



BOSCH
Technik fürs Leben

Fachbericht

www.bosch-industrial.com

Heiz- und Prozesswärme mit klimaneutralem Wasserstoff

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Gosse MBA, Leiter Marketing Bosch Thermotechnik Gewerbe und Industrie

Eine stetig wachsende Zahl von Unternehmen setzt sich freiwillig Ziele zur Reduktion ihres CO₂-Fußabdruckes oder sogar zum Erreichen der CO₂-Neutralität. Für produzierende Unternehmen stellt sich in diesem Zusammenhang häufig die Frage, wie die Prozesswärme klimaneutral gestellt werden kann. Die gleiche Herausforderung ergibt sich bei der Beheizung großer Liegenschaften oder bei Nah-/Fernwärmenetzen im Megawatt-Bereich. Eine große Chance bietet die Verwendung von grünem Wasserstoff in Kesselsystemen. Neben einem hohen Kesselwirkungsgrad von bis zu 98% ist die Verbrennung vollständig CO₂-neutral. Der folgende Fachbericht fokussiert auf Lösungen mit Wasserstoffkesseln und auf technische Maßnahmen für das sichere und saubere Verbrennen von Wasserstoff.

Dezentrale Insellösungen mit Wasserstoff

Seit einiger Zeit diskutieren Experten und Gasnetzbetreiber über die anteilige Beimischung von grünem Wasserstoff in das Erdgasnetz. 10–15% Wasserstoff lässt sich laut aktuellem Stand sicher, ohne größeren Aufwand, in bestehende Netze beimischen. Zu beachten ist, dass Wasserstoff auf das Volumen bezogen nur etwa ein Drittel des Heizwertes von Erdgas aufweist.

Kurz- und mittelfristig bieten daher eher dezentrale Insellösungen mit 100% grünem Wasserstoff eine attraktivere Alternative für die schnelle CO₂-Neutralität.

Insbesondere in Industrieparks oder Regionen mit hoher Energiedichte laufen derzeit einige Pilotprojekte weltweit. In Wunsiedel im Fichtelgebirge beispielsweise wird aktuell ein Elektrolyseur mit einer elektrischen Anschlussleistung von 6 MW in der ersten Ausbaustufe errichtet. Wasserstoffüberschüsse werden unter anderem in einem 5 MW Bosch-Heizkessel für die Wärmeversorgung und zur Trocknung von Holzprodukten in einem Sägewerk eingesetzt. Aber auch andere Kombinationen von Fernwärme mit Elektromobilität und dezentraler grüner Energieversorgung, z. B. einer Kommune, sind denkbare Anwendungen.

Aber warum sollte man den komplexen Weg über die eigene Wasserstoffherzeugung (Abbildung 1) wählen und dabei rund 30% Wirkungsgradverluste in Kauf nehmen? Der grüne Strom könnte schließlich unmittelbar mit hohem Wirkungsgrad in einem Elektro- oder Hybridkessel eingesetzt werden. Die Antwort ist plausibel: Bei Sonnenschein und Wind ist der Strom direkt und mit über 99% Wirkungsgrad in Anlagen und Produktion nutzbar. Wegen der fluktuierenden Verfügbarkeit von grünem Strom je nach Wetterlage und Tageszeit, ist jedoch ein zusätzlicher CO₂-neutraler Energieträger zur Kompensation notwendig. Hier spielt Wasserstoff seine Stärken aus: Er ist mit höherer Energiedichte günstiger speicherbar sowie mit hohem Wirkungsgrad verwertbar. Voraussichtlich gewinnen aus diesem Grund hybride Prozesswärme-konzepte zunehmend an Attraktivität – z. B. Kessel mit Mehrstofffeuerung und elektrischem Heizelement. Die meisten dieser Anlagen laufen gegenwärtig mangels ausreichend verfügbarem Wasserstoff mit Grünstrom und Erdgas.

Unterschiede beim Verbrennen von Wasserstoff

Grüner Wasserstoff gilt als ein wichtiger Energieträger für die Zukunft und ist als Brennstoff für eine CO₂-neutrale Heiz- und Prozesswärmeerzeugung prädestiniert. Bei dessen Verwendung sind dennoch gewisse Faktoren und Unterschiede im Vergleich zu Erdgas zu berücksichtigen: Die Flamme ist mit rund 2000 °C heißer, was die thermische NO_x-Bildung

begünstigt. Zudem brennt und zündet dieser Brennstoff rasanter, nicht umsonst nennt sich die Mischung aus Wasserstoff und Sauerstoff auch Knallgas. Als kleinstes Atom im Universum neigt Wasserstoff zur Diffusion durch viele Materialien und sogar durch Metalle. Eine versehentliche Knallgasbildung ist unbedingt zu vermeiden.

Da der Heizwert pro Volumeneinheit von Wasserstoff etwa ein Drittel dessen vom Erdgas beträgt, folgt daraus im Umkehrschluss, dass es des dreifachen Gasvolumens für die gleiche Energiemenge bedarf.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied ist die farblose Flamme der reinen Wasserstoff-Flamme, die aber schon durch kleine Anteile an Erdgas zu blau wechselt. Auch die Wärmeabstrahlung ist unterschiedlich. Während die Erdgas-Flamme im hohen Maße Strahlung im Infrarot-Bereich erzeugt, emittiert die Wasserstoff-Flamme im geringen, aber messbaren Maße, ultraviolette Strahlung. Das dient in bestimmten Verbrennungssystemen als Messgröße in der Verbrennungsregelung.

Technologische Anforderungen an wasserstoffbetriebene Heiz- und Dampfkessel

Die Nutzung von Wasserstoff in Kesselanlagen ist eine geläufige Technologie in Branchen, in denen Wasserstoff als Abfallprodukt in chemischen

Vereinfachte **Abbildung (1)** einer grünen Wasserstoffherzeugung mit Integration von Prozesswärme.

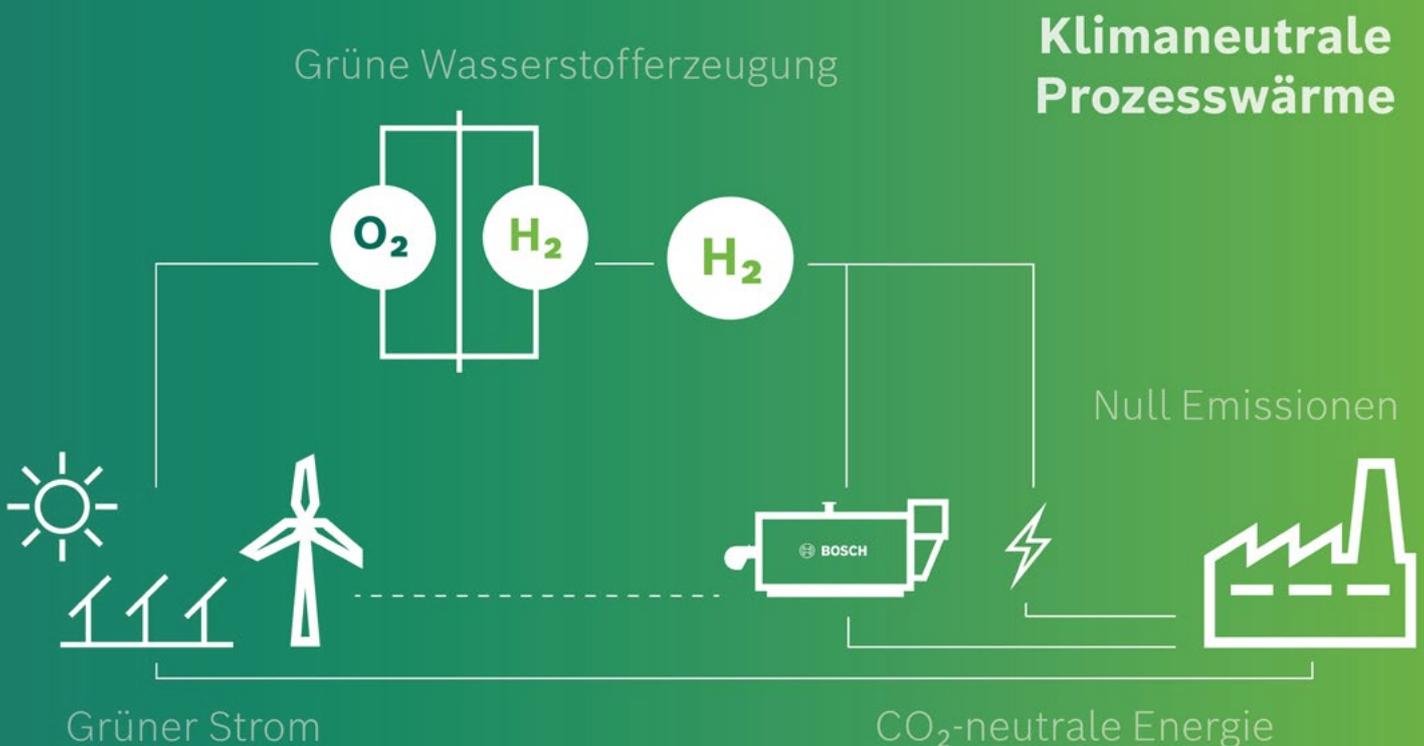




Abbildung 2: Beispiel eines umgesetzten Brennstoff-Konzepts mit Wasserstoff, Erdgas und leichtem Heizöl an einer Bosch-Kesselanlage bei einem Pharmaunternehmen.

Prozessen entsteht. Daher sind technologische Anforderungen für das sichere und effiziente Handling bekannt. Bosch Industriekessel hat in den vergangenen zwei Jahren einige Anlagen für Kunden im Bereich Pharmaindustrie (Abbildung 2), Kunststoffherstellung und für grüne Wärmeversorgung gefertigt und in Betrieb genommen.

Um das klimafreundliche Gas nutzen zu können, finden unter anderem die nachfolgenden Lösungen Anwendung:

Voraussetzungen sind umfassende technische Maßnahmen und Komponenten, um das dreifache Brennstoffvolumen bereitzustellen sowie die höheren Verbrennungstemperaturen bei gleichzeitig schnellerem Abbrandverhalten zu beherrschen. Dies betrifft insbesondere Leitungen, Düsen, hochtemperaturfeste feuerberührte Bauteile, Brennergebläse und den Feuerraum. Je nach Projektanforderung ist ein 100% Wasserstoffkessel bis zu 10% größer als ein Erdgaskessel gleicher Leistung. Durch abgasseitige Maßnahmen ist es jedoch möglich, auf einen größeren Kessel zu verzichten – beispielsweise um sich bei einer Umrüstung einer Bestandsanlage weitestgehend an deren ursprünglichen Nennleistung anzunähern und dabei weiterhin strenge NO_x -Limits einzuhalten. Der Wasserstoffbrenner ist in der Regel als komplexe Mehrstofffeuerung mit entsprechend anspruchsvoller

Steuerung ausgeführt, um volle Flexibilität und Versorgungssicherheit zu ermöglichen.

Die geltenden Abgasvorschriften hinsichtlich NO_x lassen sich auch bei Wasserstofffeuerungen zuverlässig erfüllen. Hierzu ist die Flammentemperatur im Kessel zu reduzieren – in der Regel mithilfe einer Abgasrezirkulation. Bei diesem Verfahren wird sauerstoffarmes Abgas des Kessels genutzt und mit der Verbrennungsluft vermischt. Der Partialdruck des Sauerstoffgehalts reduziert sich und sorgt für eine verzögerte Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff und verringert dadurch die mittlere Flammentemperatur. Daraus resultiert eine effektive Reduzierung thermischer NO_x -Bildung.

Um eine Rückzündung der Wasserstofffeuerung in die Brennstoffzuleitung zu verhindern, ist die Feuerungsanlage mit einer Flammenrückschlagsicherung versehen. Diese kann sowohl statisch, z. B. als Deflagrations- oder Detonationssicherung, als auch dynamisch ausgeführt sein. Die dynamische Variante bewirkt eine wesentlich höhere Gasaustrittsgeschwindigkeit aus Gasring oder Gaslanzen als die Flammengeschwindigkeit. Vorschriften hierzu gibt es nicht, denn bisher existiert kein bindendes Regelwerk, das eine Wasserstofffeuerung im Bereich Industriekesselanlagen beschreibt. Wenngleich die Normung hinsichtlich

Wasserstoff im letzten Jahr an Fahrt aufgenommen hat, muss gegenwärtig jede Anlage einer Einzelbetrachtung unterzogen werden. In dieser Betrachtung sind unter anderem Themen wie bestimmte Explosionsschutz-Vorgaben (Atex-Level), die Werkstoffauswahl, die Eignung der verwendeten Ausrüstung und Betriebsaspekte zu berücksichtigen.

Im Bereich der Abgasteknik lassen sich etablierte Auslegungsregeln und Technologien analog zu Erdgasfeuerungen nutzen. Der im Methan des Erdgases gespeicherte Wasserstoff wird letztendlich auch zu Wasserdampf verbrannt. Daraus resultieren im Übrigen die deutlich geringeren CO₂-Emissionen von Erdgas im Vergleich zur Kohle, die im Wesentlichen aus Kohlenstoff besteht. Durch die hohe spezifische Wärmekapazität bzw. Enthalpie vom Wasserdampf im Abgas, kann folglich bei der Verbrennung von Wasserstoff die sogenannte Brennwerttechnik gleichermaßen zum Einsatz kommen. Beim Phasenwechsel vom Wasserdampf des Abgases zu flüssigem Wasser wird erheblich mehr Energie frei, als durch die reine Temperaturreduktion bei der Abwärmenutzung. Eine Reduzierung der Abgastemperatur von 130 °C auf 60 °C ist durch einen Brennwertwärmetauscher realisierbar, daraus resultiert eine Brennstoffeinsparung von bis zu 7%. Voraussetzung ist jedoch eine Wärmesenke, beispielsweise zur Vorwärmung von Brauchwasser oder für das Beheizen von Produktionshallen und Büros. Der Gesamtwirkungsgrad solcher Systeme beträgt in der Praxis bis zu 103% bezogen auf den Heizwert bzw. 98% in der primärenergetischen Betrachtung. Bei dem Einsatz von Brennwerttechnik in Verbindung mit Wasserstofffeuerungen und Abgas-

rezirkulation gibt es zusätzliche Aspekte zu beachten, insbesondere bei Warm-/Heißwasserkesseln mit geringer Rücklauftemperatur.

Warum den grünen Strom nicht direkt nutzen?

Der Einsatz von rein elektrischen Dampf- und Heißwassererzeugern in gewerblichen und industriellen Prozessen ist aus technischer Sicht hochattraktiv. Das Kesselhaus benötigt keinen Kamin mehr und ist somit zukunftssicher hinsichtlich Emissionen. Betriebswirtschaftlich hingegen ist diese Lösung in Ländern wie z.B. Deutschland eher selten attraktiv. Gegenüber der gleichen Menge Erdgas liegen die Strombezugskosten für die meisten Betriebe in Deutschland um Faktor vier höher. Zudem ist jede kWh Strom, die bei dem Endverwender ankommt, aktuell noch mit etwa doppelt so viel CO₂ belastet im Vergleich zu Erdgas. Dennoch haben elektrische Dampferzeuger ihre Berechtigung: Insbesondere für kleinere Unternehmen oder für z.B. Krankenhäuser mit wenigen Stunden Dampfbedarf pro Woche fallen die Energiekosten weniger ins Gewicht. Darüber hinaus ist gerade in ländlichen Gegenden das Erdgasnetz nicht flächendeckend ausgebaut. Ebenso verfügen einige Betriebe über Photovoltaikanlagen und können durch E-Kessel oder Hybridkessel (Abbildung 3) mit elektrischem Heizstab und Brenner ihren selbst genutzten Anteil des grünen Stroms enorm steigern. Entscheidende Faktoren für „Power-to-Heat“ sind die Energiepreise und die zugrunde liegende Politik im jeweiligen Land. In Regionen mit niedrigen Strompreisen und entsprechend ausgebauter Netzinfrastruktur für große Verbraucher sind bereits heute Elektrokessel verstärkt eingesetzt.



Abbildung 3: Hybridkessel mit elektrischem Heizstab erzeugen bei regenerativem Stromeinsatz bis zu 5 MW CO₂-neutrale Prozesswärme. Zusätzlichen Bedarf deckt der Brenner des Bosch-Kessels zuverlässig ab.

Bereit für die Zukunft:

Prozesswärmelösungen von Bosch zur Nutzung von Wasserstoff, Bio-Brennstoffen oder grünem Strom – sowohl für Neuanlagen als auch zur Umrüstung bestehender Anlagen.



Weitere Alternativen, wie etwa die Integration von Wärmepumpen, sind in produzierenden Unternehmen meist nur für Niedertemperaturanwendungen rentabel, z. B. für Heizzwecke. Viele Produktionsprozesse hingegen benötigen Dampf und Heißwasser oft mit Temperaturen weit über 100 °C. Bei diesem hohen Temperaturniveau sinkt der Wirkungsgrad (genauer COP) von Wärmepumpen, somit ist eine wirtschaftliche Betriebsweise derer nicht möglich. Zur Speisung der Wärmepumpe ist zudem häufig keine adäquate Abwärmequelle vorhanden, denn der erreichbare Temperaturhub beträgt meist weniger als 50 Kelvin, beispielsweise von 15 °C auf 65 °C.

Energieversorgung zukunftssicher aufstellen und Förderungen nutzen

Was ist nun die Handlungsempfehlung für Industrie und Gewerbe hinsichtlich ihrer zukunftssicheren Versorgung mit Heiz- und Prozesswärme? Aktuell ist nicht eindeutig absehbar, ob Wasserstoff der Energieträger der Zukunft sein wird. Genauso in welchem Zeithorizont die Betriebe die Möglichkeit haben, die CO₂-Emissionen aus ihren Schornsteinen durch Energieträger wie Erdgas, Öl oder Holz auf wirtschaftliche Weise komplett zu vermeiden. Während grüne Energieträger mit einjähriger CO₂-Bindung (Biogas, Bioöl) nur in begrenztem Umfang zur Verfügung stehen, besteht bei grünem Strom und Wasserstoff die Chance auf flächendeckende Substitution dieser vermeidbaren CO₂-Belastungen. In einigen Fällen gibt es die Möglichkeit, die vorhandenen Kesselanlagen mit vertretbarem Aufwand zu modernisieren. Die Engpässe sind derzeit noch die Verfügbarkeit und

die wirtschaftliche Darstellbarkeit – die Technologie hingegen ist bereits jetzt für die Verwendung von Wasserstoff ausgereift und sofort anwendbar. Bei vielen Neuanlagen empfiehlt es sich daher, schon heute Schnittstellen für die spätere Umrüstung vorzusehen, z. B. durch einen Blindflansch für ein elektrisches Heizbündel oder eine Dimensionierung von Kessel/Feuerraum für einen späteren Umstieg auf Wasserstoff.

In jedem Fall ist es sinnvoll, vorhandene Anlagen jetzt auf ihre Zukunftssicherheit zu prüfen. Häufig lassen sich dabei viele Potentiale zur CO₂-Einsparung identifizieren und beispielsweise durch Einrichtungen zur Abwärmerückgewinnung nutzen. Das senkt nicht nur die Brennstoffkosten, sondern auch die seit 1.1.2021 eingeführte CO₂-Emissionsabgabe. Zudem bestehen in Deutschland aktuell attraktive Möglichkeiten, bis zu 40% staatliche Förderung auf CO₂-reduzierende Maßnahmen an Prozesswärmesystemen zu erhalten. Sowohl für Modernisierungen als auch für Neuanlagen. Investitionszuschüsse für umweltschonende Kesseltechnik sind in dieser Form und Höhe eine historische Chance und belegen den politischen Willen zur Wärmewende.

Praxisbeispiele mit staatlicher Förderung und weiterführende Informationen zum Thema sind [hier](#) verfügbar.

Bosch Industriekessel GmbH

Nürnberger Straße 73
91710 Gunzenhausen
Deutschland
Tel. +49 9831 56253
Fax +49 9831 5692253
vertrieb-de@bosch-industrial.com
Service-Hotline +49 180 5667468*
Ersatzteil-Hotline +49 180 5010540*

Bosch Industriekessel Austria GmbH

Haldenweg 7
5500 Bischofshofen
Österreich
Tel. +43 6462 2527300
Fax +43 6462 252766300
vertrieb-at@bosch-industrial.com
Service-Hotline +43 810 810300**
Ersatzteil-Hotline +49 180 5010540**

info@bosch-industrial.com
www.bosch-industrial.com
www.bosch-industrial.com/YouTube

*0,14 Euro/Min. aus dem deutschen Festnetz; Mobilfunkhöchstpreis 0,42 Euro/Min.
**max. 0,10 Euro/Min. aus dem österreichischen Festnetz
Kosten für Anrufe aus den Mobilfunknetzen und internationale Verbindungen können abweichen.

© Bosch Industriekessel GmbH | Abbildungen nur beispielhaft |
Änderungen vorbehalten | 05/2021 | TT-CH/MKT_de_FB_Wasserstoff_01