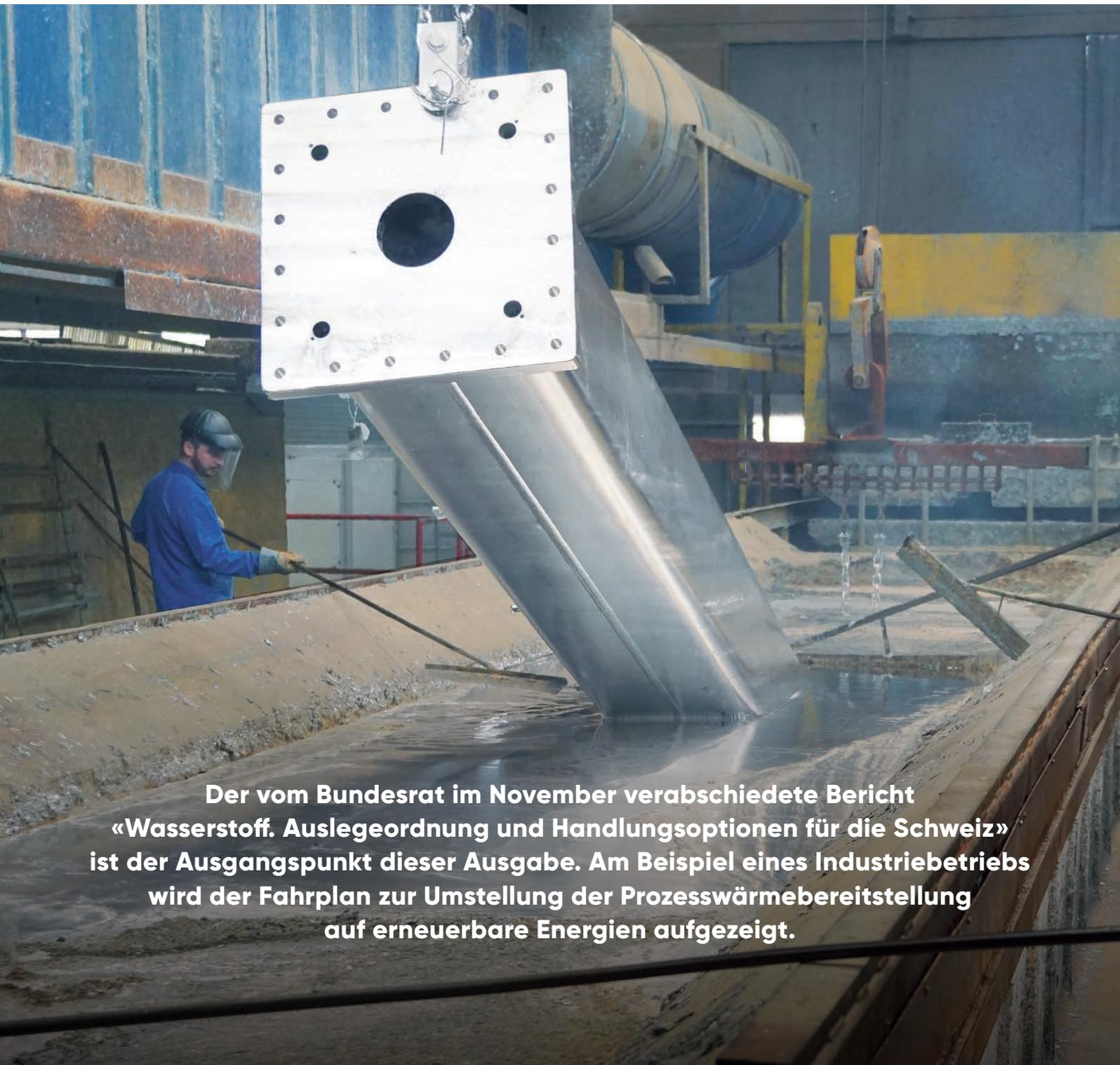


Prozesswärmebereitstellung mit Wasserstoff



Der vom Bundesrat im November verabschiedete Bericht «Wasserstoff. Auslegeordnung und Handlungsoptionen für die Schweiz» ist der Ausgangspunkt dieser Ausgabe. Am Beispiel eines Industriebetriebs wird der Fahrplan zur Umstellung der Prozesswärmebereitstellung auf erneuerbare Energien aufgezeigt.

Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft in der Schweiz

Der Bundesrat hat an seiner Sitzung vom 15. November 2023 den Postulatsbericht «Wasserstoff. Auslegeordnung und Handlungsoptionen für die Schweiz» verabschiedet. Der Bericht zeigt auf, welche Rolle Wasserstoff im künftigen Energiesystem der Schweiz spielen kann. Darin werden die Grundlagen beschrieben für eine nationale Wasserstoffstrategie, die im zweiten Halbjahr 2024 veröffentlicht werden soll.

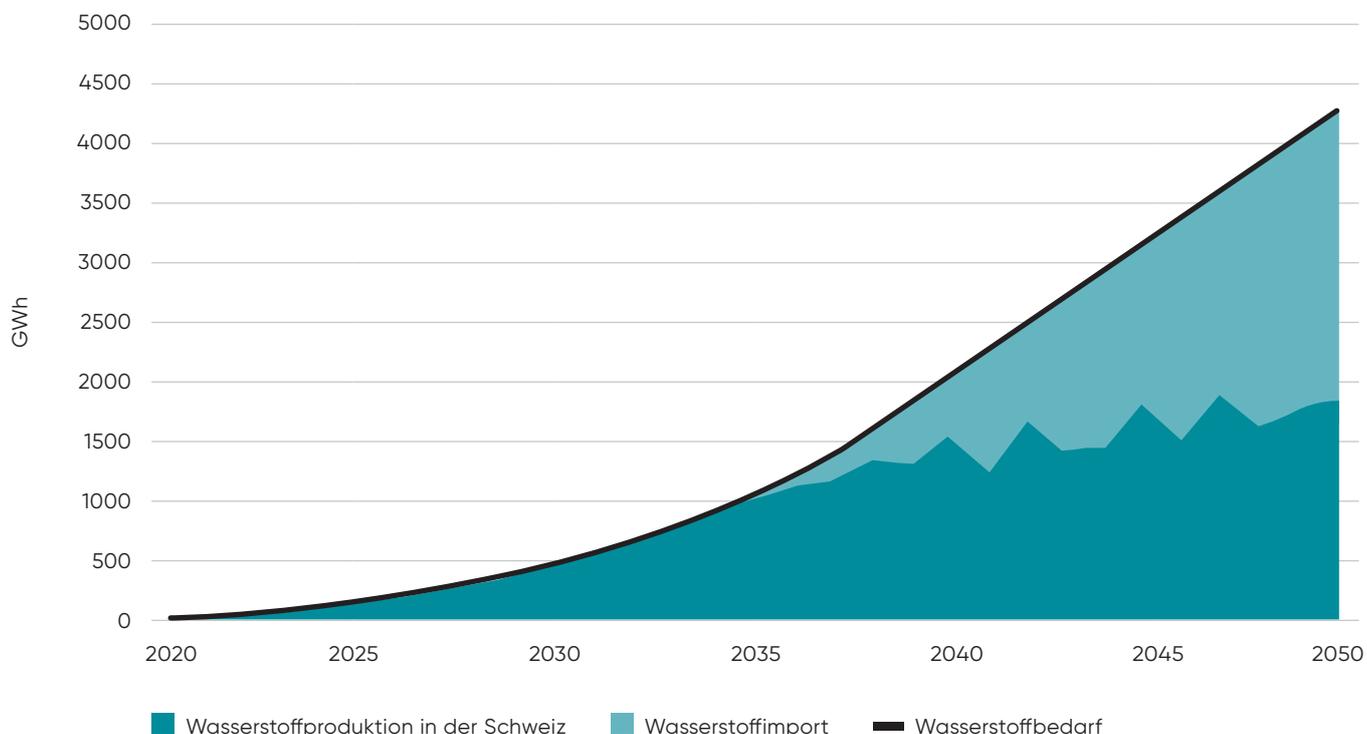
Gemäss dem Bericht kann Wasserstoff (H₂) einen wichtigen Beitrag leisten, die Treibhausgasemissionen bis 2050 auf Netto-Null zu reduzieren. Wasserstoff wird somit als Energieträger in den kommenden Jahren an Bedeutung gewinnen. Er kommt besonders dort zum Einsatz, wo es keine erneuerbaren Alternativen gibt, wie beispielsweise für die Erzeugung von Hochtemperaturprozesswärme.

Erst ab 2035 wird die Gasinfrastruktur in Europa so ausgebaut sein, dass Importe in die Schweiz möglich sind. Bis dahin muss der Wasserstoffbedarf in der Schweiz primär durch inländische Produktion gedeckt werden. Wasserstoff soll laut Bericht bei bestehenden Kraftwerken oder in Industriearealen produziert und direkt vor Ort genutzt oder weitertransportiert werden.

Massnahmen zur Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft in der Schweiz ab 2025

Investitionsentscheid zur Umrüstung der Transitgasleitung	Ausbau der Wasserstoffproduktion in der Schweiz
Umrüstung einzelner Gasnetze auf Wasserstoff	Aufbau von Wasserstoffinseln (z. B. Industrieareale)
Umrüstung von Industrieprozessen auf Wasserstoff	Ausbau der Wasserstoff-LKW-Flotte
Anschluss ans europäische Wasserstoffnetz (ab 2035)	Import von Wasserstoff via Gasnetz (ab 2035)

Wasserstoffbedarf versus Wasserstoffproduktion in der Schweiz



Quelle: Bericht des Bundesrats vom 15. November 2023 «Wasserstoff. Auslegeordnung und Handlungsoptionen für die Schweiz»

Technische Anforderungen an wasserstoffbetriebene Gasgeräte

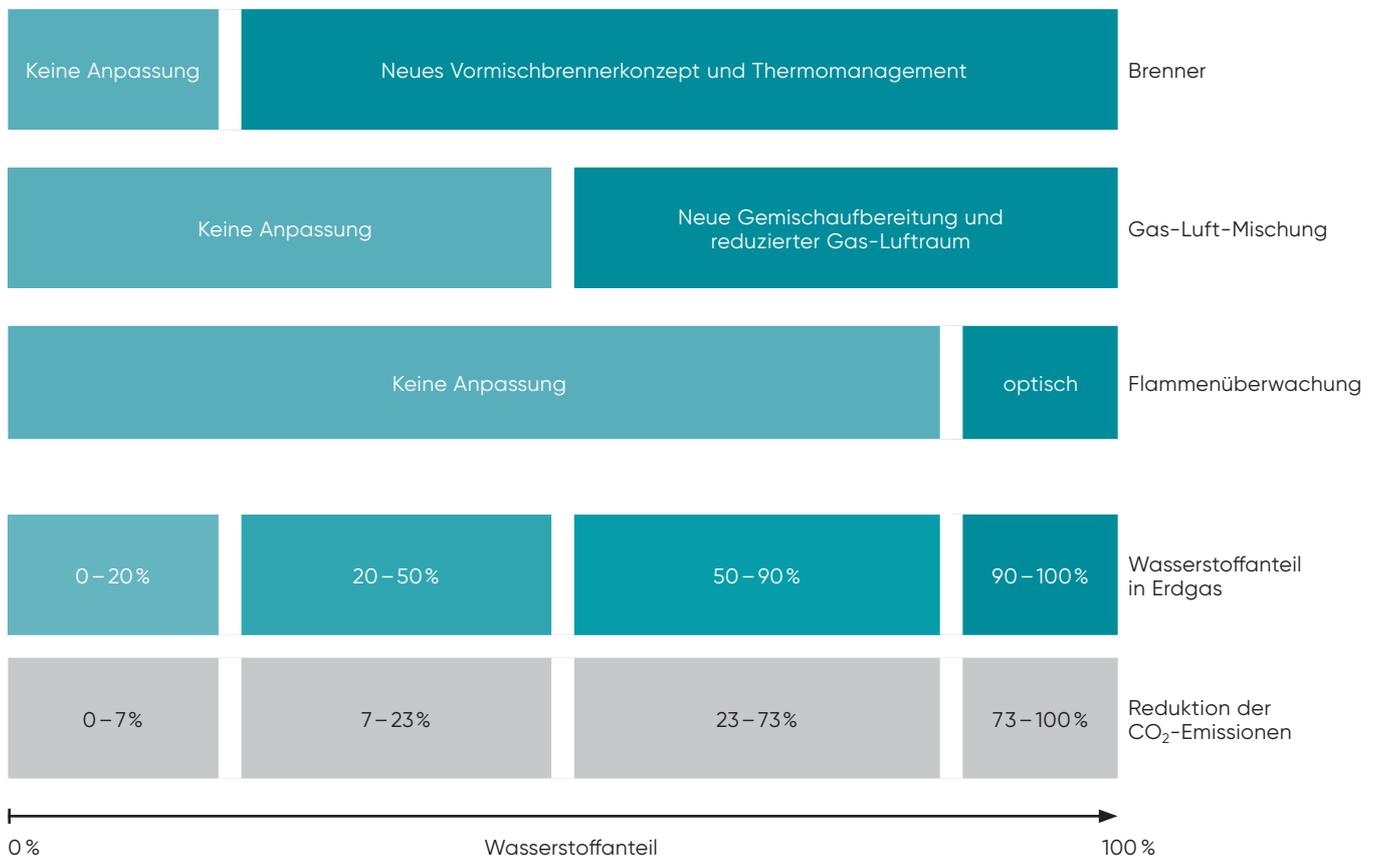
Bei der Verwendung von Wasserstoff gilt es, im Vergleich zu Erdgas einige Unterschiede zu berücksichtigen. Die Flamme ist farblos, die Flammentemperatur ist höher, brennt und zündet zudem auch schneller. Des Weiteren beträgt der volumetrische Energieinhalt nur ein Drittel im Vergleich zu Erdgas.

Die Temperatur der Wasserstoffflamme ist mit über 2000 °C deutlich höher als bei der Erdgasverbrennung, was zusätzlich die NOx-Bildung begünstigt. Des Weiteren ist die Flammgeschwindigkeit wesentlich höher und der Zündbereich viel grösser als bei Erdgas. Da Wasserstoff als kleinstes Atom einfacher durch Materialien diffundieren kann, gilt es, eine versehentliche Knallgasbildung durch geeignete Dichtungen unbedingt zu vermeiden. Ein zentraler Punkt ist der Heizwert von Wasserstoff, der pro Volumeneinheit im Vergleich zu Erdgas nur ein Drittel beträgt. Weitere wesentliche Unterschiede sind die farblose Flamme von Wasserstoff und die Wärmeabstrahlung. Während eine Erdgasflamme Strahlungen

im Infrarotbereich erzeugt, gibt eine Wasserstoffflamme in geringem Mass ultraviolette Strahlungen ab. Diese dienen als Messgrösse bei der Verbrennungsregelung.

Ein Wasserstoffgerät muss daher die technischen Voraussetzungen mitbringen, um das dreifache Brennstoffvolumen sowie die höheren Verbrennungstemperaturen bei gleichzeitig schnellerem Abbrandverhalten zu beherrschen. Dies betrifft insbesondere die Leitungen, die Düsen, das Brennergebläse und den Feuerraum. Die erhöhte NOx-Bildung beim Verbrennen von Wasserstoff lässt sich mithilfe einer Abgasrezirkulation zuverlässig auf gültige Abgasnormen reduzieren.

Technische Anpassungen bei Gasgeräten für den Einsatz von Wasserstoff



Quellen: Bosch Thermotechnik GmbH 2023; Envention GmbH 2023

Machbarkeitsstudie für erneuerbare Prozesswärme

Ein repräsentativer Schweizer Industriebetrieb der Baubranche hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2040 die Prozesswärmebereitstellung von Erdgas auf erneuerbare Energien umzustellen. Die Produktionsanlagen, die eine Lebensdauer von rund 30 Jahren aufweisen, müssen spätestens Anfang der 2030er-Jahre ersetzt werden. Die Envenion GmbH hat daher den Auftrag erhalten, mögliche Auswirkungen, die bei der Umstellung der Prozesswärmebereitstellung auf erneuerbare Energiequellen auftreten können, in einer Machbarkeitsstudie näher zu untersuchen.

Rahmenbedingungen für Industrieunternehmen in der Schweiz¹

Alle Industrieunternehmen in der Schweiz müssen nach dem neuen Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit «Klima- und Innovationsgesetz KIG» spätestens im Jahr 2050 Netto-Null-Emissionen aufweisen. Die Industrieunternehmen sollten bereits heute dafür Fahrpläne erstellen, was das Prüfen verschiedener Optionen z. B. mittels Machbarkeitsstudien voraussetzt.

Für die Bereitstellung von Prozesswärme bis zirka 300 °C sind elektrisch betriebene Hochtemperaturwärmepumpen (HTWP) in der Entwicklung. Für Prozesswärmemetemperaturen ab 300 °C stehen direkt elektrische Verfahren, wie beispielsweise Elektrodenkessel, Induktionsöfen oder Elektrolichtbogenöfen, zur Auswahl. Im Bereich der Hochtemperaturprozesse kann der Einsatz von Biomasse, Biogas, Wasserstoff oder auch synthetischem Methan eine sinnvolle Alternative darstellen. Welcher Energieträger sich dabei durchsetzen wird, hängt hauptsächlich von der Verfügbarkeit und dem Preis ab.

Wasserstoff wird in der Schweiz – Stand heute – voraussichtlich erst in der zweiten Hälfte der 2030er-Jahre in genügend grossen Mengen via Gasnetzinfrastruktur zur Verfügung stehen. Bis dann sollte der Anschluss an das europäische Wasserstoff-Transportnetz «European Hydrogen Backbone (EHB)» bestehen.

Ausgangslage für die Machbarkeitsstudie

Die Produktionsanlagen des untersuchten Industriebetriebs sind während 240 Tagen pro Jahr und 132 Stunden pro Woche durchgehend von Montag bis Samstag in Betrieb. Spätestens Anfang der 2030er-Jahre müssen die beiden Produktionslinien, die eine Lebensdauer von rund 30 Jahren aufweisen, ersetzt werden. Dies betrifft insbesondere die Gasbrenner, die aktuell in allen drei Prozesstemperaturbereichen zum Einsatz kommen. Der Prozesswärmebedarf, der gleichzeitig auch den Endenergiebedarf darstellt und aktuell bei rund 20 000 MWh pro Jahr liegt, wird vollständig mit Erdgas abgedeckt.

Aktueller Prozesswärmebedarf in den drei Temperaturbereichen

Prozesswärmemetemperatur	Anteil in MWh pro Jahr	Anteil in Prozent
80–100 °C	ca. 2600 MWh	ca. 13 %
250–300 °C	ca. 8400 MWh	ca. 42 %
750–850 °C	ca. 9000 MWh	ca. 45 %
Prozesswärmebedarf total	ca. 20 000 MWh	100 %

Ziel der Machbarkeitsstudie

Die Machbarkeitsstudie hat zum Ziel, mögliche Auswirkungen sowohl auf den Produktionsprozess als auch auf die Energieversorgung im Detail zu untersuchen, die sich bei der Umstellung auf erneuerbare Energien ergeben könnten. Der Auftraggeber wünscht des Weiteren, die erneuerbare Energieversorgung für die Bereitstellung der Prozesswärme anhand von mehreren Varianten zu vergleichen.

¹ Bericht des Bundesrats vom 15. November 2023 «Wasserstoff. Auslegeordnung und Handlungsoptionen für die Schweiz»

Ergebnis der Machbarkeitsstudie

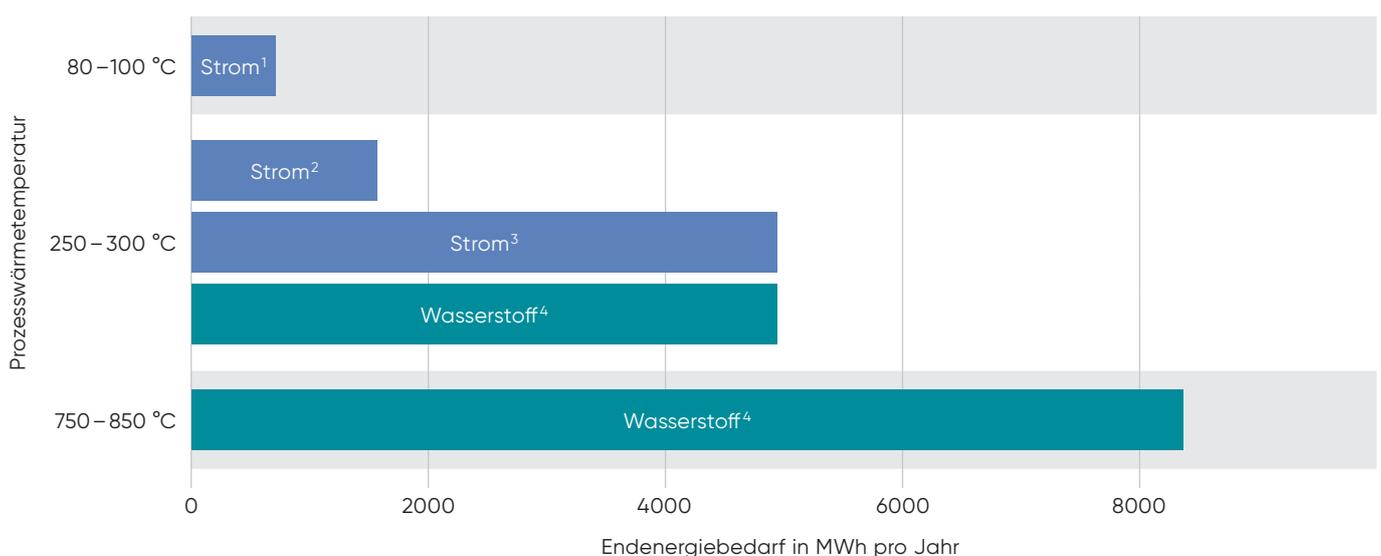
Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden drei Varianten untersucht, wie die Bereitstellung von Prozesswärme mit erneuerbaren Energieträgern ab Anfang der 2030er-Jahre aussehen könnte. Die Energiekosten für erneuerbaren Strom und grünen Wasserstoff wurden bewusst ausgeklammert, da eine seriöse Prognose der Anfang der 2030er-Jahre zu erwartenden Preise nicht möglich ist.

Die Prüfung der Produktionsanlagen ergab, dass bei einem Ersatz eine Effizienzsteigerung von rund 25 Prozent, aufgrund verbesserter Anlagentechnik, realisierbar ist. Beim Variantenvergleich (siehe Seite 6) für eine erneuerbare Prozesswärmebereitstellung wurde mit einer Energieeinsparung von 25 Prozent gerechnet. Damit verringert sich der jährliche Prozesswärmebedarf von aktuell 20 000 MWh auf 15 000 MWh. Basierend auf dem aktuellen Endenergiebedarf von 20 000 MWh pro Jahr ergeben sich folgende Einsparpotenziale: Bei der Variante A sind es rund 47 Prozent und bei den Varianten B und C sind es rund 31 Prozent.

Für die Untersuchung wurden erneuerbarer Strom und grüner Wasserstoff gewählt, da sie die Prozesswärme am besten bereitstellen können. In den Temperaturbereichen 80–100 °C und 250–300 °C ist Strom der effizientere Energieträger und daher zu priorisieren. Strom kann sowohl direkt oder auch indirekt via Wärmepumpen zur Prozesswärmebereitstellung eingesetzt werden. Im Temperaturbereich 750–850 °C ist der Einsatz von Wasserstoff die beste Option. Für die Berechnung des Endenergiebedarfs wurde bei beiden indirekt elektrischen Systemen ein COP (Coefficient of Performance) von 3 angenommen. Beim direkt elektrischen System und beim Gasbrenner wurde mit einem Nutzungsgrad von 1 gerechnet.

In der Tabelle (siehe Seite 6) sind drei Varianten vergleichend zusammengestellt. Unterschiede ergeben sich insbesondere bei der Bereitstellung im Temperaturbereich 250–300 °C. Hier kann Strom direkt oder indirekt und optional auch Wasserstoff eingesetzt werden. Wird Strom direkt elektrisch genutzt, muss zuerst die lokale Strominfrastruktur überprüft werden. Die Umstellung auf erneuerbare Energien ist technisch und auch bezüglich der Energieversorgung realisierbar. Da unklar ist, ab wann Wasserstoff via Gasnetz zur Verfügung steht, wurde auch die Versorgung per Trailer untersucht (siehe Seite 7). Die Entscheidung, mit welcher Variante die Bereitstellung der nötigen Prozesswärme erfolgen wird, ist erst ab 2029 möglich. Zu diesem Zeitpunkt sollte klar sein, ob Hochtemperaturwärmepumpen am Markt erhältlich sind und in welche Richtung sich die Energiepreise entwickeln.

Zukünftiger Endenergiebedarf in den drei Temperaturbereichen



¹ Indirekt elektrisch mit Wärmepumpe (WP)

² Indirekt elektrisch mit Hochtemperaturwärmepumpe (HTWP)

³ Direkt elektrisch mit Elektrodenkessel, Elektrolichtbogenofen, Induktionsofen

⁴ Mit Wasserstoff-Gasbrenner (optional im Temperaturbereich 250–300 °C)

Variantenvergleich für eine erneuerbare Prozesswärmebereitstellung

Prozesswärmetemperatur	80 – 100 °C	250 – 300 °C	750 – 850 °C
Prozesswärmebedarf pro Jahr	1800 MWh	4950 MWh	8250 MWh

Variante A – Prozesswärmebedarf total: 15 000 MWh pro Jahr = Endenergiebedarf total: 10 500 MWh pro Jahr

Energieträger	Strom	Strom	Wasserstoff ¹
Wärmebereitstellung	indirekt elektrisch ²	indirekt elektrisch ³	Gasbrenner
Endenergiebedarf pro Jahr	600 MWh	1650 MWh	8250 MWh
Endenergiebedarf pro Woche	12 MWh	34 MWh	172 MWh

Variante B – Prozesswärmebedarf total: 15 000 MWh pro Jahr = Endenergiebedarf total: 13 800 MWh pro Jahr

Energieträger	Strom	Strom	Wasserstoff ¹
Wärmebereitstellung	indirekt elektrisch ²	direkt elektrisch ⁴	Gasbrenner
Endenergiebedarf pro Jahr	600 MWh	4950 MWh	8250 MWh
Endenergiebedarf pro Woche	12 MWh	103 MWh	172 MWh

Variante C – Prozesswärmebedarf total: 15 000 MWh pro Jahr = Endenergiebedarf total: 13 800 MWh pro Jahr

Energieträger	Strom	Wasserstoff ¹	Wasserstoff ¹
Wärmebereitstellung	indirekt elektrisch ²	Gasbrenner	Gasbrenner
Endenergiebedarf pro Jahr	600 MWh	4950 MWh	8250 MWh
Endenergiebedarf pro Woche	12 MWh	103 MWh	172 MWh

¹ Falls die Wasserstoffversorgung via Gasnetz auch längerfristig nicht absehbar und der Transport per Trailer nicht wirtschaftlich ist, kann die Prozesswärmebereitstellung nur mit dem Energieträger Strom erfolgen.

² Mit Elektrowärmepumpe (WP)

³ Mit Hochtemperaturwärmepumpe (HTWP)

⁴ Mit Elektrodenkessel, Elektrolichtbogenofen, Induktionsofen

Variantenvergleich der Wasserstoffversorgung per Trailer

Es ist empfehlenswert, gleichzeitig mit der neuen Produktionsanlage, die Anfang der 2030er-Jahre eingebaut wird, auch auf den Energieträger Wasserstoff umzustellen. Da die Wasserstoffversorgung via Gasnetz voraussichtlich erst ab Mitte der 2030er-Jahre zur Verfügung steht, muss in einer Übergangsphase die Lieferung von Wasserstoff mit mobilen Speichern erfolgen. Für die Machbarkeitsstudie wurden die beiden Techniken «Druckspeicher» und «Speicherung mit Eisengranulat» untersucht.

Für den Wärmeprozess im Temperaturbereich von über 750 °C gilt es in einer Übergangszeit, einen jährlichen Wasserstoffbedarf von rund 8250 MWh oder 172 MWh pro Woche mit mobilen Speichern zu decken. Bei der Auswahl der mobilen Speichertechnik spielt neben den wirtschaftlichen Aspekten auch die gravimetrische oder volumetrische Energiedichte eine wichtige Rolle. Nachfolgend sind die beiden mobilen Speichersysteme «Druckspeicher» und «Speicherung mit Eisengranulat» vergleichend dargestellt. Ausgehend von dem Bedarf und der Speicherkapazität ergeben sich unterschiedliche Frequenzen der Anlieferung. Um einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten, ist eine leichte Überkapazität einzuplanen. Zusätzlich ist die Entfernung des Wasserstoffproduzenten zum Industrieareal zu beachten.

	Druckspeicher (CGH₂)	Eisengranulat (HyCS)
Wasserstoffbedarf pro Jahr	8250 MWh	8250 MWh
Wasserstoffbedarf pro Woche	172 MWh	172 MWh
Kapazität pro Container in MWh	11,6 MWh	20 MWh
Anzahl Container pro Jahr	711 Container	413 Container
Anzahl Container pro Woche	15 Container	9 Container

Wasserstofftransport mittels Druckspeicher gasförmig (CGH₂)

Gasförmiger Wasserstoff lässt sich nach dem Verdichten ab 350 bar Druck in einem Tank speichern. Beim Transport von Wasserstoff kommt in der Schweiz meistens das Druckniveau von 350 bar (24 kg/m³) zum Einsatz. Für den mobilen Transport haben sich zylinderförmige Tanks durchgesetzt, die aus Glasfaser-Druckbehältern des Typs IV bestehen. Der Transport von Wasserstoff mittels Druckspeicher ist per LKW auf der Strasse oder per Bahn möglich. Bei der mobilen Wasserstofftechnik von Vernconex handelt es sich um einen standardisierten 20-Fuss-Container mit 350-bar-Druckspeicher, der über eine Kapazität von rund 350 kg Wasserstoff beziehungsweise 11,6 MWh H₂ Wasserstoff verfügt. Mit der integrierten Andockstation ist eine schnelle Entnahme und Beladung der Speichercontainer realisierbar, zum andern ermöglicht das dazugehörige Befüll- und Verbrauchspanel die Steuerung des Vorratsbehälters über Schnittstellen.

Weiter Informationen: vernconex.ch

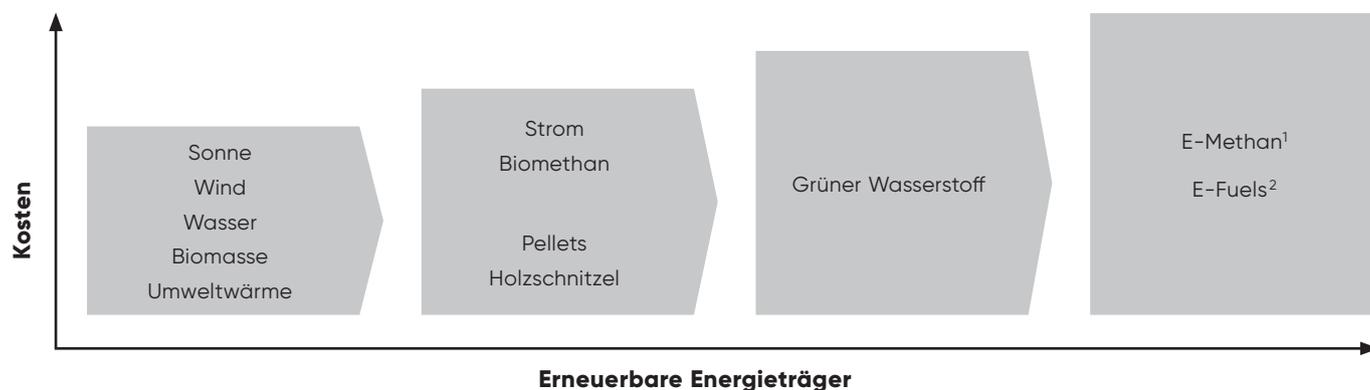
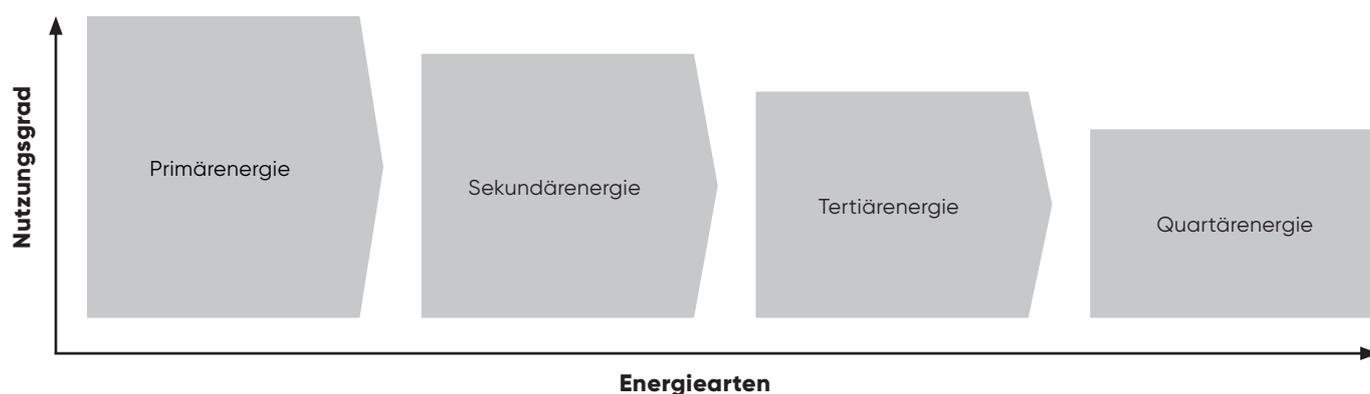
Wasserstofftransport mittels Eisengranulat in Containern (HyCS)

Bei dieser Technologie wird Wasserstoff nicht direkt gespeichert, sondern bei der Beladung (Reduktion von Eisenoxid zu Eisen) verbraucht. Dabei entsteht Wasserdampf (H₂O). Bei der Entladung wird Wasserdampf wieder dem Eisen zugeführt, dabei reagiert der Sauerstoff mit dem Eisen zu Eisenoxid und Wasserstoff wird freigesetzt. Der HyCS-Speicher ist der kompakteste aller Wasserstoffspeicher und besitzt die höchste volumetrische Energiedichte. Das Eisengranulat wird drucklos und daher gefahrlos in den angebotenen Standardcontainern sowohl per LKW auf der Strasse als auch auf der Schiene transportiert. Bei der Entladung (Wasserstoffproduktion) wird der benötigte Vordruck vom Speicher bereitgestellt. Die Kapazität eines Standardcontainers (20 Fuss) beträgt rund 600 kg Wasserstoff beziehungsweise 20 MWh H₂ Wasserstoff. Der HyCS geht ab 2025 in die Serienproduktion.

Weiter Informationen: ambartec.de

Energiearten und ihre erneuerbaren Energieträger

Energieträger sind Stoffe, deren Energiegehalt erst durch Umwandlungsprozesse nutzbar gemacht werden können. Die Ausnahme bilden Primärenergieträger, die von der Natur gratis zur Verfügung gestellt werden. Jeder Umwandlungsprozess benötigt Investitionskosten sowie zusätzliche Energie und führt daher auch zu einem tieferen Nutzungsgrad im Vergleich zur vorgelagerten Energieart. Die tertiären und quartären Energieträger werden trotz der höheren Umwandlungsverluste und Kosten in einem zukünftig erneuerbaren Energiesystem eine wichtige Rolle spielen.



¹ Erneuerbares synthetisches Methan

² Erneuerbarer synthetischer flüssiger Brennstoff

Quelle: Envenion GmbH 2023

Herausgeber

Verband der Schweizerischen
Gasindustrie VSG
044 288 31 31
vsg@gazenergie.ch
www.gazenergie.ch

Redaktion

Hubert Palla, VSG
hubert.palla@gazenergie.ch

Suisse romande

Nathalie Pfund, ASIG
nathalie.pfund@gazenergie.ch

Auflage

10 000 deutsch, 4 000 französisch

Titelbild

GALVASWISS AG Wellhausen, Felben-Wellhausen

Grafik/Layout/Druck

Bühler Druck AG, Volketswil

Adressänderung

info@buehler-druck.ch

Gratis-Abonnements

vsg@gazenergie.ch



gedruckt in der
schweiz