entsprechend gegeben sein – Anforderungsanalyse hinsichtlich Temperaturen, Verluste und Effizienz hat einen maßgeblichen Einfluss auf Wirtschaftlichkeit – Für vollständige Dekarbonisierung ist eine dekarbonisierte elektrische Energiebereitstellung Voraussetzung

Tabelle 4

Schlüsseltechnologie Wärmepumpe zur Prozesswärmebereitstellung: Eigenschaften der Technologie

Kriterium	Beschreibung: Wärmerückgewinnung zur Prozesswärmebereitstellung
Relevanz für die Branche Maschinenbau	Prozesswärme unter 200 °C in der Branche Maschinenbau liegt mitunter als Dampf vor. Das Potenzial der branchen-internen direkten Wärmerückgewinnung ist als gering einzuschätzen. Für entsprechende Standorte bzw. standortübergreifend kann jedoch direkte Wärmerückgewinnung zur Prozesswärmebereitstellung attraktiv sein. Diese Technologie kann bei entsprechenden Voraussetzungen einen Beitrag zur Dekarbonisierung in der Branche liefern und ist aus Effizienz- und Exergieperspektive als empfehlenswert eingestuft .
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Betriebskosten sehr gering (hpts. für Instandhaltung und Wartung) – Reduktion des Primärenergieeinsatzes durch Abwärmenutzung – Vergleichsweise niedrige Investitionskosten
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Räumliche Anordnung muss beachtet werden – hohe Entfernungen erschweren die Nutzung – Gleichzeitigkeit erforderlich auf verschiedenen Zeithorizonten wie zum Beispiel Minuten, Stunden, Tage oder saisonal
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> – Komplexität gegenüber konventionellen Systemen höher – Risiko sowie organisatorische Hürden bei standort-übergreifender Nutzung höher als bei Alternativen – Ohne Substitutionsmöglichkeit reduzierte Flexibilität
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Technology-Readiness-Level: 9 – Anforderungsanalyse hinsichtlich Temperaturen, Verluste und Effizienz hat einen maßgeblichen Einfluss auf Wirtschaftlichkeit – Für vollständige Dekarbonisierung ist die Nutzung dekarbonisierter Abwärmequellen erforderlich – Vertragliche Abstimmung bei standort-übergreifender Nutzung entscheidend

Tabelle 5

Schlüsseltechnologie Wärmerückgewinnung zur Prozesswärmebereitstellung: Eigenschaften der Technologie

Technologien zur Raumwärmebereitstellung und damit einhergehenden Effizienzverbesserung

Kriterium	Beschreibung: Wärmepumpe zur Raumwärmebereitstellung
Relevanz für die Branche Maschinenbau	Der Raumwärmebedarf der Branche Maschinenbau ist im Vergleich zu den weiteren Anwendungsbereichen hoch. Raumwärme wird oft durch lange bestehende Versorgungsanlagen mitversorgt, wodurch die Vorlauftemperaturen hoch für den Anwendungsfall sind. Die Technologie kann, insbesondere bei entsprechend adaptierten Heizungssystemen, einen Beitrag zur Dekarbonisierung liefern und ist aus Effizienz- und Exergieperspektive als empfehlenswert eingestuft .
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Reduktion des Primärenergieeinsatzes durch Nutzung von Abwärme oder Umgebungswärme – Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung durch gleichzeitige Dekarbonisierung der Stromversorgung möglich. – In dieser Anwendung übliche kleinere Temperaturdifferenzen zwischen Wärmequelle und Wärmesenke ermöglichen höhere Leistungszahlen und damit größere Energieeinsparung – Im Gebäudebereich etablierte Technologie
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Hohe initiale Investitionen gegenüber Alternativtechnologien, wie zum Beispiel Gaskessel oder Elektrokessel – Status Quo (2023): Geringe laufende Einsparung der Betriebskosten durch aktuelles Preisverhältnis Strom vs. Erdgas (überwiegend eingesetzter Brennstoff zur Wärmeerzeugung) – Bei Nutzung von Bestandssystemen: Hohe Temperaturdifferenzen zwischen Abwärme und Vorlauf- bzw. Warmwassertemperatur reduzieren die Leistungszahl, wodurch Betriebskosten steigen.
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> – Komplexität gegenüber konventionellen Technologien erhöht – Vorteile der Technologie nehmen bei geringen Vorlauftemperaturen zu. Ein exklusiver Tausch der Wärmeerzeuger allein ist dazu jedoch oft nicht ausreichend. – Eine Substitution des gesamten Heizungssystems ist herausfordernd, kostenintensiv bzw. kann eine Limitation für diese Technologie sein. – Saisonalität, beispielsweise Abwärme aus Kühlung gegenüber Raumwärmebedarf, kann die Nutzung erschweren
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Technology-Readiness-Level: 9 – Anforderungsanalyse hinsichtlich Temperaturen, Verluste und Effizienz hat einen maßgeblichen Einfluss auf Wirtschaftlichkeit – Für vollständige Dekarbonisierung ist eine dekarbonisierte elektrische Energiebereitstellung Voraussetzung

Tabelle 6
Schlüsseltechnologie Wärmepumpe zur Raumwärme-
bereitstellung: Eigenschaften der Technologie

Kriterium	Beschreibung: Wärmerückgewinnung zur Raumwärmebereitstellung
Relevanz für die Branche Maschinenbau	Der Raumwärmebedarf der Branche Maschinenbau ist im Vergleich zu den weiteren Anwendungsbereichen hoch. Raumwärme wird oft durch lange bestehende Versorgungsanlagen mitversorgt, wodurch die Vorlauftemperaturen hoch für den Anwendungsfall sind. Direkte Wärmerückgewinnung in bestehenden Systemen ist daher oft durch die erforderlichen Temperaturen limitiert. Die Technologie kann trotzdem, insbesondere bei entsprechend adaptierten Heizungssystemen, einen Beitrag zur Dekarbonisierung liefern und ist aus Effizienz- und Exergieperspektive als empfehlenswert eingestuft .
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Betriebskosten sehr gering, vorrangig für Instandhaltung und Wartung – Reduktion des Primärenergieeinsatzes durch Abwärmenutzung – Vergleichsweise niedrige Investitionskosten
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Räumliche Anordnung muss beachtet werden – hohe Entfernungen erschweren die Nutzung – Gleichzeitigkeit erforderlich auf verschiedenen Zeithorizonten wie zum Beispiel Minuten, Stunden, Tage oder saisonal
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> – Komplexität gegenüber konventionellen Systemen höher – Vorteile der Technologie nehmen bei geringen Vorlauftemperaturen zu. Ein exklusiver Tausch der Wärmeerzeuger allein ist dazu oft nicht ausreichend – Eine Substitution des gesamten Heizsystems ist herausfordernd bzw. oft eine Limitation für diese Technologie
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Technology-Readiness-Level: 9 – Anforderungsanalyse hinsichtlich Temperaturen, Verluste und Effizienz hat einen maßgeblichen Einfluss auf Wirtschaftlichkeit – Für vollständige Dekarbonisierung ist die Nutzung dekarbonisierter Abwärmequellen erforderlich

Tabelle 7

Schlüsseltechnologie Wärmerückgewinnung zur Raumwärmebereitstellung: Eigenschaften der Technologie

Technologien zur Verbesserung der Effizienz

Kriterium	Beschreibung: Reduktion der Primärenergie
Relevanz für die Branche Maschinenbau	(Gewachsene) Bestandsstrukturen in aktuellen Raumklimatisierungs- aber auch Prozessanlagen, können Verbesserungspotenzial bspw. hinsichtlich Vorlauftemperaturen aufweisen. Darüber hinaus stellen verbesserte und z. B. geschlossene Betriebsmittelkreisläufe, bspw. für Wasser aber auch Lösungsmittel, Verbesserungspotenziale, die zur Reduktion des Primärenergieeinsatzes führen können, dar. Maßnahmen zur Verbesserung verschiedener Anwendungsfälle können zu einer deutlichen Reduktion des Primärenergieeinsatzes führen und sind somit als empfehlenswert eingestuft .
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Kostenreduktion – Reduktion des Primärmaterial- und -energieeinsatzes
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Reicht als Einzelmaßnahme nicht für vollständige Dekarbonisierung – Erfordert bei Prozessumstellungen aber auch beim Senken von Temperaturniveaus mitunter hohe Investitionen und hohen Aufwand
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> – Erhalten der Produkteigenschaften und -qualität technisch herausfordernd – Mitunter neue Produkte und Entwicklung erforderlich – Umstellung organisatorischer Abläufe und ev. Prozesse erforderlich
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Technology-Readiness-Level: 9 – Analyse des Produktes erforderlich

Tabelle 8

Schlüsseltechnologien zur Reduktion der Primärenergie:

Eigenschaften der Technologie

2.4 Handlungsempfehlungen

Zusätzlich zu den allgemeinen Handlungsempfehlungen für die gesamte Industrie können für diese Branche folgende spezifische Empfehlungen formuliert werden:

Handlungsfeld	Empfehlungen
Förderung von Forschung und Entwicklung (F&E)	<ul style="list-style-type: none"> – Förderung von F&E für energieeffiziente, ressourcenschonende und emissionsarme Produktions- und Prozesstechnologien mit Fokus auf „grüne und digitale Transition“ (inkl. Ausbalancieren von Prozesseffizienz versus Qualitätssicherung und Sicherheitsauflagen) – Flexible Anlagen (angepasst bspw. an unterschiedliche Produkthanforderungen, an fluktuierenden Betrieb und an fluktuierende Energieträger) zur Energiebedarf Reduktion – Kooperative Einbindung der möglichen Anwender (v. a. Prozessindustrie) in die Entwicklung solcher Technologien und Anlagen (kooperative F&E-Projekte und Demonstrationsprojekte) – F&E für effiziente, ressourcen- sowie umweltschonende Betriebsmittelkreisläufe (bspw. Wasser, Lösungsmittel, etc.) – Engere Kooperation, Abstimmung und aktive Einbringung in Horizon Europe sowie in die beiden EU-Partnerschaften „Made in Europe“ und „Processes4Planet“
Anreize und Förderungen von Investitionen	<ul style="list-style-type: none"> – Erhöhung der nationalen Budgets für standortsichernde Transformationsinvestitionen – Anlagen zur internen Wärmerückgewinnung für Raum- und Prozesswärme fördern – Integration von Fernwärme oder Wärmepumpen zur Raumwärmebereitstellung fördern – Förderanreize schaffen, um das Interesse und die Motivation zu steigern, dass die Anlagenhersteller „grünere“ Anlagen und Maschinen erzeugen
Energieinfrastrukturen und Energiebereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> – Umstellung des elektrischen Energiebedarfs auf erneuerbaren Strom (und Gase), d. h. rascher und umfassender Ausbau der Kapazitäten für Energiebereitstellung (Strom) aus erneuerbarer Energie (Erzeugung und Netze)
Bereitstellung von Material und Rohstoffen	<ul style="list-style-type: none"> – Verfügbarkeit nachhaltiger bzw. umweltfreundlicher Baumaterialien (bspw. Metalle, Ziegel und Keramik, etc.) in ausreichender Menge und Qualität, um das Zielbild einer dekarbonisierten, klimaneutralen Industrie holistisch zu realisieren – Verkürzung der Zeit für die Erteilung von Genehmigungen und Einführung unterstützender Vorschriften, um den Übergang zu neuen Rohstoffen zu beschleunigen (Stichwort: Kreislaufwirtschaft)
Auf- und Ausbau von Infrastrukturen	<ul style="list-style-type: none"> – Weitere Digitalisierung der Produktionsinfrastruktur – Ausbau von Logistiklösungen zur Forcierung der Kreislaufwirtschaft in der diskreten Fertigung
Kooperation und Vernetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Zusammenbringen der Anforderungen aus regulatorischer/politischer Perspektive (Dekarbonisierung, Effizienz, Kreislaufwirtschaft) mit den Bedürfnissen der Anwenderbranchen, um neue „grüne“ Anlagen und Prozesstechnologien (gemeinsam) zu entwickeln
Gesetzliche Rahmenbedingungen, Standards und Normen	<ul style="list-style-type: none"> – Erhöhung der Transparenz hinsichtlich aller relevanten Gesetze bzw. Vorgaben als Voraussetzung für zielgerichtete Entwicklungen im Sektor Maschinenbau – Regulatorische Anreize diskutieren, um die Motivation zu steigern, dass Anlagenhersteller „grünere“ Anlagen und Maschinen erzeugen – Wärmepumpen: legislativer Rahmen (bspw. im Hinblick auf eingesetzte Arbeitsmedien) muss Planungssicherheit für Anwender und Technologieentwickler garantieren



Handlungsfeld	Empfehlungen
Öffentliche Beschaffung und Nachfrage	<ul style="list-style-type: none"> – Standortsicherung durch einen neuen politisch-strategischen Zugang: „Klimaschutz als Chance zur Standortsicherung“ – Designstandards zur Förderung „grüner“ Produktions- und Prozesstechnologien – (Digitale) Produktpässe (Kennzeichnung usw.)
Aus- und Weiterbildung sowie gesellschaftlicher Wandel	<ul style="list-style-type: none"> – Attraktivierung des Arbeitsplatzes „Maschinenbau“ durch menschenzentrierte technologische Lösungen und Systeme – Aktiver Einbezug der Belegschaft (insbesondere am „Shop Floor“) in die grüne Transformation und in die damit in Zusammenhang stehenden Veränderungen und Innovationen bei der Anlagen- und Maschinenherstellung („Co-Creation“) – Übergeordnete Ziele und Zusammenhänge in Hinblick auf Dekarbonisierung in Aus- und Weiterbildung integrieren, um Gesamtverständnis zu schärfen – Gezielte Ansprache von Frauen als potenzielle Arbeitnehmerinnen über die Themen Kreislaufwirtschaft, Nachhaltigkeit und Klimawandel – Entwicklung von Anforderungskatalogen in Bezug auf erforderliche Fertigkeiten und Tätigkeitsprofile der Gegenwart und Zukunft („skill requirements“), und Mitarbeit an entsprechenden Trainings- und Ausbildungsprogrammen – Identifizierung und Beschreibung der Qualifikationsanforderungen für den Maschinenbau der Zukunft in kooperativen EU-Projekten (Horizon Europe) – Nutzung des European Social Fund (ESF)+ als weiteres Instrument der EU-Förderung im Anschluss an obige F&E-Projekte – Mitwirkung an EU „Industrial Skills Alliances“

Tabelle 9
Handlungsempfehlungen

Literaturverzeichnis

IEA. (2022). No Title. In *Task 1: Technologies – State of the art and ongoing developments for systems and components*. heatpumpingtechnologies.org/annex58/task1/

Statistik Austria, *Energiegesamtrechnung*. (2020). Statistik Austria, Nutzenergieanalyse 2020. www.statistik.at/statistiken/energie-und-umwelt/energie/energiegesamtrechnung

Statistik Austria, *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung*. (2020). Statistik Austria, Produktionsindex 2020. www.statistik.at/statistiken/volkswirtschaft-und-oeffentliche-finanzen/volkswirtschaftliche-gesamtrechnungen

Kontaktdaten

Projektleiter

Christian Schützenhofer

Center for Energy

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Giefinggasse 6, 1210 Vienna

christian.schuetzenhofer@ait.ac.at

Herausgeber

Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung

Leopold-Ungar-Platz 2/Stiege 1/Top 142, 1190 Wien

Tel: (+43 1) 585 03 90

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

AutorInnen

Christian Schützenhofer, Verena Alton, Bernhard Gahleitner, Sophie Knöttner,

Klaus Kubeczko, Karl-Heinz Leitner, Wolfram Rhomberg

AIT Austrian Institute Of Technology

Martin Baumann, Christoph Dolna-Gruber, Bernhard Felber, Andreas Indinger

Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency (AEA)

Thomas Kienberger, Maedeh Rahnama Mobarakeh, Peter Nagovnak

Lehrstuhl für Energieverbundtechnik/Montanuniversität Leoben (EVT)

Hans Böhm, Sebastian Goers, Simon Moser, Mario Reisinger

Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz (EI-JKU)

Mitwirkende

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

Institut für Energietechnik und Thermodynamik der TU Wien

Für den Inhalt verantwortlich

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Studie.

Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Klimaschutz,

Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) sind für die

Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung

www.angieneering.net

Titelfoto

ThisisEngineering RAEng

Herstellungsort: Wien

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft.

Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

www.klimafonds.gv.at





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