

AKTIONSPLAN

# STUDIEN



## Bergbau

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

Wien, Jänner 2024

Erstellt im Auftrag des Klima- und Energiefonds



## transform.industry

Aktionsplan Branche Bergbau

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

<b>Einleitung und Hintergrund</b>	<b>03</b>
<b>1.0 Status-Quo</b>	<b>04</b>
1.1 Allgemeine Brancheninformation	04
<b>2.0 Transformationspfade</b>	<b>08</b>
2.1 Zusammenfassung der branchenspezifischen Szenarien-Ergebnisse	08
2.2 Investitionsbedarfe und potenzielle Stranded Assets	13
2.3 Branchenspezifische Schlüsseltechnologien	14
2.4 Handlungsempfehlungen	18
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>20</b>
<b>Kontaktdaten</b>	<b>20</b>

## 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 Expert:innen gemeinsam mit Vertreter:innen 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 Bergbau hinsichtlich Produktionswertes, Wertschöpfung, Unternehmen und Erwerbstätige, Energieeinsatz und Emissionen gegeben.

### 1.1 Allgemeine Brancheninformation

Die Branche Bergbau hatte in den letzten 15 Jahren einen variierenden Verlauf seines Produktionswertes (Abbildung 1).

Nach einer deutlichen Zunahme zwischen 2005 und 2008 kam es zu einem Einbruch 2009. Darauf folgte eine Erholung auf einen Spitzenwert im Jahr 2012 auf welchen ein Rückgang bis 2016 folgte. Nach dem neuerliche Anstieg 2017 gab es wiederum eine schrittweise Abnahme bis 2020. Diese Entwicklung ist in sehr ähnlicher Weise auch aus dem Produktionsindex und der Wertschöpfung abzuleiten.

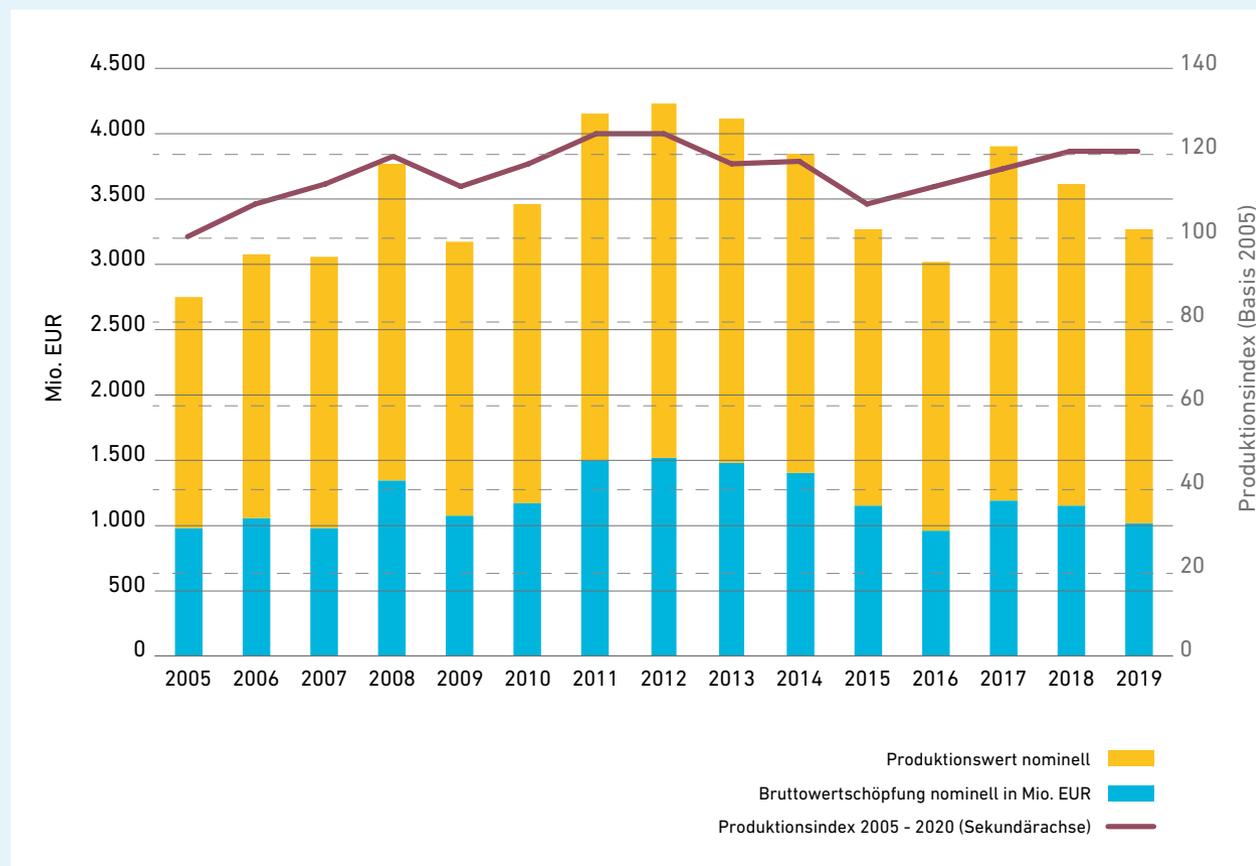


Abbildung 1

Wirtschaftliche Entwicklung Branche Bergbau,

Quelle: (Statistik Austria, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, 2020)

Leicht abnehmend verlief die Zahl der Erwerbstätigen zwischen 2009 und 2016 in der Branche Bergbau, nach 2016 unterlag die Anzahl an Erwerbstätigen einer

zusätzlichen Reduktion (Abbildung 2) während die Anzahl der Unternehmen nach 2016 anstieg.

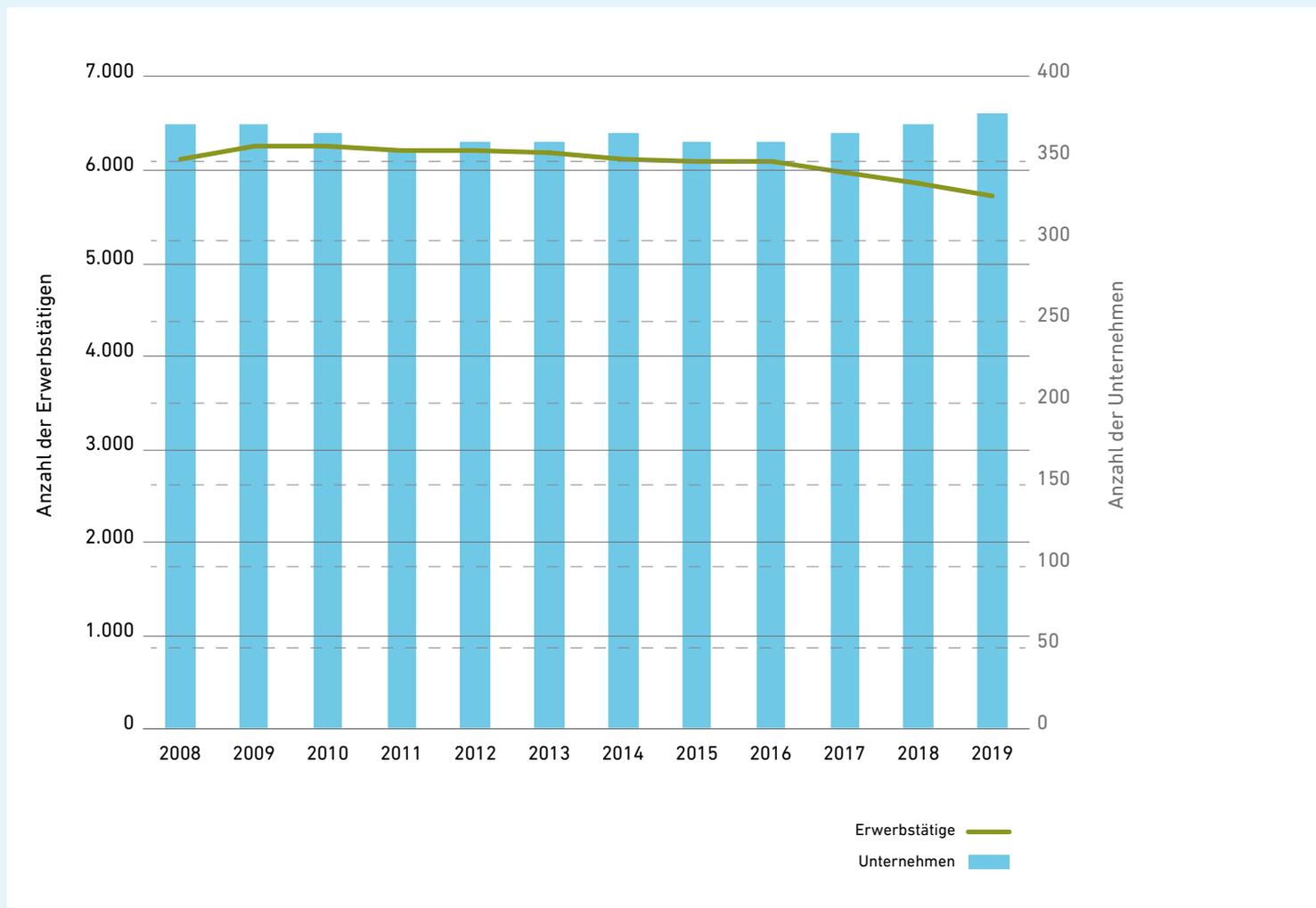


Abbildung 2

Entwicklungen Erwerbstätige & Unternehmen Branche Bergbau,

Quelle: (Statistik Austria, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, 2020)

Der Energieeinsatz der Branche Bergbau stieg von 2012 auf 2013 sprunghaft an (Abbildung 3). Dieser Anstieg wurde von einem deutlich erhöhten Gaseinsatz begleitet, der sich seither auf einem konstanten Niveau befindet. Ein ähnlicher Trend kann auch beim Einsatz von Strom beobachtet werden, nach einer offensichtlichen Zunahme 2013 blieb der Einsatz bis 2019 relativ stabil. Die unge-

wöhnliche 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.

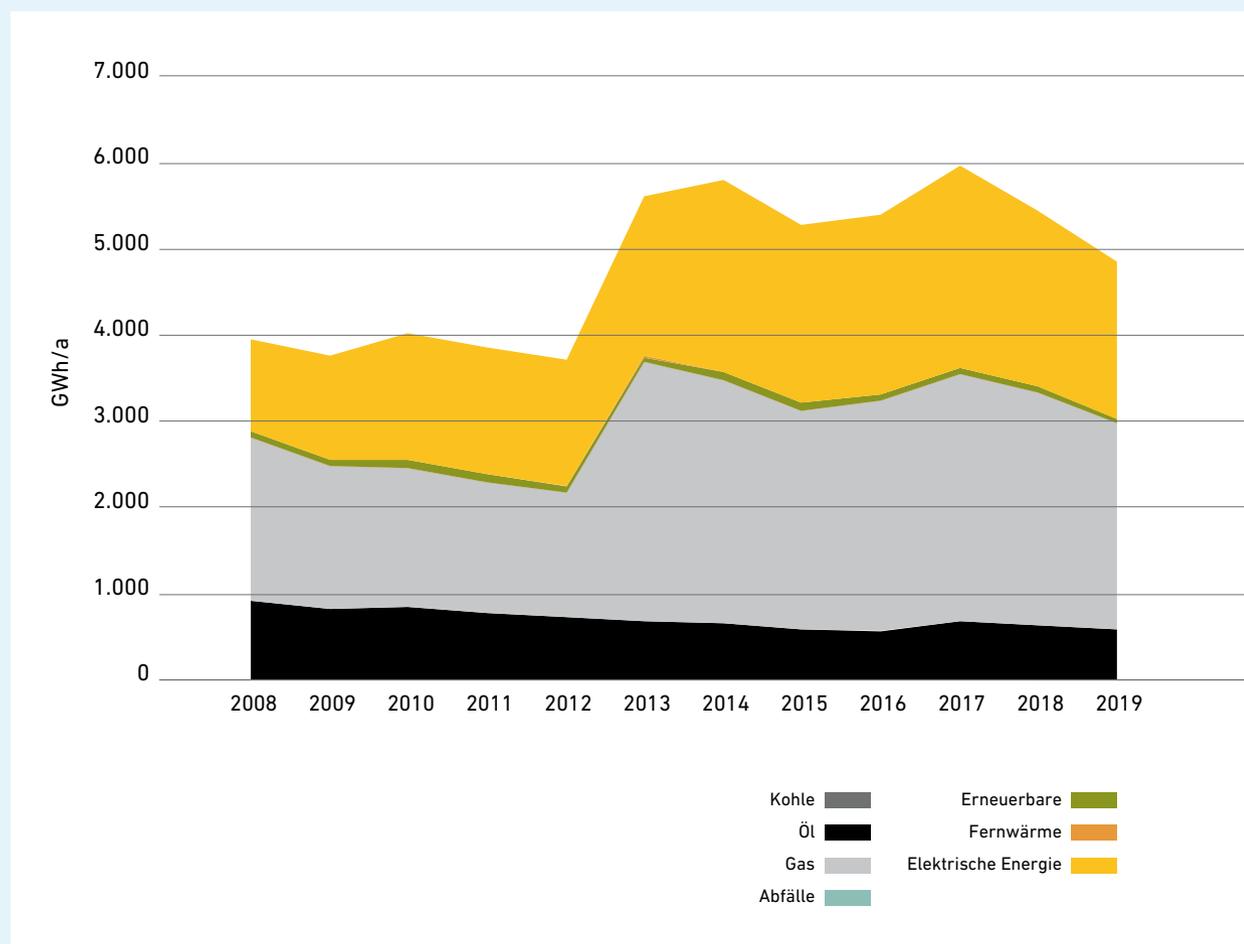


Abbildung 3

Energieeinsatz Branche Bergbau;

Quelle: (Statistik Austria, Energiegesamtrechnung, 2020)

Der Großteil der Treibhausgasemissionen in der Branche Bergbau ist auf die hohen Anteile der Energieträger Strom und Gas im Energieeinsatz zurückzuführen (Abbildung 4). Während die durch Öleinsatz verursachten Treibhausgasemission zurückgingen, nahmen die Emissionen

verursacht durch vermehrten Gas- und Stromeinsatz zu. Die Branche Bergbau war 2019 für rund 3% der gesamten Treibhausgasemissionen des produzierenden Bereichs verantwortlich, an den gesamtösterreichischen Emissionen hatte die Branche einen Anteil von ca. 1%.

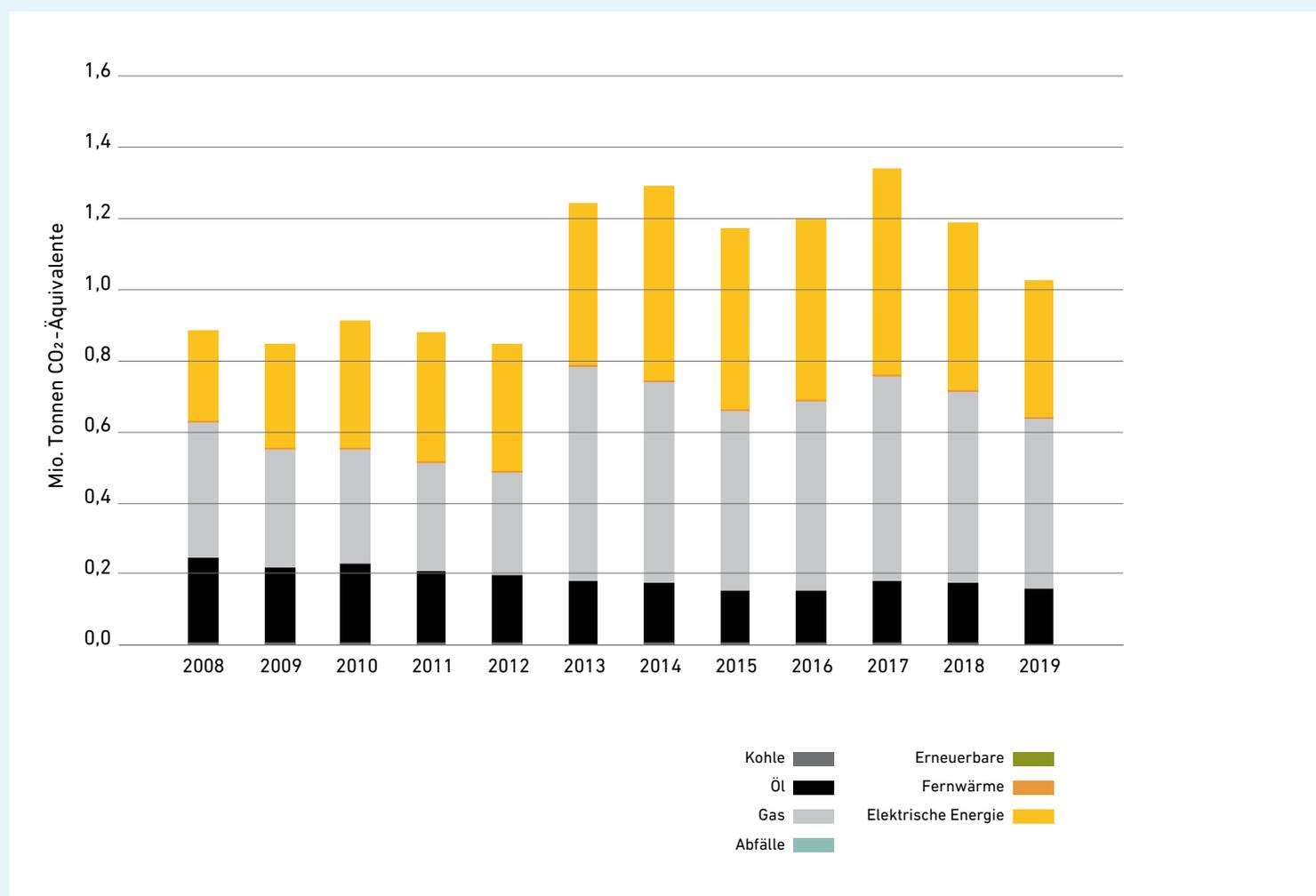


Abbildung 4

Treibhausgasemissionen Branche Bergbau;

Quelle: (Statistik Austria, Energiegesamtrechnung, 2020),

NEFI, eigene Berechnungen

## 2.0 Transformationspfade

---

Die Erkenntnisse zur Transformation vom Status Quo zur Klimaneutralität in der Branche Bergbau 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 (Abschnitt 2.1). Details zu den Annahmen für die ausgearbeiteten Szenarien finden sich im Gesamtbericht wieder. Auf den Ergebnissen der Szenarien aufbauend wurden volkswirtschaftliche Effekte der einzelnen Entwicklungspfade analysiert, (siehe Abschnitt 2.2). Durch die Analyse der volkswirtschaftlichen Effekte wurden die branchenspezifischen Schlüsseltechnologien identifiziert und weitere innovationspolitische Handlungsempfehlungen abgeleitet, (Abschnitt 2.3 bzw. 0).

Für die Branche Bergbau lässt sich festhalten, dass folgende Energieträger bzw. eine Teilmenge dieser, zur zukünftig klimaneutralen Energieversorgung beitragen werden:

- erneuerbare Gase, wie bspw. Methan aus biogenen Ressourcen,
- Elektrizität sowie
- Umgebungs-/Abwärme.

Analysiert man die volkswirtschaftlichen Effekte der unterschiedlichen Entwicklungspfade für die gesamte Industrie aber auch die Branche selbst, tragen folgende Maßnahmengruppen zu besseren Ergebnissen bei:

- **Reduktion des Primärenergieeinsatzes** bspw. durch Wärmerückgewinnung, Elektrifizierung und innovative Schlüsseltechnologien wie industrielle Wärmepumpen
- **Energieträgerwechsel** von fossilen flüssigen und gasförmigen Brennstoffen zu biogenen Brennstoffen für Hochtemperaturprozesse

### 2.1 Zusammenfassung der branchenspezifischen Szenarien-Ergebnisse

Der zukünftige Energiebedarf der Branche Bergbau wurde mit der Kombination eines Bottom-Up und Top-Down-Ansatzes berechnet. Basierend auf den bisherigen Entwicklungen der Nutzung von Energie und unter der Annahme klimaneutraler Energiebereitstellung bis 2040 wurde in vier Szenarien bzw. technologischen Entwicklungspfaden ermittelt, wie sich der Bedarf an klimaneutralen Energieträgern innerhalb der Branche entwickelt<sup>1</sup>. 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 auf den folgenden Seiten in der Diskussion der Ergebnisse für die Branche kurz vorgestellt.

Die Ergebnisse für die vier ermittelten Szenarien im Vergleich zum Basisjahr 2020, das den Übergang zwischen den historischen Betrachtungen und den zukünftigen Entwicklungen darstellt, werden für die Jahre 2025, 2030, 2035 und 2040 und für die eingesetzten Energieträger in *Abbildung 5* dargestellt. Es lassen sich langfristig für 2040 zwei mitunter stark gegenläufige Trends in der Branche erkennen: zum einen der Einsatz von erneuerbarem Gas und zum anderen eine zunehmende Elektrifizierung durch den Einsatz von Wärmepumpen. Die folgende Beschreibung behandelt vorrangig das betrachtete Zieljahr 2040.

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

Im Szenario Erneuerbare Gase (EG) erfolgt die Substitution fossiler Energieträger durch den Einsatz erneuerbarer Gase ( $\text{CH}_4$  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 Bergbau ergeben sich keine Unterschiede zwischen diesen zwei Szenarien.

Das Szenario Innovation (IN) nimmt für die Branche Bergbau an, dass durch innovative Technologien die Nutzung von brancheninternen Abwärmepotenzialen verbessert und damit der Verbrauch von konventionellen Energieträgern reduziert werden kann. Für die Branche ergibt sich dadurch eine Elektrifizierung der Wärmebereitstellung, vorrangig mit Wärmepumpen für unterschiedliche Temperaturen. Im Szenario Sektorkopplung (SK) wird vertiefend zum Szenario Innovation zusätzlicher standort-übergreifender Austausch von Energieträgern angenommen. Abwärme aber auch hochexergetische Energieträger werden über Standortgrenzen hinweg, gemäß optimalem exergetischen Einsatz, verwendet.

Es lässt sich festhalten, dass in den Szenarien Innovation und Sektorkopplung steigende Elektrifizierung von Prozess- und Raumwärme zu abnehmendem Erdgasverbrauch bei gleichzeitig steigendem Strombedarf bzw. steigendem Bedarf an (industrieller) Abwärme bzw. Umgebungswärme führt. In den Szenarien Erneuerbare Gase sowie Kreislaufwirtschaft wird der Erdgasverbrauch vorrangig durch den Einsatz von Gasen aus biogenen Ressourcen substituiert. Allen Entwicklungspfaden gemein ist die Relevanz des Einsatzes von Strom in Rahmen einer klimaneutralen Produktion.

In der Branche Bergbau sind bis 2040, abhängig vom modellierten Szenario, die Energieträger erneuerbares Gas, Strom und Abwärme von großer Bedeutung (Abbildung 5). Während in den Szenarien EG und KW die Dekarbonisierung durch erneuerbares Gas (rund 2,1 TWh) und Strom (1,5 TWh) erfolgen kann, unterstellt das Szenario IN eine fast komplette Elektrifizierung (rund 3,5 TWh) bis 2040. Im Szenario SK, welches eine branchenübergreifende Abwärmenutzung unterstellt, kann rund die Hälfte des Energieeinsatzes der Branche im Jahr 2040 durch Abwärme gedeckt werden. Im Bereich Standmotoren und Prozesswärme <200 Grad hat die Branche Bergbau die größten Verbräuche, die Dekarbonisierung muss in diesen daher vor allem in diesen Verbrauchskategorien erfolgen (Abbildung 7).

Je nach Szenario ist, gegenüber 2020, mit einem deutlich höheren erneuerbares Gas -, Strom- bzw. Abwärmebedarf in der Höhe von rund 2 TWh zu rechnen (Abbildung 6). Dazu wird zunächst die Schnittmenge jenes Energieträgermixes gezeigt, der für alle vier Szenarien für 2040 sowie mit der aktuellen Energiebereitstellung (Jahr 2020) ident ist. Die residuale Energiemenge, deren Mix keine Überschneidung mit den weiteren Ergebnissen hat, ist in weiß dargestellt.

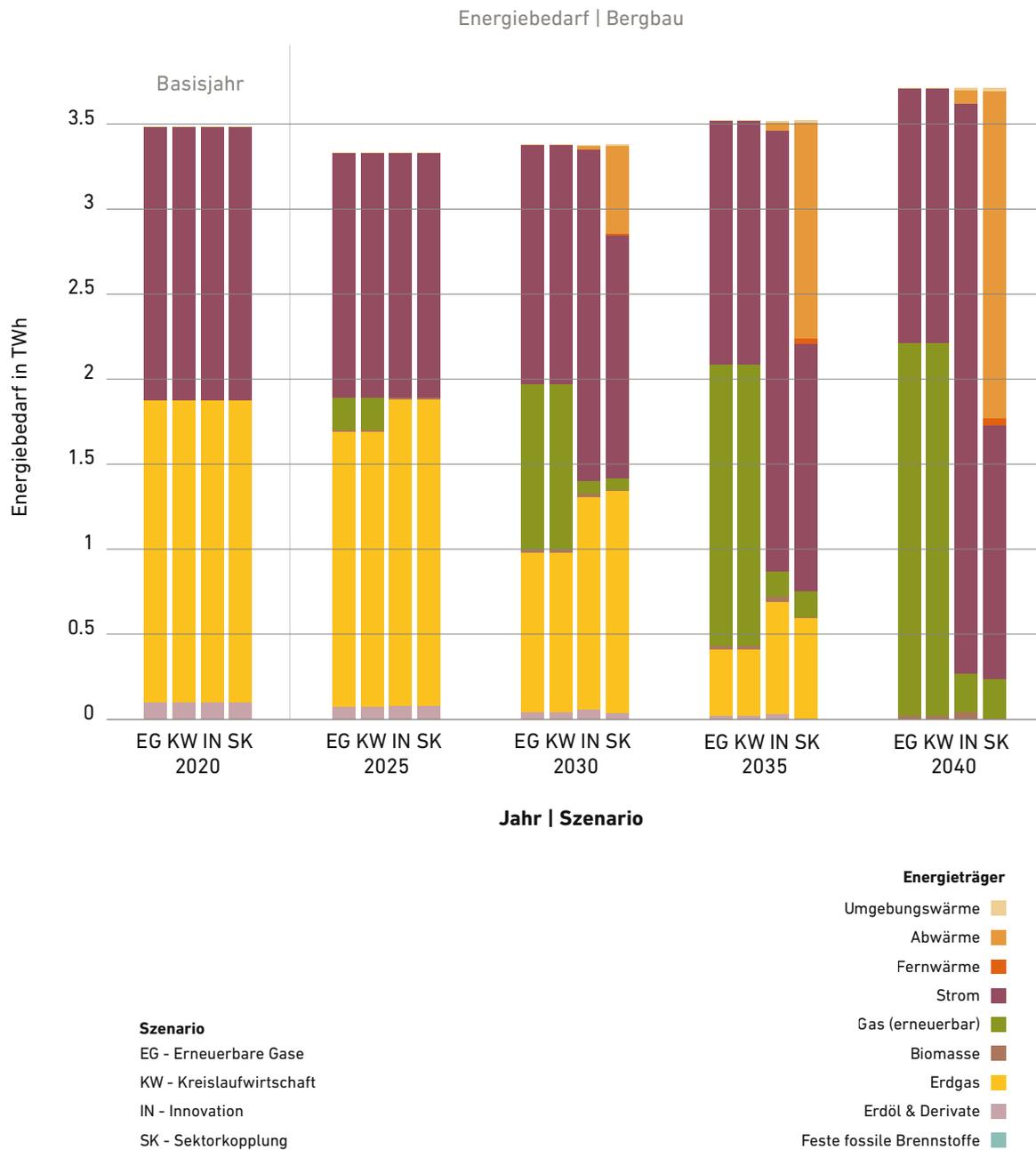


Abbildung 5  
Energieverbrauch der Branche gegliedert nach Energieträgern für den Status Quo 2020 und je Szenario für die Jahre 2025, 2030, 2035, 2040.

Energiebedarf im Vergleich | Bergbau

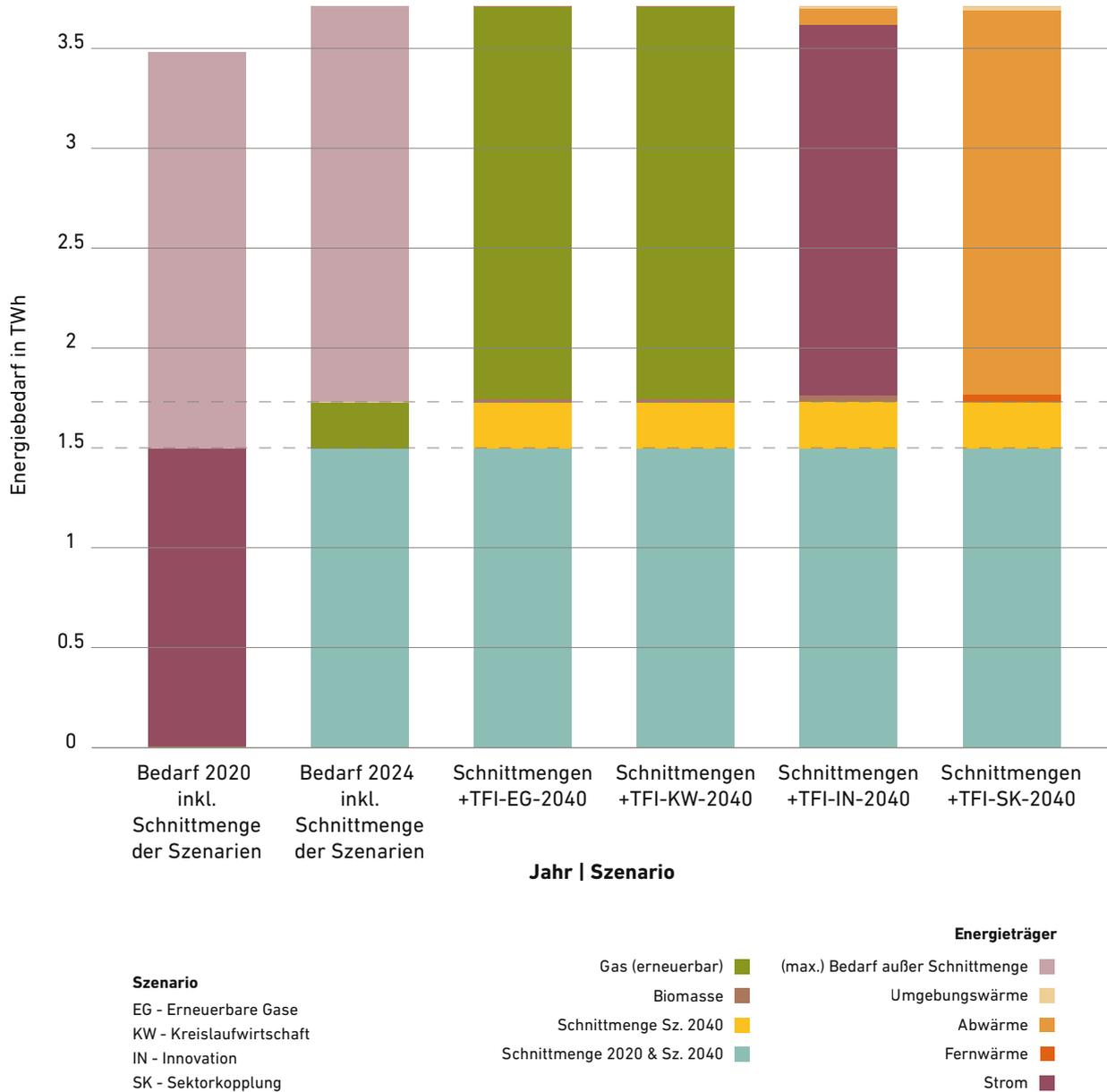


Abbildung 6  
 Vergleich der Schnittmengen des eingesetzten  
 Energieträgermixes gemäß Modellergebnis.

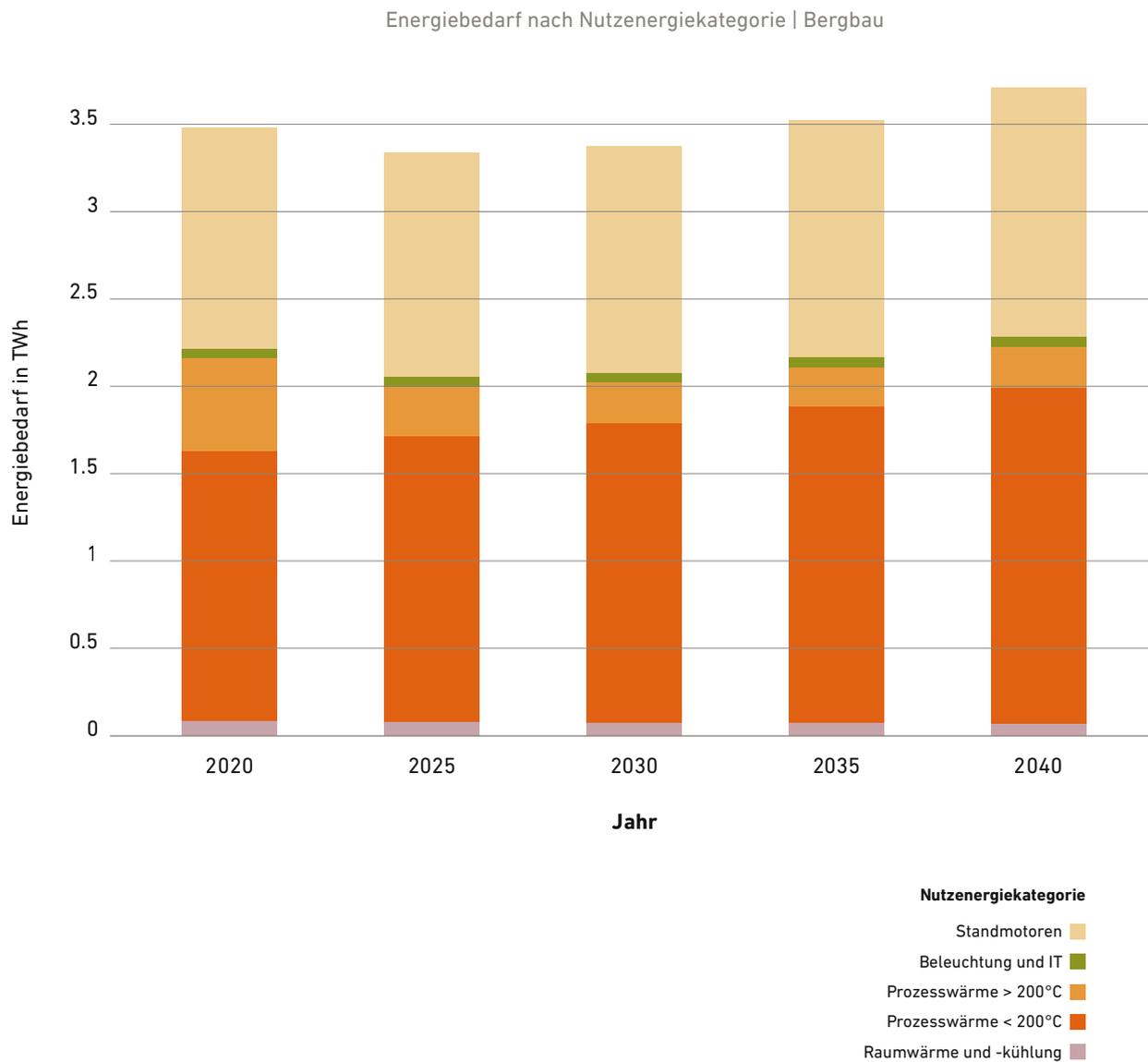


Abbildung 7  
Energieverbrauch der Branche gegliedert nach Nutzenergie für den  
Status Quo 2020 und je Szenario für die Jahre 2025, 2030, 2035, 2040.

## 2.2 Investitionsbedarfe und potenzielle

### Stranded Assets

Die in den Leistungs- und Strukturdaten der Statistik Austria erfassten Gesamtinvestitionen in der Branche Bergbau lagen in den Jahren 2008–2019 bei durchschnittlich ca. 98 Mio. € pro Jahr<sup>2</sup>. Davon entfielen durchschnittlich 97% auf Investitionen in Sachanlagen. Bei Beibehalten aktueller Prozesse und Technologien und entsprechender Fortschreibung dieser Investitionszyklen würde sich damit ein Gesamtvolumen an Investitionen in Sachanlagen von ca. 0,8 Mrd. € bis 2030 bzw. ca. 1,7 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 8 Mio. € pro Jahr bzw. in Summe bis zu 101 Mio. € bis 2040 (siehe Abbildung 8). Davon betreffen rd. 30–40% direkte Investitionen für Equipment, der Rest bezieht sich auf indirekte Investition, wie z. B. Engineering, periphere Komponenten, oder Bautätigkeiten.

Der größte Teil der THG-Emissionen in dieser Branche entfällt auf den Endenergieeinsatz für Standmotoren. Da ein überwiegender Teil dieser Standmotoren bzw. des Energieeinsatzes bereits heute elektrifiziert ist, werden im Zuge der Transformation zur Klimaneutralität der Branche Bergbau in diesem Bereich keine nennenswerten Stranded Assets erwartet. Gleichzeitig wird für die Substitution verbleibender fossiler Standmotoren nicht von einer wesentlichen Abweichung von den üblichen Reinvestitionszyklen der Branche ausgegangen. Aus diesen Gründen sind die Kosten hierfür in Abbildung 8 nicht inkludiert. Zweiter wesentlicher Aspekt in der Reduktion von THG-Emissionen der Branche ist der Einsatz von Erdgas für die Bereitstellung von Prozesswärme <200 °C. Potenzielle Stranded Assets sind hier in erster Linie vom Transformationspfad (Elektrifizierung, erneuerbare Gase, interne Abwärmenutzung) abhängig. Allerdings sind die potenziellen Kosten der Transformation in allen betrachteten Szenarien vergleichsweise gering in Bezug zu den jährlichen Gesamtinvestitionen in der Branche.

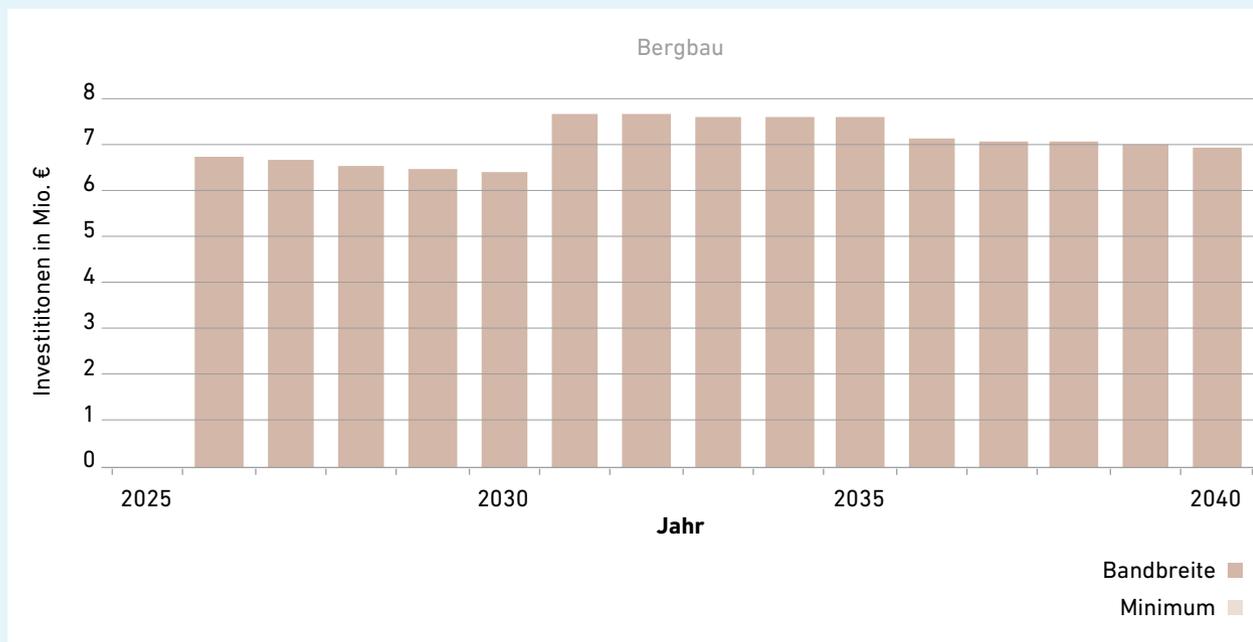


Abbildung 8

Notwendiger Investitionsbedarf für die Transformation  
(Bandbreite aus den Szenarien) in der Branche Bergbau

### 2.3 Branchenspezifische Schlüsseltechnologien

Die in den Entwicklungspfaden berücksichtigten Maßnahmen für die unterschiedlichen Nutzenergiekategorien (Anwendungsbereiche) wurden in den nachfolgenden Tabellen 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 eine Bewertung jeder Maßnahme vorgenommen. Die empfehlenswerten Schlüsseltechnologien werden in Folge für die in Abbildung 7 gezeigten Bereiche Prozesswärme <200 °C dargestellt. Für den Bereich Standmotoren werden keine Technologieänderungen vorgeschlagen, da bereits heute über 95 % des Energieeinsatzes in dieser Branche durch elektrische Energie gedeckt wird. Auf alle anderen Kategorien wird aufgrund ihres geringen Energieeinsatzes nicht genauer eingegangen.

Die folgenden Abschnitte fokussieren auf die wichtigsten Technologien – die sogenannten **No-regret-Technologien – in 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 Tabelle 1 als **volkswirtschaftlich vorteilhaft** eingestuft worden sein.
2. Die Maßnahme hat ein für die Branche hohes, **erhebliches Potenzial zur Emissionsminderung** (vgl. Spalte 3 in Tabelle 1).

3. Die Maßnahme kann durch **verbesserte (Energie-) Effizienz** einen positiven Effekt 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. Elektrifizierung allgemein und Wärmepumpen bzw. Wärmerückgewinnung für Raum- und Prozesswärme, in diesem Abschnitt besonders detailliert behandelt.

Anwendungsbereich	Kurzbezeichnung Maßnahme	Emissionsreduktionspotenzial in der Branche bzw. branchenübergreifend (hoch, mittel, niedrig)	Invest-Bedarf in Relationen zu Alternativen im Anwendungsbereich (günstig, mittel, teuer)	Energiekosten in Relation zu Alternativen im Anwendungsbereich (günstig, 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	Elektrifizierung bzw. Integration Hochtemperatur-Wärmepumpe	Hoch	Teuer	Mittel	Hoch	Vor-marktreif	Empfehlenswert
	Branchen-übergreifende direkte Abwärmenutzung	Hoch	Mittel	Günstig	Hoch	Marktverfügbar	Empfehlenswert

Tabelle 1  
Branchenspezifische Schlüsseltechnologien  
für die Branche Bergbau

## Wärmepumpen zur Prozesswärmebereitstellung bis 200 °C

Kriterium	Beschreibung: Wärmepumpe zur Prozesswärmebereitstellung
Relevanz für die Branche Papier und Druck	Prozesswärme <200 °C zur Dampferzeugung macht rund 45 % des gesamten Energieeinsatzes der Branche Bergbau aus. Diese Dampferzeugung ist derzeit zu fast 100 % erdgasbasiert. Dadurch ergibt sich ein hohes Dekarbonisierungspotenzial bei einer Technologieumstellung. Die Technologie der Wärmepumpen kann bei entsprechender Entwicklung in den nächsten Jahren einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung in der Branche liefern und wird aus Effizienz- und Exergieperspektive <b>als empfehlenswert eingestuft</b> .
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abwärmenutzung und dadurch weniger Primärenergieeinsatz bei gleichzeitiger Dekarbonisierung der Stromversorgung möglich</li> <li>– Erhöhung der Energieeffizienz</li> <li>– Kosteneinsparungen und schnelle Amortisationszeiten bei großer Abwärmemenge möglich</li> <li>– Weitere Leistungszahl- und Dampftemperatursteigerung durch Konfigurationen mit Dampfverdichtern möglich</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hohe initiale Investitionen gegenüber Alternativtechnologien</li> <li>– Status Quo (2023): Geringe laufende Einsparung durch aktuelles Preisverhältnis Strom vs. Erdgas (überwiegend eingesetzter Brennstoff zur Wärmeerzeugung)</li> <li>– Bei hohen Temperaturdifferenzen zwischen Abwärme (Quelle) und Wärmenutzung sinkt die Leistungszahl</li> </ul>
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Komplexität gegenüber konventionellen Technologien höher</li> <li>– Bisher keine Pilot- und Demoanlagen für große Leistungen und Dampferzeugung</li> <li>– Amortisationszeit stark von Verhältnis Strom- zu Gaspreis abhängig.</li> <li>– Abwärme muss gleichzeitig und in ausreichender Menge vorhanden sein, wenn Prozesswärme benötigt wird.</li> <li>– Örtliche Nähe zwischen Wärmequelle und Prozesswärme notwendig, um Wärmeverluste und hohe Installationskosten für Verrohrung zu vermeiden.</li> </ul>
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Technology-Readiness-Level: 6–8 für geschlossene Wärmepumpen (IEA, 2022)</li> <li>– Technology-Readiness-Level: 8–9 für Dampfverdichter (IEA, 2022)</li> <li>– Heterogene Anwendungsfälle mit starkem Einfluss der Konfiguration auf die Wirtschaftlichkeit, was eine Standardisierung für verkaufte Anlagen erschwert</li> <li>– Elektrische Anschlussleistung am Standort muss entsprechend gegeben sein</li> <li>– Anforderungsanalyse hinsichtlich Temperaturen, Verluste und Effizienz hat einen maßgeblichen Einfluss auf Wirtschaftlichkeit</li> <li>– Für vollständige Dekarbonisierung ist eine dekarbonisierte elektrische Energiebereitstellung Voraussetzung</li> </ul>

Tabelle 2

Schlüsseltechnologie Wärmepumpe zur Prozesswärmebereitstellung: Eigenschaften der Technologie

## Direkte Wärmerückgewinnung zur Prozesswärmebereitstellung bis 200 °C

Kriterium	Beschreibung: Wärmerückgewinnung zur Prozesswärmebereitstellung
Relevanz für die Branche Papier und Druck	Prozesswärme <200 °C zur Dampferzeugung macht rund 45% des gesamten Energieeinsatzes der Branche Bergbau aus. Diese Dampferzeugung ist derzeit zu fast 100% erdgasbasiert. Dadurch ergibt sich ein hohes Dekarbonisierungspotenzial bei einer Technologieumstellung. Diese Technologie kann bei entsprechenden Voraussetzungen einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung in der Branche liefern und ist aus Effizienz- und Exergieperspektive <b>als empfehlenswert einzustufen</b> .
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Betriebskosten sehr gering (hpts. für Instandhaltung und Wartung)</li> <li>– Reduktion des Primärenergieeinsatzes durch Abwärmenutzung</li> <li>– Vergleichsweise niedrige Investitionskosten</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Räumliche Anordnung muss beachtet werden – hohe Entfernungen erschweren die Nutzung</li> <li>– Gleichzeitigkeit erforderlich auf verschiedenen Zeithorizonten wie zum Beispiel Minuten, Stunden, Tage oder saisonal</li> </ul>
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Komplexität gegenüber konventionellen Systemen höher</li> <li>– Risiko sowie organisatorische Hürden bei standort-übergreifender Nutzung höher als bei Alternativen</li> <li>– Ohne Substitutionsmöglichkeit reduzierte Flexibilität</li> </ul>
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Technology-Readiness-Level: 9</li> <li>– Anforderungsanalyse hinsichtlich Temperaturen, Verluste und Effizienz hat einen maßgeblichen Einfluss auf Wirtschaftlichkeit</li> <li>– Für vollständige Dekarbonisierung ist die Nutzung dekarbonisierter Abwärmequellen erforderlich</li> <li>– Vertragliche Abstimmung bei standort-übergreifender Nutzung entscheidend</li> </ul>

Tabelle 3

Schlüsseltechnologie Wärmerückgewinnung zur Prozesswärmebereitstellung: 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)	<p>Im Bereich direkter F&amp;E sollte die Entwicklung folgender Technologien gefördert werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ausbau und Entwicklung batteriebetriebener Bergbaumaschinen (z. B. Lader, Minenwagen, Bohrgeräte), die Dieselantriebe ersetzen</li> <li>– Elektrifizierung der fossil betriebenen Fahrzeuge im Tagebau mit einer Priorität auf der Entwicklung von batterieelektrischen Fahrzeugen oder dem Einsatz erneuerbaren Gasen bei fehlenden Möglichkeiten zur Elektrifizierung</li> <li>– Entwicklung technischer Lösungen für Wechselbatterien für Lader und Lastkraftwagen</li> <li>– Augmented Reality Lösungen, die Informationen aus der digitalen in die physische Welt integrieren, um z. B. Instandhalter die direkte Unterstützung von Seiten der Geräteherstellern zu bieten (höhere Effizienz)</li> <li>– Fahrerassistenztechnologie für dieselfreie Maschinen, die zugleich die Energieeffizienz erhöhen</li> <li>– Entwicklung von Vernetzungstechnologien (Menschen, Maschinen und Sensoren) und digitalisierter Systeme (inkl. künstliche Intelligenz (KI), Digital Twin, etc.), die live in einer produktiven Abbauumgebung funktionstüchtig sind und zugleich neue effizientere Logistiksysteme ermöglichen</li> <li>– Entwicklung spezifischer Technologien für die Integration von Wärmepumpen für die Erzeugung von Prozesswärme zur Dampferzeugung (inkl. Pilot- und Demoanlagen für große Leistungen) im Berg- und Tagebau</li> </ul>
Anreize und Förderungen von Investitionen	<p>Bei Investitionsförderungen sind vor allem folgende Bereiche mit großem Investitionsbedarf relevant:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Umstellung von Diesel- auf Elektroantrieb (bzw. alternativ erneuerbare Gase) bei Fahrzeugen im Untergrund und im Tagebau</li> <li>– Anschaffung von halbautonomen Ladegeräten</li> <li>– Anschaffung von neue Kommunikations- und Prozesssysteme (5G/6G-Konnektivität)</li> <li>– Anschaffung von Anlagen (z. B. Photovoltaik) für die Erzeugung von Erneuerbaren direkt am Abbaubereich</li> <li>– Investitionsförderung für den Einsatz von Wärmepumpen und direkter Abwärme für die Erzeugung von Niedertemperatur-Prozesswärme (Wasserdampf)</li> </ul>
Energieinfrastrukturen und Energiebereitstellung	<p>Folgende spezifische Energieinfrastrukturen sind relevant:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Infrastruktur für Batterieladung und Batteriehandlung, (z. B. Batterieladestellen und Batteriewechselstellen, falls mit Wechselbatterien für den Lader und den LKW gearbeitet wird)</li> <li>– Erhöhter Strombedarf: Es wird angenommen, dass auch der Steinbruchbetrieb auf prioritär elektrisch, alternativ mit Wasserstoff oder synthetischen Kraftstoffen betriebene Schwerkraftwagen und Bergbaugeräte umgestellt wird<sup>2</sup></li> </ul>



<sup>2</sup> Es wird geschätzt, dass ein geringer zusätzlicher Strombedarf von ca. 3 bis 4% notwendig ist: VDZ, Hrsg. Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien: Eine CO<sub>2</sub>-Roadmap für die deutsche Zementindustrie. Düsseldorf, 2021. Verfügbar unter: [vdz.info/dekarbonisierung](https://vdz.info/dekarbonisierung)

Handlungsfeld	Empfehlungen
<b>Bereitstellung von Material und Rohstoffen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Um die Abhängigkeit von Importen wesentlicher Materialien, Mineralien und Metalle, die in der Automobilbranche, im Luft- und Raumfahrtsektor, in der chemischen Industrie, im Baugewerbe, im Elektronikbereich und im Sektor der erneuerbaren Energien zum Einsatz kommen, zu verringern, ist es notwendig, den Bergbausektor zu stärken und die Sicherheit der Lieferkette in Europa zu verbessern</li> </ul>
<b>Auf- und Ausbau von Infrastrukturen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ausbau von 5G (und höher)-fähigen industriellen Kommunikationsnetzwerken, die eine leistungsstarke Kommunikation für Sprache, Daten, Sensoren und Maschinen ermöglichen</li> </ul>
<b>Kooperation und Vernetzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vernetzung und Kooperation mit den Akteuren der österreichischen Bergbautagung (Bergmännischer Verband Österreichs, Montanuniversität Leoben)</li> </ul>
<b>Gesetzliche Rahmenbedingungen, Standards und Normen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Die Entwicklung einer neuen Rohstoffstrategie kann die Sicherung der Versorgung aus primären und sekundären Lagerstätten sowie des Handels bei gleichzeitiger Ausrichtung entlang der Wertschöpfungskette sicherstellen (unter Beachtung von Ressourceneffizienz, Forschung und Innovation im Rohstoffbereich und der institutionalisierte Dialog)</li> <li>– Rohstoffe aus dem Bergbau werden nicht nur zur Herstellung von Technologien gebraucht, sondern auch als mineralische Düngemittel für die Nahrungsmittelproduktion. Diese werden größtenteils im Bergbau gewonnen und sind meist nicht substituierbar. Daher sind passende Rahmenbedingungen hinsichtlich dieses Aspekts zu erarbeiten</li> </ul>
<b>Aus- und Weiterbildung sowie gesellschaftlicher Wandel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Die Arbeitsplätze im Bergbau müssen ergonomisch sinnvoll und sicher, aber auch attraktiv gestaltet werden. Dies soll in Zusammenarbeit mit den MitarbeiterInnen erfolgen. Darüber hinaus müssen DesignerInnen, PlanerInnen und andere ExpertInnen, die für die Entwicklung und Gestaltung der Arbeitsplätze in der Bergbauindustrie verantwortlich sind, die Art der Probleme verstehen, die mit der Schaffung attraktiver Arbeitsplätze verbunden sind</li> <li>– Schaffung einer virtuellen Umgebung zur Verwendung in der Bildung und zur Darstellung der Anforderungen intelligenter Bergbausysteme</li> <li>– Entwickeln digitaler Lern- und Lehrumgebung, die eine dynamische und erlebnisorientierte Lern- und Lehrplattform mit Lernumgebungen für einen skalierbaren Grad der Immersion bereitstellt (über Bergbautechniken und Prozessen)</li> <li>– Virtual und Augmented Reality eignen sich sehr gut, um die Arbeitsumgebung so zu visualisieren, so dass Lernende die präsentierten Lerninhalte in einer der realen Arbeitsumgebung ähnlichen Umgebung übertragen können. Dies ermöglicht es dem Lernenden, unabhängig von der realen Arbeitsumgebung Erfahrungen zu machen, indem er mit Objekten interagiert, Feedback erhält und soziale Interaktion durchführt</li> </ul>

Tabelle 4  
Handlungsempfehlungen

## Literaturverzeichnis

---

IEA (2022) No Title, Task 1: Technologies – State of the art and ongoing developments for systems and components. Available at: [heatpumpingtechnologies.org/annex58/task1](https://heatpumpingtechnologies.org/annex58/task1).

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

*Statistik Austria, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung (2020)*. Statistik Austria, Produktionsindex 2020. Available at: [www.statistik.at/statistiken/volkswirtschaft-und-oeffentliche-finanzen/volkswirtschaftliche-gesamtrechnungen](https://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](mailto: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](mailto:office@klimafonds.gv.at)

[www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at)

**AutorInnen**

Christian Schützenhofer, Verena Alton, Bernhard Gahleitner, Marianne Hörlesberger,  
Sophie Knöttner, Klaus Kubezko, Karl-Heinz Leitner

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](http://www.angieneering.net)

**Titelfoto**

Chris

**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](http://www.klimafonds.gv.at)





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