

AKTIONSPLAN

STUDIEN



Papier und Druck

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 Papier und Druck

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
1.2 Spezifische Brancheninformation	08
2.0 Transformationspfade	10
2.1 Zusammenfassung der branchenspezifischen Szenarien-Ergebnisse für die eingesetzten Energieträger	11
2.2 Investitionsbedarfe und potenzielle Stranded Assets	17
2.3 Branchenspezifische Schlüsseltechnologien	18
2.4 Handlungsempfehlungen	28
Literaturverzeichnis	29
Kontaktdaten	29

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 Transformations Szenarien 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 Papier und Druck hinsichtlich Produktionswertes, Wertschöpfung, Unternehmen und Erwerbstätige, Energieeinsatz und Emissionen gegeben.

1.1 Allgemeine Brancheninformation

Der Produktionswert und die Bruttowertschöpfung verliefen in der Branche Papier und Druck relativ stabil über die Jahre hinweg, 2009 und 2019 gab es jedoch leichte Einbrüche im Produktionswert. Der Produktionsindex zeigt dabei einen analogen Verlauf zum Produktionswert.

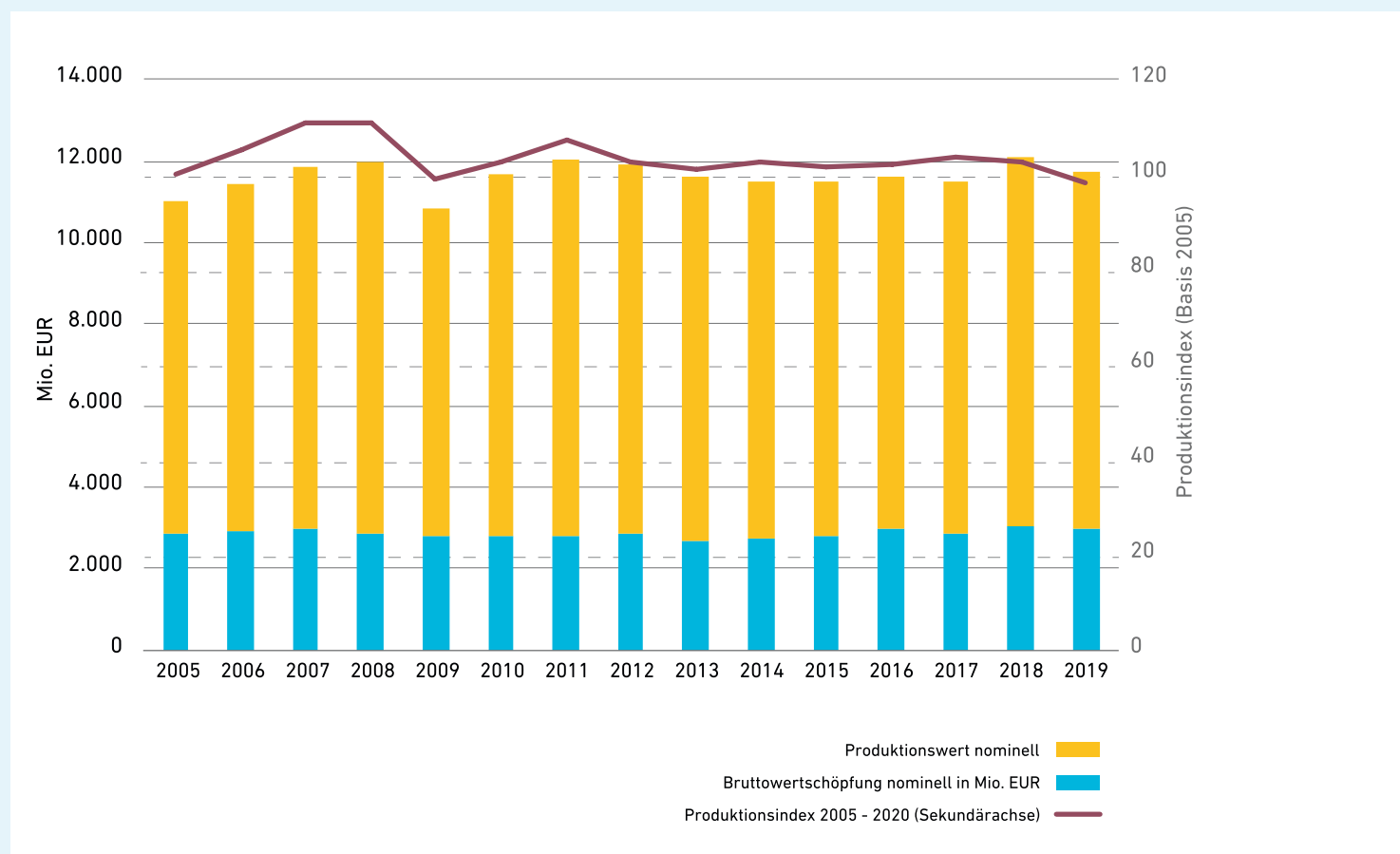


Abbildung 1
Wirtschaftliche Entwicklungen Branche Papier und Druck,
Quelle: (Statistik Austria, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, 2020)

Die Entwicklungen in Bezug auf die Anzahl der Erwerbstätigen und die Anzahl der Unternehmen verliefen in sehr ähnlicher Weise (Abbildung 2), es kann ein abnehmender Trend über die Jahre hinweg beobachtet werden.

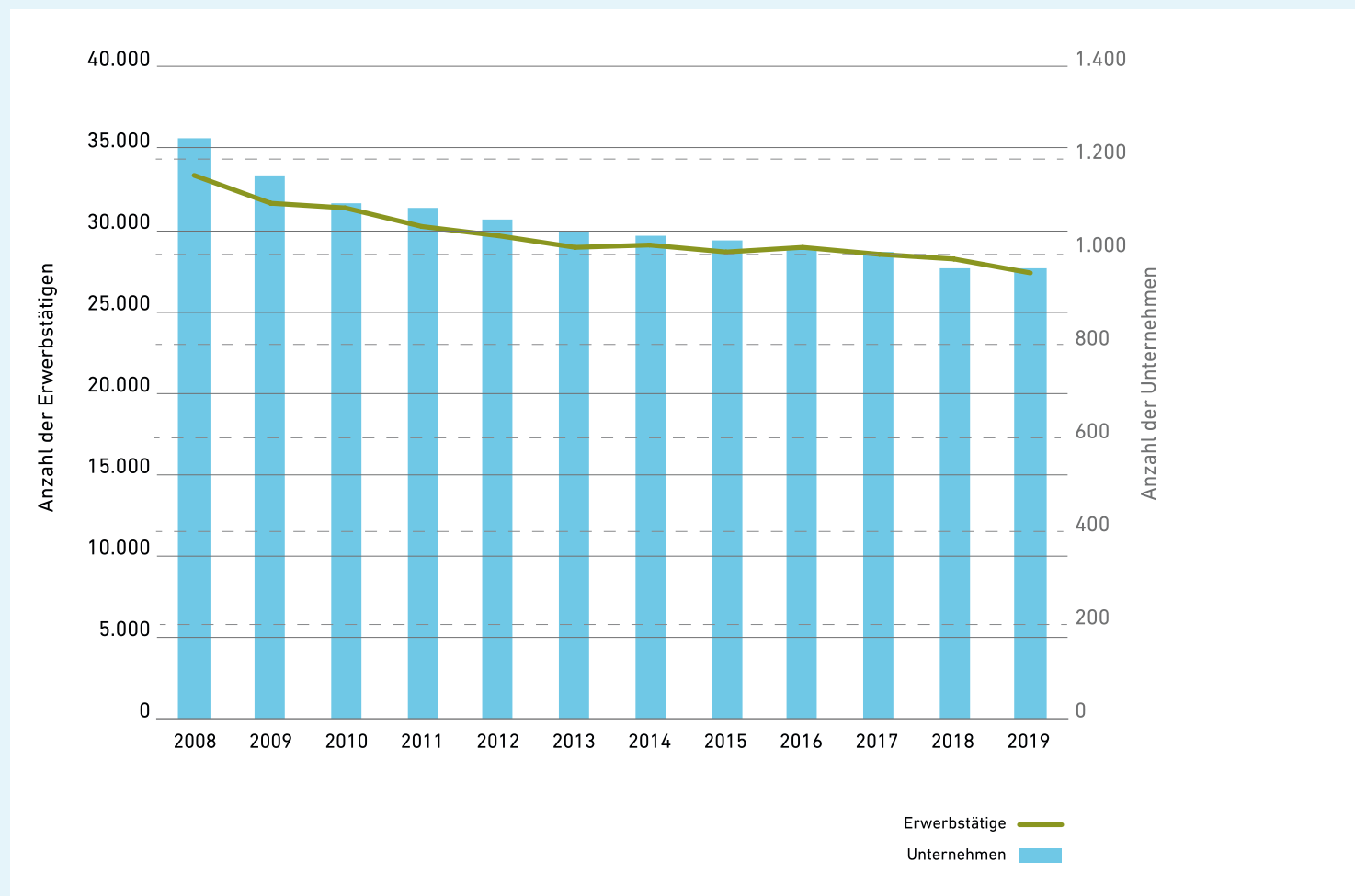


Abbildung 2
Entwicklungen Erwerbstätige & Unternehmen Branche Papier und Druck,
Quelle: (Statistik Austria, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, 2020)

Der Energiebedarf der Branche ist in Abbildung 3 dargestellt. Während der Einsatz an erneuerbaren Energien über die Jahre leicht gestiegen ist, sind

die absoluten Beiträge der anderen Energieträger vergleichbar groß geblieben.

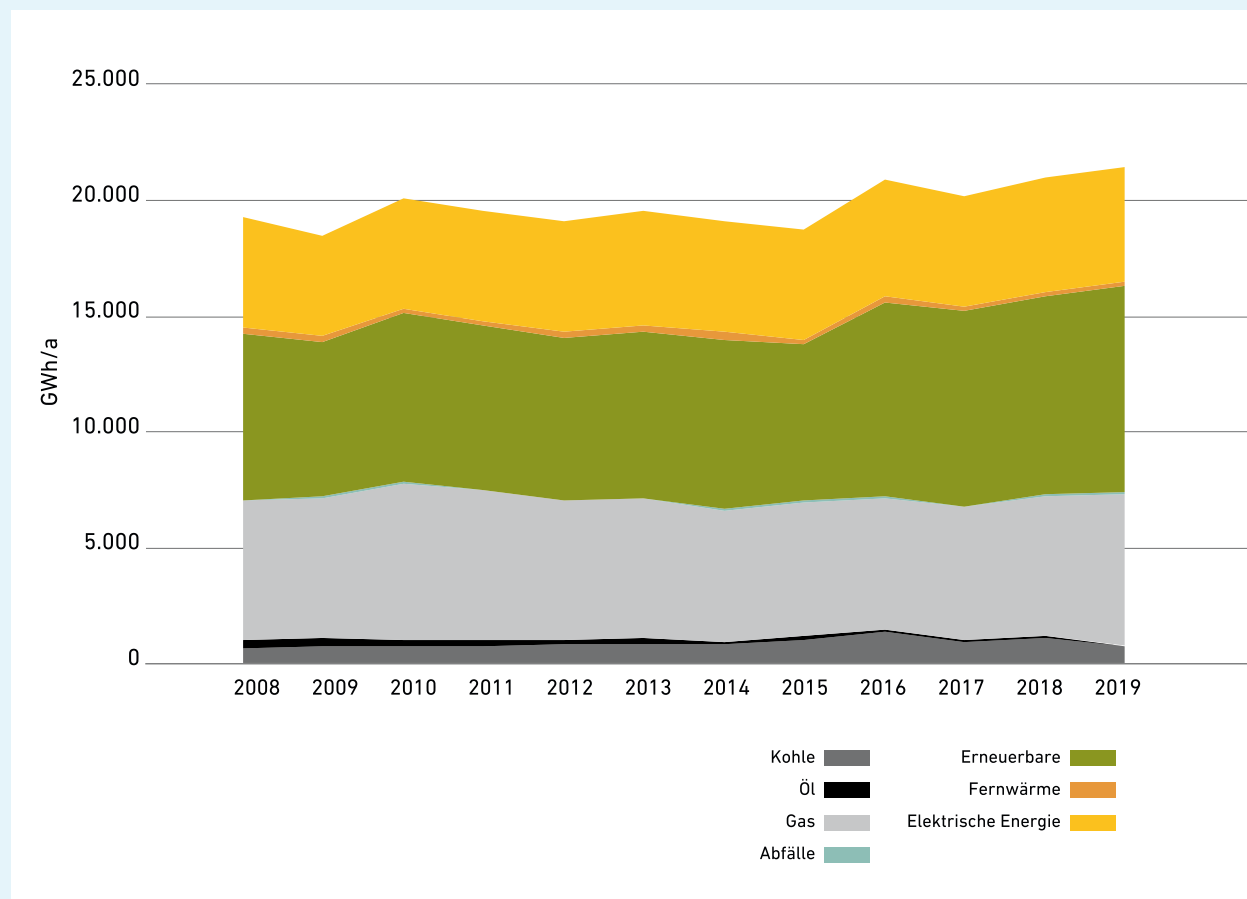


Abbildung 3

Energieeinsatz Branche Papier und Druck;

Quelle: (Statistik Austria, Energiegesamtrechnung, 2019)

Einen Einblick in die Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Branche Papier und Druck gibt Abbildung 4. Der Großteil der Emissionen in dieser Branche ist auf den hohen Gaseinsatz sowie den Einsatz an elektrischer Energie zurückzuführen. Emissionen aus Öl und Kohle spielten eine untergeordnete Rolle. Trotz der Zunahme des Energieeinsatzes nach 2015 blieben die

Treibhausgasemissionen nahezu stabil, dies ist auf den stärkeren Zuwachs an erneuerbaren Energien zurückzuführen. Die Branche Papier und Druck war 2019 für über 8% der gesamten Treibhausgasemissionen des produzierenden Bereichs verantwortlich, an den gesamtösterreichischen Emissionen hatte die Branche einen Anteil von ca. 2%.

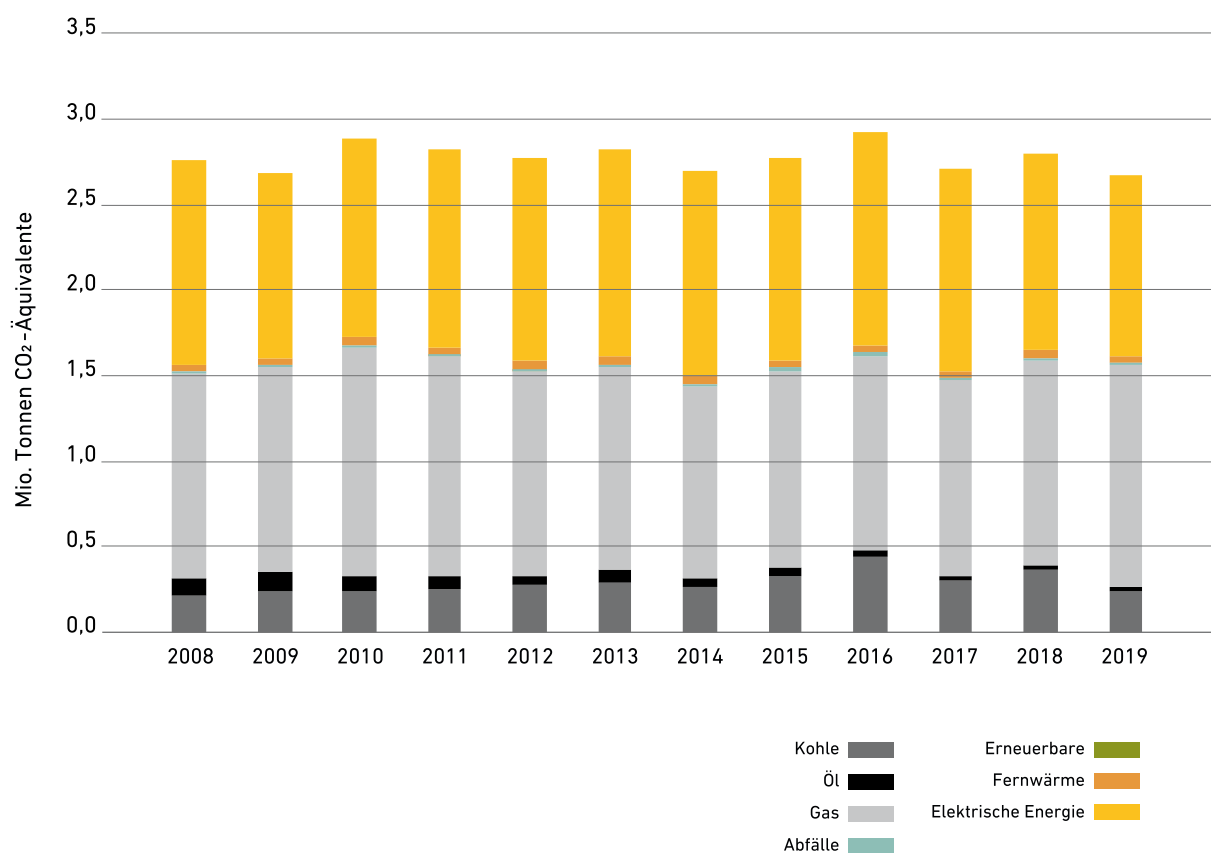


Abbildung 4

Treibhausgasemissionen Branche Papier und Druck,

Quelle: (Statistik Austria, Energiegesamtrechnung, 2019),

NEFI, eigene Berechnungen

1.2 Spezifische Brancheninformation

Die Branche Papier und Druck umfasst die Produktion von Zellstoff, Holzstoff, Papier, Pappe und daraus hergestellten Waren sowie Druckerzeugnissen. Im Jahr 2019 produzierte diese Branche etwa 5 Mio. t Papier, was 5,6% der EU-Papierproduktion entspricht. Zudem wurden 2,1 Mio. t Primärzellstoff aus Rohholz (durch 15% mechanischen Aufschluss, 63% chemischen Aufschluss und 22% Textilaufschluss) und 2,2 Mio. t Sekundärzellstoff aus Altpapier (mit einer Papierrecyclingquote von 77,6% im Jahr 2019) hergestellt.

Die Branche Papier und Druck in Österreich verwendet einen höheren Anteil an biogenen Brennstoffen (Abbildung 3) als andere industrielle Branchen. Dieser stammt größtenteils aus internen Reststoffen, die als biogene Brennstoffe eingesetzt werden (Schwarzlauge, Rinde, Altholz, Reject und Schlämme). Der restliche Anteil stammt aus fossilen Brennstoffen, insbesondere Erdgas.

Die Treibhausgas-Emissionen der Branche Papier und Druck sind hauptsächlich auf den Einsatz fossiler Brennstoffe (Abbildung 4) für die Erzeugung von Strom und Dampf zurückzuführen, der in den Produktionsprozessen, insbesondere bei der Papiertrocknung, benötigt wird.

In Tabelle 1 sind die Benchmark-Daten des Energieverbrauchs und der Emissionen der Branche Papier und Druck in Österreich im Vergleich zum EU-Durchschnitt zusammengefasst. Die Daten für die EU-Ebene stammen aus den Berichten der „Confederation of European Paper Industries (CEPI)“, die die meisten EU-Länder, sowie das Vereinigte Königreich abdecken. Wie aus Tabelle 1 und Abbildung 5 hervorgeht, ist der Emissionsfaktor der Branche Papier und Druck in Österreich höher als im EU-Durchschnitt. Dieser EU-Durchschnitt wird insbesondere durch die mengenmäßig starke Zellstoffproduktion in Schweden und Finnland positiv beeinflusst, welche in etwa 70% biogener Brennstoffe in ihrem Branchenenergiemix einsetzen.

Region	Kennzahl	Wert
Europa – EU-27	Produktion in Mio. Tonnen pro Jahr	102,20
Europa – EU-27	Spezifischer Energieverbrauch in GJ/t _{Produkt}	13,38
Europa – EU-27	Spezifische Emissionen in t _{CO₂eq} /t _{Produkt}	0,38
Österreich	Produktion in Mio. Tonnen pro Jahr	5,90
Österreich	Spezifischer Energieverbrauch in GJ/t _{Produkt}	13,53
Österreich	Spezifische Emissionen in t _{CO₂eq} /t _{Produkt}	0,41

Tabelle 1

Benchmarks für die Branche Papier und Druck in Österreich bzw. in der EU-27 für das Jahr 2019

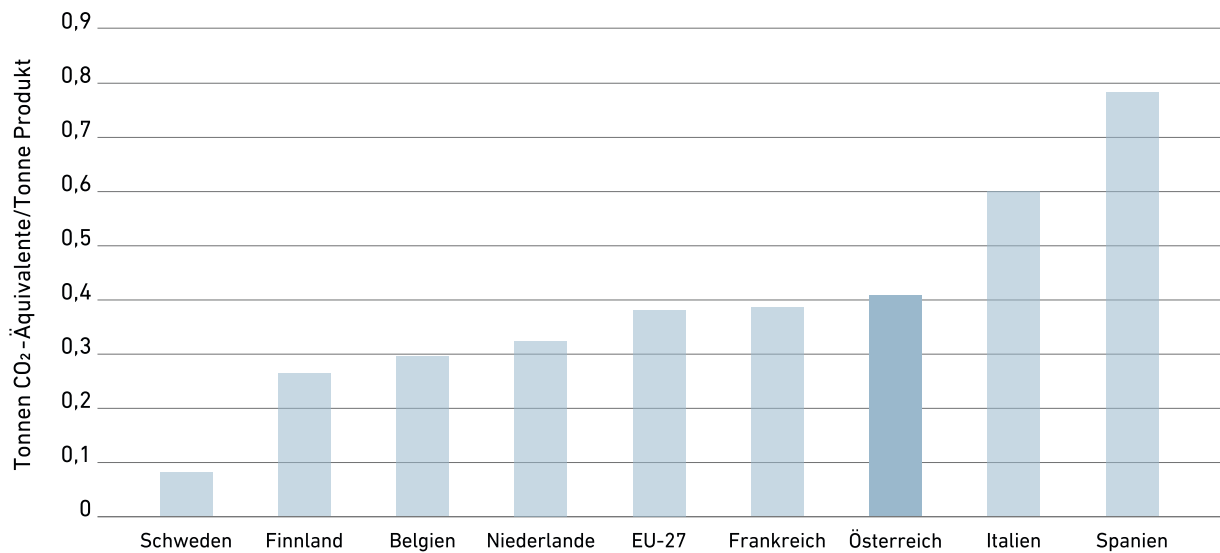


Abbildung 5
Vergleich der spezifischen Emissionen in ausgewählten europäischen
Ländern je Tonne Produkt für die Branche Papier und Druck

2.0 Transformationspfade

Die Erkenntnisse zur Transformation vom Status Quo zur Klimaneutralität in der Branche Papier und Druck wurden mit einem mehrstufigen Ansatz gewonnen. Zuerst wurden ausgehend vom Energieeinsatz 2020, zukünftig eingesetzte Energieträger und -mengen für unterschiedliche Entwicklungspfade in Fünfjahres-schritten bis 2040 in vier Szenarien modelliert, vgl. Abschnitt 2.1. Ein Überblick zu den Entwicklungspfadern wird im folgenden Abschnitt gegeben, 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, vgl. Abschnitt 2.2. Durch die Analyse der volkswirtschaftlichen Effekte wurden die branchenspezifischen Schlüsseltechnologien identifiziert und weitere Handlungsempfehlungen abgeleitet, vgl. Abschnitt 2.3 bzw. 2.4.

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

- Umgebungs-/Abwärme,
- Elektrizität sowie
- biogene Energieträger (fest, flüssig und gasförmig) und
- erneuerbare Gase, wie bspw. Methan aus biogenen Ressourcen, im Weiteren oft als Biomethan bezeichnet, oder erneuerbarer Wasserstoff (in gewissen Szenarien)

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 gesamtweitlich 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:** Vordergründig sind das die kaskadische Nutzung von Grundstoffen wie zum Beispiel Holz (stoffliche Nutzung vor energetischer Nutzung, Verkauf von Sekundärenergieträgern) oder aber auch der branchenübergreifende Austausch von Energieträgern, angepasst an die erzielbare Verbrennungstemperatur, bzw. Bedarf von Produktionsprozessen. Dadurch leitet sich bspw. für die Branche Papier und Druck die Maßnahme ab, branchen-interne biogene Reststoffe direkt oder nach Umwandlungsprozessen als gasförmige Energieträger zu verkaufen bzw. ins Netz einzuspeisen um die Nutzung dieser in anderen Branchen mit höheren Prozesstemperaturen zu ermöglichen.

Zusammenfassend ist ein wesentlicher Effekt daraus, dass ein reduzierter thermischer (Dampf) Bedarf durch Nutzung von Hochtemperaturwärmepumpen die Veredelung und Verkauf von biogenen Reststoffen erlaubt. Diese Steigerung der Wertschöpfung aus den Rohstoffen ist jedoch kapitalintensiv. Siehe dazu auch Abschnitt 2.4.

2.1 Zusammenfassung der branchenspezifischen Szenarien-Ergebnisse für die eingesetzten Energieträger

Der zukünftige Energiebedarf der Branche Papier und Druck 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 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 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 6* dargestellt. Es lassen sich langfristig für 2040 zwei mitunter stark gegenläufige Trends in der Branche erkennen: zum einen der Einsatz von Biomethan sowie Biomasse und zum anderen eine zunehmende Elektrifizierung. Die folgende Beschreibung behandelt vorrangig das betrachtete Zieljahr 2040.

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

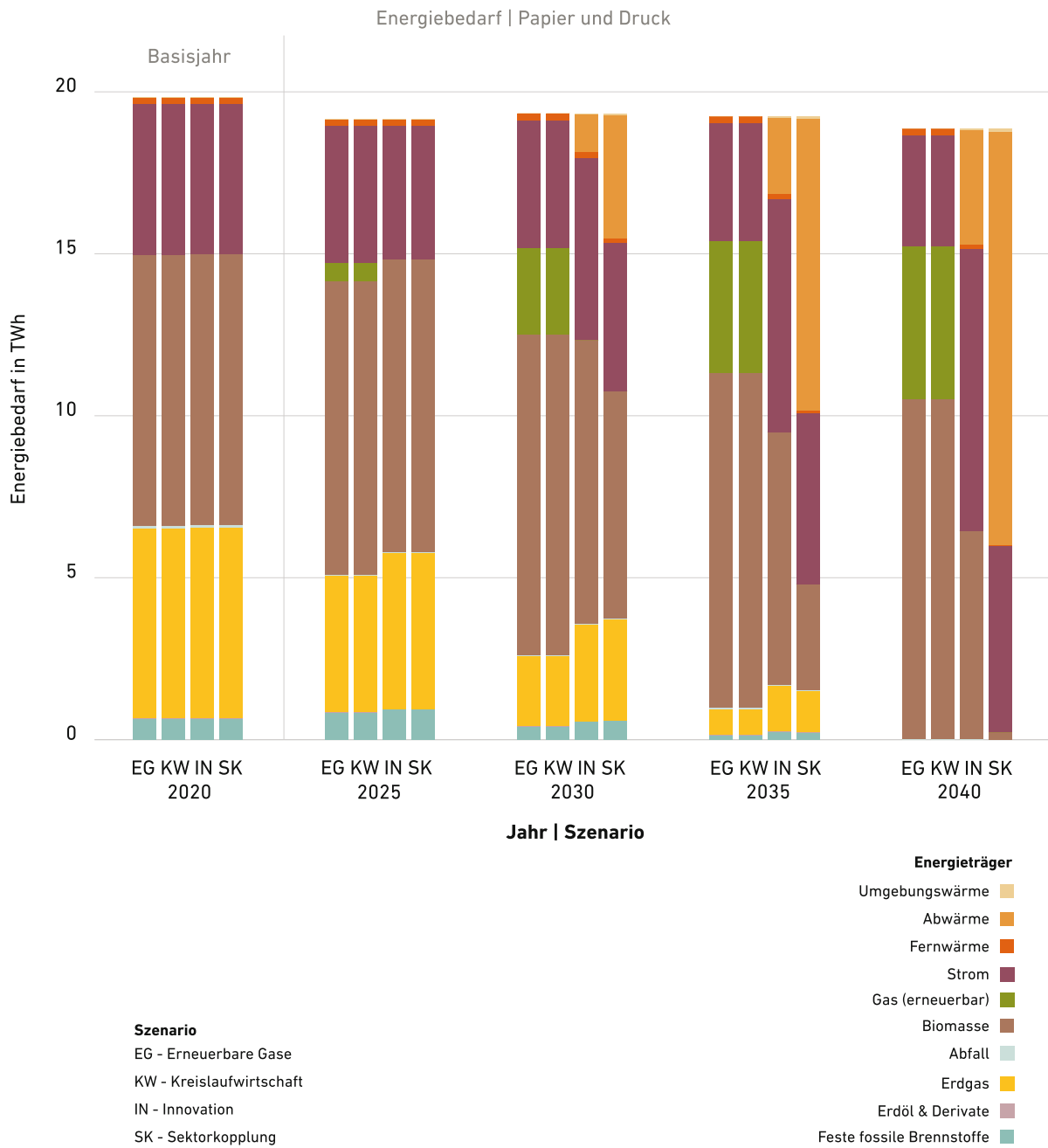


Abbildung 6

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 von Zement aber auch Stahl effizienter wird. Für die Branche Papier und Druck ergeben sich somit keine Unterschiede zwischen den Annahmen und Ergebnissen dieser zwei Szenarien. Unterschiede sind hier vor allem in den Branchen Steine, Erden, Glas oder Eisen und Stahl ersichtlich.

Das Szenario Innovation (IN) nimmt für die Branche Papier und Druck an, dass durch die konsequente Umsetzung innovativer Technologien (s. u.) die Nutzung von brancheninternen Abwärmepotenzialen verbessert und damit der Verbrauch von konventionellen Energieträgern, vor allem Erdgas zur Dampferzeugung reduziert werden kann. Für die Branche Papier und Druck 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 hochexergetische² Energieträger werden über Standortgrenzen hinweg, gemäß optimalem exergetischen Einsatz, verwendet. Für die Branche Papier und Druck bedeutet das, dass zum einen mehr Wärmepumpen eingesetzt werden und zum anderen biogene Energieträger (z. B. feste Biomasse und Schwarzlauge) nicht mehr am Standort eingesetzt werden, sondern als erneuerbare Energieträger, z. B. als Biogas, verkauft werden.

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 (relativ teuer) substituiert. Auch der Energieträger Biomasse trägt außer im Entwicklungspfad des Szenarios Sektorkopplung langfristig zur klimaneutralen Produktion bei. Allen Entwicklungspfaden gemein ist die Relevanz des Einsatzes von Strom im Rahmen einer klimaneutralen Produktion.

Die Erkenntnisse aus der Modellierung zeigen, wie in Abbildung 7 dargestellt, dass sich im Rahmen der analysierten Entwicklungspfade zwei unterschiedliche, stark gegenläufige Trends zeigen – zum einen der Einsatz von erneuerbaren Gasen vs. eine zunehmende Elektrifizierung. Dazu wird in Abbildung 7 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

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.

Energiemenge, deren Mix keine Überschneidung mit den weiteren Ergebnissen hat, ist in weiß dargestellt. Die Schnittmenge des Energieträgermixes, die in den ersten zwei Säule zu sehen ist, setzt sich vorrangig aus Strom und einem geringen Anteil an Biomasse zusammen und lässt Rückschlüssen auf die Robustheit der gesetzten Maßnahmen zu. Im Vergleich zum Gesamtenergiebedarf 2020 aber auch 2040 ist sie allerdings mit weniger als 25 % gering, wodurch die Relevanz einer klaren Empfehlung für die weitere Entwicklung betont wird. Über diese Schnittmenge hinaus, die ab der zweiten Säule in dunkelgrau dargestellt ist, gibt es keine Schnittmengen für alle Szenarien für das Jahr 2040. In den weiteren Säulen werden zusätzlich die unterschiedlichen weiteren Energieträger für die vier Szenarien dargestellt (Säule drei bis sechs).

Hier werden folgende Effekte ersichtlich:

- Säule drei und Säule vier sind, wie schon in *Abbildung 6* gezeigt, ident.
- Es gibt zwei grundsätzlich unterschiedliche Trends. Während der erste Trend auf dem Einsatz erneuerbarer Gase aufbaut, ist als zweiter Trend eine zunehmende Elektrifizierung ersichtlich, mitunter kombiniert mit einer Reduktion des Einsatzes branchen-interner biogener Reststoffe.

Die Reduktion des Einsatzes der branchen-internen biogenen Energieträger (möglich durch Wärmerückgewinnung, bzw. Elektrifizierung), und ein zur Verfügung stellen dieser für hochtemperatur-Prozesse in anderen Branchen führt zu reduzierten Bedarfen für Energieträgerzukauf. Als Folgewirkung sind für die Branche und Gesamt-Österreich dadurch wirtschaftliche Vorteile zu erwarten.

Energiebedarf im Vergleich | Papier und Druck

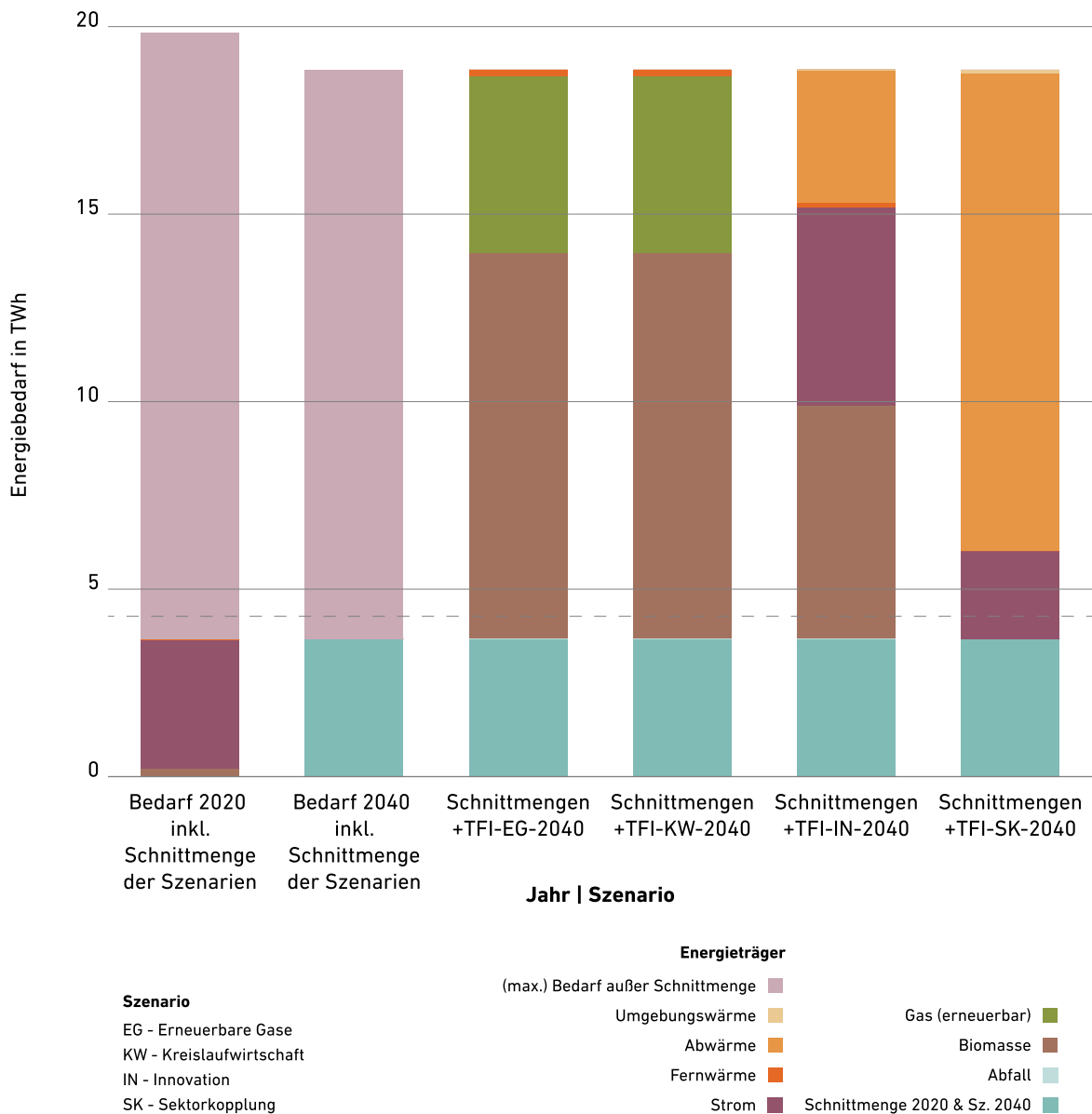


Abbildung 7

Vergleich der Schnittmengen und Unterschiede des eingesetzten Energieträgermixes des eingesetzten Energieträgermixes gemäß Modellergebnis.

Die relativen Anteile der Nutzenergiesegmente aber auch deren absolute Energiemengen sind proportional zur gesteigerten Wertschöpfung in der Branche und ändern sich hier wenig. Dieses Ergebnis ist in Abbildung 8

dargestellt. Die Anwendung mit dem größten Nutzenergieverbrauch in der Branche Papier und Druck ist Prozesswärme <200 °C gefolgt von den Standmotoren.

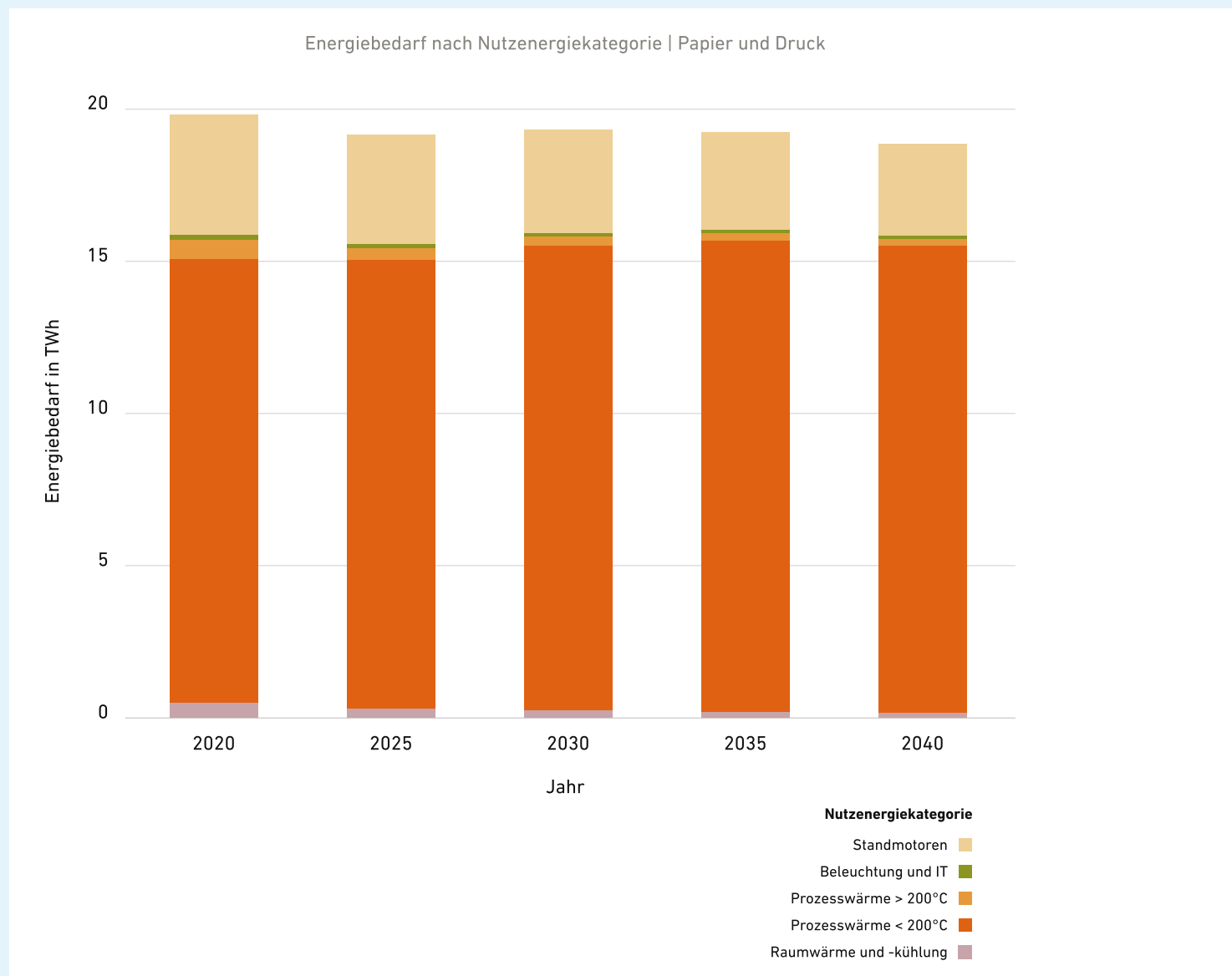


Abbildung 8
Energieverbrauch der Branche gegliedert nach Nutzenergie für den Status Quo 2020 und je Szenario für die Jahre 2025, 2030, 2035, 2040.

2.2 Investitionsbedarfe und potenzielle

Stranded Assets³

Die in den Leistungs- und Strukturdaten der Statistik Austria erfassten Gesamtinvestitionen in der Branche Papier und Druck lagen in den Jahren 2008–2019 bei durchschnittlich 405 Mio. € pro Jahr. Davon entfielen durchschnittlich 96% auf Investitionen in Sachanlagen, wozu sowohl Neuanlagen als auch Investitionen in den Bestand zählen. Beibehalten aktueller Prozessketten und entsprechende **Fortschreibung dieser Investitionszyklen würde ein Gesamtvolumen an Investitionen in Sachanlagen von ca. 3,1 Mrd. € bis 2030 bzw. ca. 7 Mrd. € bis 2040 ergeben.** Im Vergleich dazu betragen die ermittelten **Investitionskosten für die Transformation**, die in erster Linie die Bereitstellung von Prozesswärme betreffen, je nach Szenario, **bis zu 295 Mio. € pro Jahr bzw. in Summe bis zu 3,6 Mrd. € bis 2040** (siehe Abbildung 9). Davon betreffen rd. 35% direkte Investitionen für Equipment, der Rest bezieht sich auf indirekte Investition, wie z. B. Engineering, periphere Komponenten, oder Bautätigkeiten.

In dieser Branche entfällt ein Großteil des Energieeinsatzes auf die Bereitstellung von Prozesswärme. **Potenzielle Stranded Assets sind hier in erster Linie vom Transformationspfad abhängig, was auch durch die Analyse der Ergebnisse der Szenarien in Abschnitt 2.1 deutlich wird. Konkurrierende Trends für zukünftige Entwicklungen in dieser Branche sind der Einsatz von Biomasse und Biomethan vs. eine (zunehmende) Elektrifizierung der Prozesswärmebereitstellung.** Im letzteren Fall, also dem Einsatz von Wärmepumpen, und/oder erhöhter Abwärmennutzung anstatt bestehender Gaskessel, können aufgrund des aktuell hohen Erdgaseinsatzes hier durch aus Stranded Assets in signifikantem Ausmaß entstehen. Dem stehen allerdings deutlich höhere Energiekosten für erneuerbare Gase gegenüber. Aus einer Risikoperspektive ist es daher ratsam auf Wärmerückgewinnung und Elektrifizierung zu setzen, wie im Szenario Sektorkopplung.

Zudem ist zu beachten, dass heute ein wesentlicher Anteil der Prozesswärme <200 °C aus biogenen Brennstoffen (z. T. aus im Prozess gewonnener Schwarzlauge) gewonnen wird. Ein weiterer wesentlicher Anteil der Treibhausgas-Emissionen in dieser Branche entfällt derzeit noch auf Standmotoren. Da ein überwiegender Teil dieser bereits heute elektrifiziert ist, werden im Zuge der Transformation zur Klimaneutralität der Branche in diesem Bereich keine nennenswerten Stranded Assets erwartet. Durch vermehrten Anteil erneuerbaren Stroms im Netz und reduziertem Erdgaseinsatz in KWKs reduzieren sich diese Emissionen.

Während aus betriebswirtschaftlicher bzw. mikroökonomischer Sicht bei ausreichenden Platzverhältnissen am Standort vor allem der Einsatz von Biomasse bzw. weiteren biogenen (Fest-)Stoffen, wie z. B. Reststoffen aus dem Prozess eine derzeit praktizierte Lösung darstellt, relativiert die Analyse der makroökonomischen und volkswirtschaftlichen Aspekte diese Vorteile. Durch die Transformation im gesamten produzierenden Sektor nimmt die Zahl der konkurrierenden Prozesse nicht nur zur energetischen, sondern auch zur stofflichen Nutzung von kohlenstoffhaltigen Ressourcen, wie Biomasse zu. Aus makroökonomischer Perspektive (Preisdruck) ist daher die Investition in Anlagen zur Prozesswärmebereitstellung unter 200 °C mittels biogener Ressourcen ein wahrscheinliches Stranded Asset. Für Biomethan ist ein Anstieg des Preises, durch stark steigende Nachfrage von Branchen mit Hochtemperatur-Wärmebedarf ein realistischer Entwicklungspfad. Unter diesen Voraussetzungen sind aus makroökonomischer Perspektive vor allem Investitionen in Wärmerückgewinnung und Elektrifizierung empfehlenswert. Und folglich die oben schon beschriebene Biogasherstellung aus den dann verfügbaren biogenen Restmassen zum Verkauf.

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

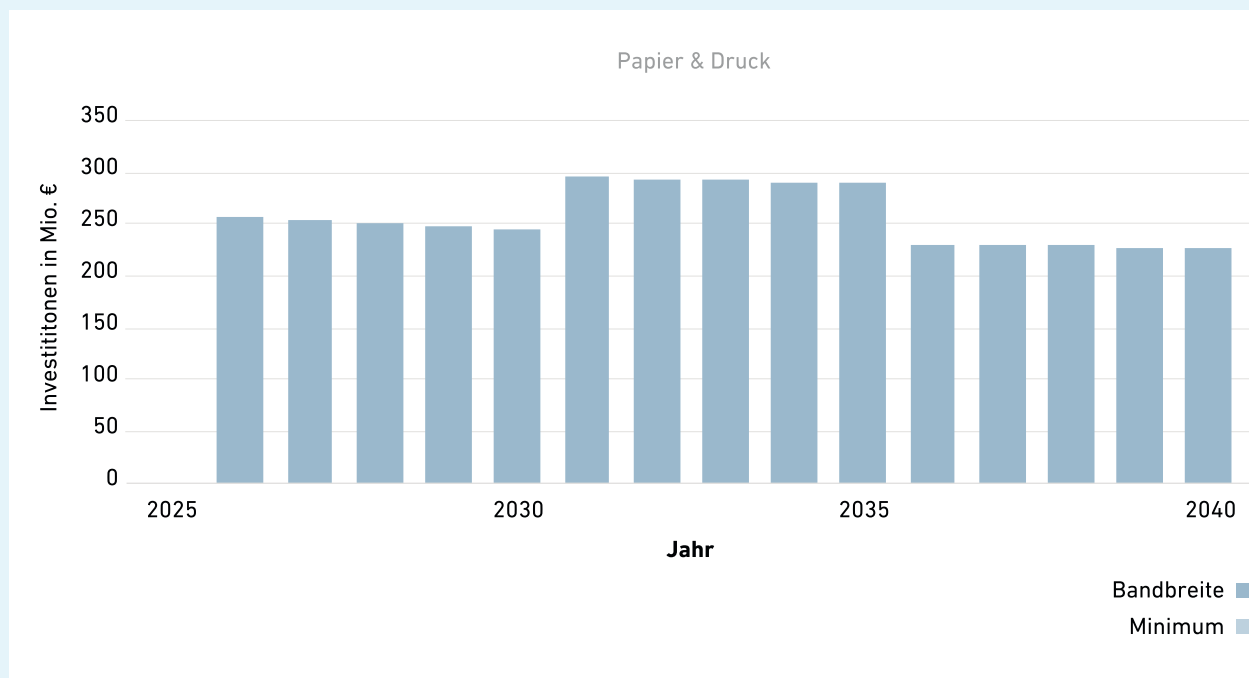


Abbildung 9
 Notwendiger Investitionsbedarf für die Transformation
 (Bandbreite aus den Szenarien) in der Branche Papier & Druck

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	Marktreif – etabliert	Empfehlenswert
Raumwärme	Integration Wärmepumpen – Nutzung Umgebungswärme oder industrielle Abwärme (standortintern oder -übergreifend)	Niedrig	Teuer	Mittel	Hoch	Marktverfügbar	Empfehlenswert
	Direkte Wärmerückgewinnung (standortintern oder -übergreifend)	Niedrig	Preiswert	Preiswert	Hoch	Marktverfügbar	Empfehlenswert
	Geothermie	Niedrig	Teuer	Preiswert	Hoch	Marktreif	Bedingt empfehlenswert
	Erhalt/Ersatz der Bestandsstruktur & Energieträgerwechsel für fossile Brennstoffe (erneuerbare Gase – grüner H ₂ / erneuerbares CH ₄)	Niedrig	Preiswert	Teuer	Niedrig	Etabliert	Bedingt empfehlenswert
	Einsatz Fernwärme	Niedrig	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)	Hoch	Preiswert	Teuer	Niedrig	Etabliert	Bedingt empfehlenswert
	Erhalt Bestandsstruktur bzw. Neuanlagen für feste Brennstoffe wie Biomasse oder Ersatzbrennstoffe	Hoch	Teuer	Mittel	Niedrig	Etabliert	Bedingt empfehlenswert
	Vergasung biogener Rohstoffe und Einsatz in anderen Branchen	Hoch	Teuer	Mittel	Mittel	Vor-marktreif	Bedingt empfehlenswert
	Elektrifizierung bzw. Integration Hochtemperatur-Wärmepumpe	Hoch	Mittel bzw. Teuer	Mittel	Hoch	Etabliert bzw. Vor-marktreif	Empfehlenswert
	Branchen-übergreifende direkte Abwärmenutzung	Hoch	Mittel	Niedrig	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)	Niedrig	Preiswert	Teuer	Niedrig	Etabliert	Empfehlenswert
	Erhalt Bestandsstruktur bzw. Neuanlagen für feste Brennstoffe wie Biomasse oder Ersatzbrennstoffe	Niedrig	Preiswert	Mittel	Niedrig	Etabliert	Empfehlenswert
	Elektrifizierung der Prozesswärmebereitstellung < 1000 °C	Niedrig	Mittel	Teuer	Hoch	Marktverfügbar	Empfehlenswert
Standmotoren	Selbstfahrende Arbeitsmaschinen: Ersatz von Dieselantrieben durch BEV	Niedrig	Teuer	Mittel	Mittel	Marktreif	Bedingt empfehlenswert
	Selbstfahrende Arbeitsmaschinen: Ersatz von Dieselantrieben durch FCEV	Niedrig	Teuer	Mittel	Niedrig	Vor-marktreif	Bedingt empfehlenswert

Tabelle 2
Branchenspezifische Schlüsseltechnologien
für die Branche Papier und Druck

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 sowie gemäß den Kriterien in Tabelle 2 als empfehlenswert und somit in Summe als **volkswirtschaftlich vorteilhaft** eingestuft.
2. Die Maßnahme hat ein für die Branche hohes, **erhebliches Potenzial zur Emissionsminderung** (vgl. Spalte 3 in Tabelle 2).
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 2).

Daraus abgeleitet werden Maßnahmen wie z. B. Elektrifizierung allgemein und Wärmepumpen bzw. Wärmerückgewinnung für Raum- und Prozesswärme, in diesem Abschnitt besonders detailliert behandelt. Auch anwendungsübergreifende Effizienzmaßnahmen werden beschrieben. Aufgrund des geringen Anteils der Prozesswärme über 200 °C werden Detailmaßnahmen für diesen Anwendungsbereich nicht angeführt.

Über die beschriebenen Schlüsseltechnologien hinweg muss folgende Besonderheit bzw. Herausforderung bei der Dekarbonisierung der Branche hier noch erwähnt werden: der hohe Anteil an Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (Gas- und Dampfturbinen sowie Kombinationen solcher) kann bei Dekarbonisierung der Branche Papier und Druck zu neuen Anforderungen für den Sektor Energie führen. Mit den bestehenden Anlagen, geht aktuell die Kopplung von Strom- und Dampferzeugung sowie hohe Eigenversorgung mit elektrischer Energie einher. Dekarbonisierungsmaßnahmen können zu Änderungen dieser Struktur führen, wodurch bspw. zukünftig deutlich mehr Strom durch den Sektor Energie bereitgestellt werden muss, bedingt durch zwei Effekte: die erhöhte Elektrifizierung der Wärmebereitstellung sowie die reduzierte Eigenerzeugung. Als Folgemaßnahme ist auch ein Sicherstellen entsprechender Netzanschlussleistungen notwendig. Darüber hinaus kann eine Investition in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, die mit erneuerbaren bzw. biogenen Brennstoffen betrieben werden, durch die stoffliche und energetische Nutzungskonkurrenz aus anderen Branchen als Stranded Asset enden.

Technologien zur Prozesswärmebereitstellung mit hohem Dekarbonisierungspotenzial

Kriterium	Beschreibung: Wärmepumpe zur Prozesswärmebereitstellung
Relevanz für die Branche Papier und Druck	<p>Ein hoher Anteil der Prozesswärme in der Branche Papier und Druck liegt als Dampf zwischen 120 bis 185 °C vor. Temperaturen im Bereich von 180 °C sind z. B. für die Trocknung von Karton erforderlich, während Fein- und Spezialpapiere Dampfkonsumenten im unteren Bereich der genannten Temperaturskala sind. Da zudem Abwärme (feuchte Luft) bei der dampfintensiven Papiertrocknung anfällt, bietet sich diese Quelle für zukünftige Wärmepumpe an. Die Kombination aus Wärmepumpen und Dampfverdichtern bietet hohes Anwendungspotenzial auch für Prozesse zwischen 150 und 200 °C. 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 als empfehlenswert eingestuft.</p>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Abwärmennutzung und dadurch weniger Primärenergieeinsatz bei gleichzeitiger Dekarbonisierung der Stromversorgung möglich – Erhöhung der Energieeffizienz – Kosteneinsparungen und schnelle Amortisationszeiten bei großer Abwärmemenge möglich – Weitere Leistungszahl- und Dampf Temperatursteigerung 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 für große Leistungen und Dampfzerzeugung – 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 – Technology-Readiness-Level: 8–9 für Dampfverdichter – 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 3

Schlüsseltechnologie Wärmepumpe zur Prozesswärmebereitstellung: Eigenschaften der Technologie

Kriterium	Beschreibung: Wärmerückgewinnung zur Prozesswärmebereitstellung
Relevanz für die Branche Papier und Druck	Ein hoher Anteil der Prozesswärme in der Branche Papier und Druck liegt als Dampf zwischen 120 bis 185 °C vor. Das Potenzial der branchen-internen direkten Wärmerückgewinnung ist als gering einzuschätzen. Für entsprechende Standorte kann jedoch direkte Wärmerückgewinnung zur Prozesswärmebereitstellung attraktiv sein. Diese Technologie kann bei entsprechenden Voraussetzungen einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung in der Branche liefern und ist aus Effizienz- und Exergieperspektive als empfehlenswert einzustufen .
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 4

Schlüsseltechnologie Wärmerückgewinnung zur Prozesswärmebereitstellung: Eigenschaften der Technologie

Kriterium	Beschreibung: Elektrifizierung zur Prozesswärmebereitstellung
Relevanz für die Branche Papier und Druck	In der Branche Papier und Druck kann die Bereitstellung der Prozesswärme auch über die Elektrifizierung von Industrieöfen bzw. der Dampferzeugung erfolgen. Das Dekarbonisierungspotenzial ist hoch. Vor allem für jene Anwendungsfälle, wo der Einsatz von Wärmepumpen den Prozessbedarf nicht allein decken kann, bzw. geringe Prozesswärmemengen bei höheren Temperaturen anfallen (> 200 °C) kann diese Technologie einen relevanten Beitrag leisten.
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Reduktion Primärenergie – Reduktion Abgasvolumina – Keine Stickoxidzunahme
Nachteile	– 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 – Netzanschluss bzw. elektrischer Energiebereitstellung muss entsprechend hoch sein

Tabelle 5

Schlüsseltechnologie Elektrifizierung zur Prozesswärmebereitstellung: Eigenschaften der Technologie

Technologien zur Verbesserung der Effizienz

Kriterium	Beschreibung: Reduktion der Primärenergie
Relevanz für die Branche Papier und Druck	Vermehrter Altpapiereinsatz (Stichwort Kreislaufwirtschaft) im Vergleich zu Zell- oder Holzstoffeinsatz kann den Energieeinsatz in der Branche reduzieren. Dadurch werden Emissionen reduziert, jedoch sind Einschränkungen bei den hergestellten Produkten (bspw. Trend zu Verpackungsmaterialien statt Magazinpapier) bzw. bei der hergestellten Qualität zu erwarten. Die entsprechenden Umstellungen müssen daher für alle Einzelfälle geprüft werden. Weitere Effizienzpotenziale sind bspw. Absenken von Dampftemperaturen, Reduktion von Verlusten in Dampfnetzen oder die Effizienzverbesserung konventioneller Elektromotoren (Regelung, Magnetisierung).
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 (Kreislaufwirtschaft) aber auch beim Senken von Temperaturniveaus mitunter hohe Investitionen und hohen Aufwand
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> – Entsprechend hohe Recycling- und Rücklaufquoten sowie Qualität erforderlich – Sammlungs- und Aufbereitungsinfrastruktur erforderlich – Erhalten der Produkteigenschaften und -qualität technisch herausfordernd – Mitunter neue Produkte und Entwicklung erforderlich – Umstellung organisatorischer Abläufe erforderlich
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Technology-Readiness-Level: 9 – Analyse des Produktes erforderlich – Vertragliche Abstimmung bei standort-übergreifender Nutzung entscheidend

Tabelle 6

Schlüsseltechnologien zur Reduktion der
Primärenergie: Eigenschaften der Technologie

Technologien zur Raumwärmebereitstellung und damit einhergehenden Effizienzverbesserung

Kriterium	Beschreibung: Wärmepumpe zur Raumwärmebereitstellung
Relevanz für die Branche Papier und Druck	Der Raumwärmebedarf der Branche Papier und Druck ist im Vergleich zum Prozesswärmebedarf niedrig. Aktuell die Raumwärme oft durch gegebenen Versorgungsanlagen mitversorgt, wodurch die Vorlauftemperaturen für den Anwendungsfall hoch 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 7

Schlüsseltechnologie Wärmepumpe zur Raumwärme-
bereitstellung: Eigenschaften der Technologie

Kriterium	Beschreibung: Wärmerückgewinnung zur Raumwärmebereitstellung
Relevanz für die Branche Papier und Druck	Der Raumwärmebedarf der Branche Papier und Druck ist im Vergleich zum Prozesswärmebedarf niedrig. 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 8
Schlüsseltechnologie Wärmerückgewinnung zur Raumwärme-
bereitstellung: Eigenschaften der Technologie

2.4 Handlungsempfehlungen

Zusätzlich zu den allgemeinen Handlungsempfehlungen für die gesamte Industrie werden für diese Branche folgende spezifische Empfehlungen formuliert, die sich an den im Endbericht beschriebenen Handlungsfeldern orientieren.

Handlungsfeld	Empfehlungen
Förderung von F&E	<ul style="list-style-type: none"> – Im Bereich direkter F&E sollte die Entwicklung folgender Technologien gefördert werden: <ul style="list-style-type: none"> - Prozessoptimierung mit dem Fokus auf der Senkung von Temperaturen und der Primärenergieeinsparungen - Weiterentwicklung der Strichtrocknung (Prozesswärme über 200 °C) mit erneuerbarer Energiebereitstellung - Produktqualität sicherstellen bei neuen Verfahren und Produkten, - Neue Trocknungsverfahren entwickeln (z. B. Trocknung durch überhitzten Dampf mit Wärmepumpen) - Entwicklung geschlossener Trockenpartien von Papiermaschinen für Trocknung in überhitzter Dampfatmosphäre - Förderung von großen Demonstrationsanlagen (z. B. für Wärmepumpen noch ausständig)
Anreize und Förderungen von Investitionen	<ul style="list-style-type: none"> – Gezielte Investitions- aber auch Betriebskostenförderungen für die Branche Papier und Druck können helfen, die Wirtschaftlichkeit von elektrifizierten Anlagen zur Wärmebereitstellung (z. B. durch Wärmepumpen) zu erhöhen mit einer Präferenz für Anlagen mit COP > 1
Energieinfrastrukturen und Energiebereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> – Die Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom in ausreichender Menge ist Voraussetzung für die erfolgreiche Dekarbonisierung der Branche. Sollte es nicht gelingen, dies zu gewährleisten, ist Wasserstoff oder Biomethan als alternative Energieträger notwendig – Bei der standortübergreifenden Nutzung von erneuerbaren Energieträgern ist die entsprechende (Planungs-)Sicherheit zu gewähren
Bereitstellung von Material und Rohstoffen	<ul style="list-style-type: none"> – Eine ausreichende Menge von Holz und Altpapier mit entsprechender Qualität ist notwendig und folglich ist dies zu unterstützen.
Gesetzliche Rahmenbedingungen, Standards und Normen	<ul style="list-style-type: none"> – Bei der Nutzung der unterschiedlichen Energieträger und Ressourcen ist eine Klarheit in Bezug auf deren Einordnung (z. B. Reststoffe) sicherzustellen – Wärmepumpen: legislativer Rahmen (bspw. im Hinblick auf eingesetzte Arbeitsmedien) muss Planungssicherheit für Anwender und Technologieentwickler garantieren
Aus- und Weiterbildung sowie gesellschaftlicher Wandel	<ul style="list-style-type: none"> – Der große Mangel an Personal für die Entwicklung und Montage von industriellen Wärmepumpen in der Industrie, v. a. zur Dampfbereitstellung, kann aktuell nicht gedeckt werden und entsprechende Maßnahmen sind notwendig – Die Verankerung des Themas der Energiebereitstellung in Ausbildungsprogrammen für Berufe und Studien für die Papier- und Druckbranche (stärker interdisziplinär ausgerichtet) ist zu forcieren

Tabelle 9
Handlungsempfehlungen

Literaturverzeichnis

Statistik Austria, Energiegesamtrechnung. (2019). 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

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

JJ Ying


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