



Technologien zur Dekarbonisierung
der Prozesswärme

Umformtechnik

Faktenblatt

Mit Unterstützung der:



Niedersachsen
Allianz für Nachhaltigkeit

CO₂-arme Prozesswärme in Umformprozessen

In der Umformtechnik ist die Erzeugung von Prozesswärme unerlässlich, um Materialien formbar zu machen. Die nötige Prozesswärme wird derzeit zu großen Teilen durch die Verbrennung von Erdgas bereitgestellt, was zu erheblichen CO₂-Emissionen führt. Mit welchen Maßnahmen Umformprozesse dekarbonisiert werden können, zeigt dieses Faktenpapier.

Stand der Technik

Die Umformtechnik ist ein wesentlicher Teil der Fertigungstechnik, bei der Werkstücke durch plastische Verformung in die gewünschte Form gebracht werden. Diese Technik wird vor allem bei Metallen und deren Legierungen wie Stahl, Aluminium, Kupfer-, Titan- oder Nickelbasislegierungen, aber auch bei anderen Materialien wie Holz angewendet. Mit Blick auf die CO₂-Emissionen hat die Metallindustrie einen besonderen Stellenwert in der Umformtechnik.

Die Umformtechnik wird in Massiv- und Blechumformung eingeteilt. Zur Massivumformung gehören die Verfahren des Gesenk- bzw. des Freiformschmiedens, des Ringwalzens und des Fließpressens. Hierbei erfährt das Material eine Veränderung in Länge, Breite und Höhe, während in der Blechumformung ein ebener Blechzuschnitt in die endgültige Form gebracht wird. Die Dicke des Materials bleibt dabei nahezu unverändert.

Temperaturbereiche

Die Temperatur ist entscheidend, um die Formbarkeit der Materialien zu verbessern und die für die Umformung nötigen Kräfte zu reduzieren. Verschiedene Materialien erfordern unterschiedliche Temperaturen für die Umformung (Abbildung 1).

Niedertemperaturverfahren

Diese Verfahren werden im Bereich der Raumtemperatur bis etwa 250 °C durchgeführt. Sie bewirken durch Kaltverfestigung eine Erhöhung der Festigkeit und Härte. Beispiele hierfür sind das Kaltwalzen, Ziehen und Pressen. Auch Holz wird bei diesen Temperaturen behandelt und umgeformt.

Mitteltemperaturverfahren (ca. 250 bis 600 °C)

In diesem Temperaturbereich verbessert sich die Formbarkeit, während die Festigkeitssteigerung durch Kaltverfestigung teilweise erhalten bleibt. Aluminium und dessen Legierungen werden bei circa 400 bis 500 °C umgeformt.

Hochtemperaturverfahren (über 600 °C)

Diese Verfahren werden häufig für Stahl angewandt, um die Rekristallisation während der Umformung zu ermöglichen. Typische Anwendungen sind Warmwalzen und Schmieden von Stahl bei Temperaturen von circa 1.100 bis 1.250 °C. Kupfer wird ebenfalls bei Temperaturen von 750 bis 950 °C umgeformt.

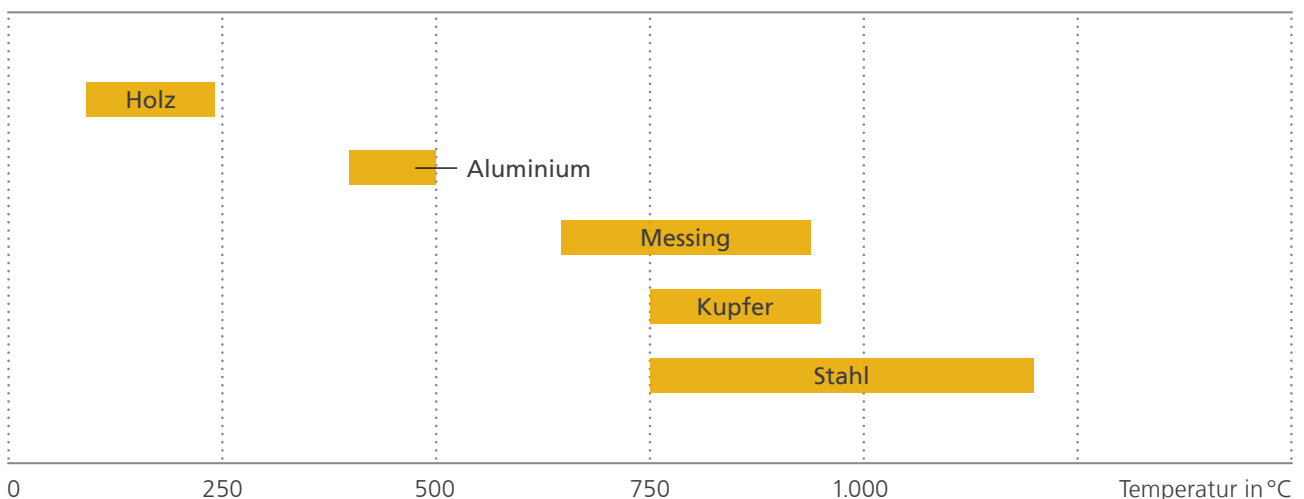


Abbildung 1 Wärmebehandlungstemperatur ausgewählter Metalle und Legierungen

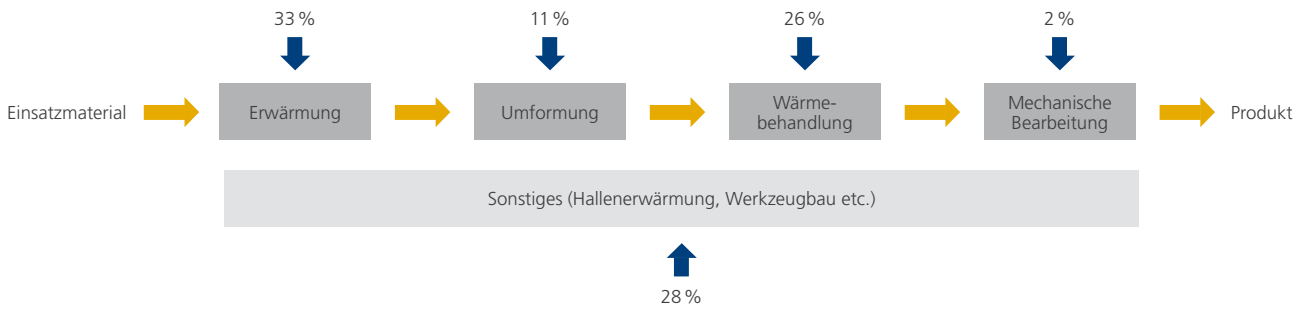


Abbildung 2 Energieeinsatz in den einzelnen Prozessschritten in der Umformtechnik.

Bereitstellung der Prozesswärme

In der Umformtechnik werden typischerweise die Schritte Erwärmung, Umformung, Wärmebehandlung und mechanische Bearbeitung durchlaufen (Abbildung 2). Der wesentliche Anteil des Gesamtenergieverbrauchs fällt dabei für die Bereitstellung der Prozesswärme in den Verfahrensschritten Erwärmung und Wärmebehandlung an. Darüber hinaus benötigen andere Bereiche und Prozesse des Unternehmens Energie – so z. B. für die Beheizung der Produktionshallen.

Die nötige Wärme für Umformprozesse kann auf unterschiedliche Weise bereitgestellt werden. Die gängigsten Methoden sind die Verbrennung von Erdgas oder die elektrische Beheizung. Auch Kombinationen aus beiden Techniken sind möglich. Die elektrische Erwärmung ist bereits recht etabliert. Hierbei spielt insbesondere die induktive Erwärmung eine wichtige Rolle – circa 58 % der Materialien in der Umformtechnik werden bereits induktiv erwärmt. Die Holzumformung hingegen nimmt eine Sonderrolle ein, da die Erwärmung meist mittels Dampf erfolgt. Zur Dekarbonisierung muss hier insbesondere die Dampferzeugung betrachtet werden.

Anlagentechnik

Es gibt diverse Erwärmungsöfen, die sich in ihrer Funktionsweise und Auslegung je nach Anwendung unterscheiden. Grundsätzlich wird zwischen kontinuierlichen und diskontinuierlichen Öfen unterschieden. Bei geringen Losgrößen und/oder hohen Stückgewichten werden diskontinuierliche Anlagen bevorzugt. Sind die Stückzahlen groß und die Produktabmessungen eher klein, werden kontinuierliche Öfen wie Durchlauföfen verwendet.

Durchlauföfen

Gängige Typen des Durchlaufofens sind die kontinuierlich betriebenen Hubherd- sowie Hubbalken- und Rollenherdöfen. In Rollenherdöfen (Abbildung 3) werden verschiedene Materialien wie Aluminiumbänder und -profile bis 600 °C erwärmt. Ebenfalls wird Kupferhalbzeug vor dem Warmwalzen für die Herstellung von Band-, Blech- und Langprodukten auf 1.100 °C erwärmt.

Beim Presshärten von Stahl werden ebenfalls Rollenherdöfen verwendet, die hierbei über 80 % des Marktanteils ausmachen. Diese Öfen ermöglichen einen einfachen Werkstofftransport und hohe Durchsätze, oft unterstützt durch Roboter für den Ein- und Austrag. Typische Ofenlängen sind 35 bis 40 Meter. Es gibt sowohl gas- als auch elektrisch beheizte und hybride Varianten. Werden Rekuperatorbrenner zur Wärmerückgewinnung eingesetzt, sind feuerungstechnische Wirkungsgrade von 75 % möglich.

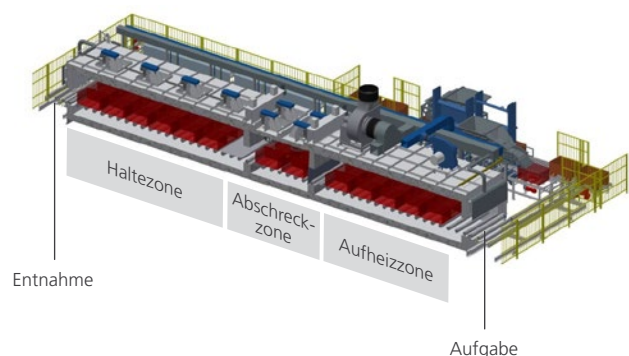


Abbildung 3 Schematische Darstellung eines Rollenherdofens

Drehherdofen

Der Drehherdofen (Abbildung 4) ist ebenfalls ein Durchlaufofen, der für das Erwärmen und die Wärmebehandlung genutzt wird. Dieser hat eine zylindrische Konstruktion mit rotierendem Herd und eignet sich besonders für langes Halten des Materials auf einer definierten Zieltemperatur. Meist wird dieser Ofen für die Erwärmung von Vormaterial für den Schmiedebetrieb (Ringwalzen, seltener Gesenkschmieden) genutzt und erreicht Durchsätze bis 7 t/h. Beheizt mit Erdgas und ausgestattet mit Regenerativbrennern, kann er feuerungstechnische Wirkungsgrade bis 84 % erreichen.

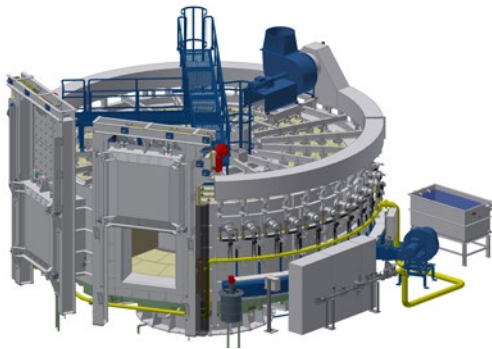


Abbildung 4 Schematische Darstellung eines Drehherdofens

Herdwagen und Kammeröfen

Der Herdwagenschmiedeofen (Abbildung 5) und der Kammerofen sind diskontinuierliche Erwärmungsanlagen, die große Blöcke für das Freiformschmieden oder Walzen großer Ringe erhitzen. Diese werden auch für die Erwärmung von Kupfer-Halbzeug (1.100 °C) und Pressbolzen, Platten oder Coils aus Aluminium (bis 600 °C) genutzt. Der Ofen verwendet einen Herdwagen und wird oft mit Zentralrekuperatoren oder Regenerativbrennern betrieben, was Wirkungsgrade bis zu 80 % ermöglicht. Der Energieträger ist überwiegend Erdgas.



Abbildung 5 Schematische Darstellung Herdwagenschmiedeofen

Bolzenenerwärmungsanlagen

Bolzenenerwärmungsanlagen sind diskontinuierlich betriebene Öfen, in denen vorwiegend Strangpressbolzen auf die nötige Umformtemperatur gebracht werden (Abbildung 6). In diesen Anlagen werden Bolzen aus Aluminium, Kupfer und Messing auf ihre jeweilige Zieltemperatur erwärmt (Aluminium circa 480 °C, Kupfer 750 bis 950 °C). Die nötige Prozesswärme kann sowohl durch die Verbrennung von Gas, elektrisch (hier induktiv) als auch hybrid bereitgestellt werden. Insbesondere für kleine Losgrößen und für mehr Flexibilität ist eine Kombination aus verschiedenen Erwärmungstechniken sinnvoll. Der typische Wirkungsgrad dieser Anlagen liegt bei etwa 60 %.

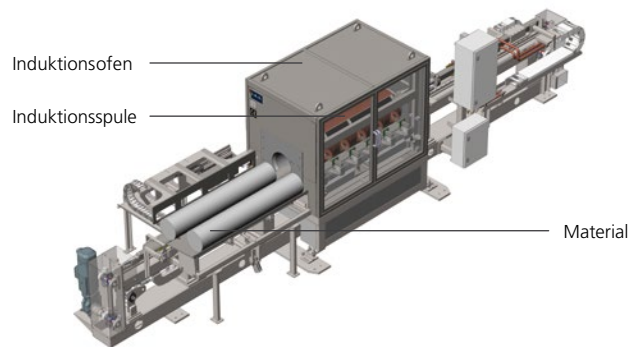


Abbildung 6 Beispielhafte Darstellung einer Bolzenenerwärmung

Technologien zur Dekarbonisierung

Die Dekarbonisierung der Prozesswärme in der Umformtechnik erfordert aufgrund der Vielfältigkeit der eingesetzten Erwärmungsöfen verschiedene Ansätze. Grundsätzlich bieten sich die Elektrifizierung und die Nutzung von Wasserstoff anstelle von Erdgas an. Zudem spielen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz eine entscheidende Rolle.

Energieeffizienzpotenziale

Energieeffizienzmaßnahmen an Bestandsanlagen sind entscheidend, um Emissionen in der Umformtechnik zu reduzieren. Auch beim Betrieb von Neuanlagen sollten Maßnahmen wie ein Anlagenmonitoring zur Anwendung kommen. Allgemein ist der Einsatz von Luftvorwärmssystemen wie Regenerator-, Rekupeatorbrennern und Zentralrekuperatoren zur Verbesserung der Energieeffizienz sinnvoll. In diesen Systemen wird die Wärme aus den Abgasen zurückgewonnen und zur Vorwärmung der Verbrennungsluft genutzt. Dies steigert den feuerungstechnischen Wirkungsgrad auf 80 bis 85 % (Abbildung 7).

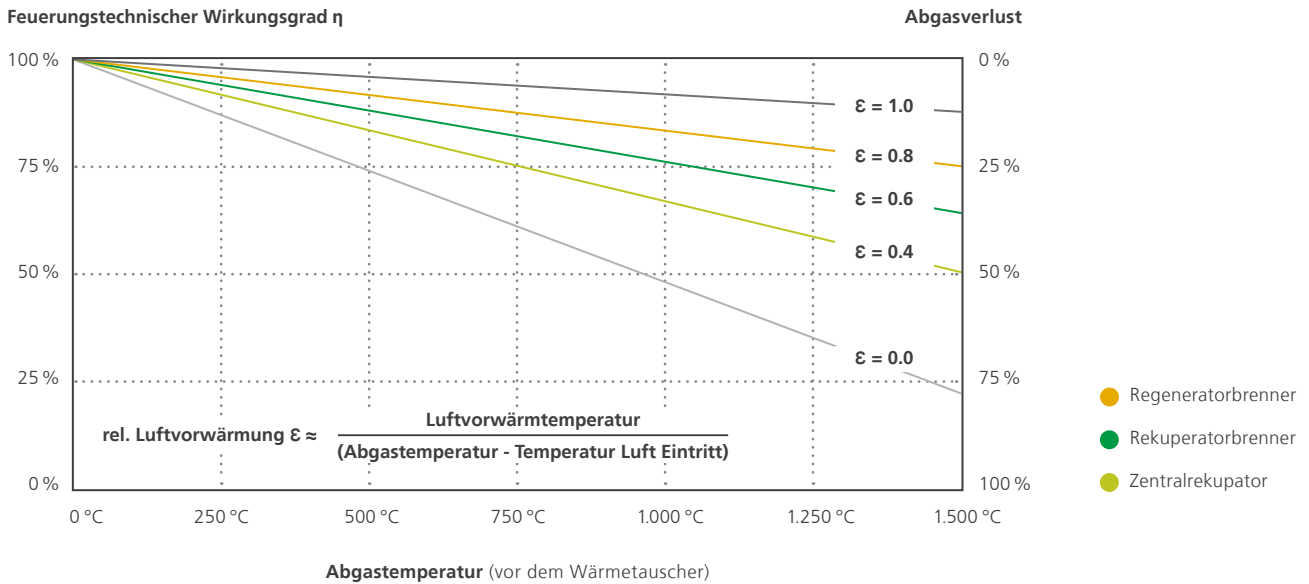


Abbildung 7 Einfluss von Luftvorwärmssystemen auf die Abgasverluste

Der feuerungstechnische Wirkungsgrad η beschreibt hierbei die Effizienz des Ofens. Dieser wird von der Abgastemperatur (je höher die Temperatur, desto geringer η) und der Luftvorwärmung e (je geringer e , desto geringer η) beeinflusst.

Bei kontinuierlichen Hubherd- und Hubbalkenöfen ist die Vorwärmung in einer unbeheizten Konvektionszone im vorderen Teil des Ofens sinnvoll. Zusätzlich kann die Wärmeübertragung in diesem Bereich mittels Zwangsumwälzung verstärkt werden. Dies erfordert höhere Investitionskosten, kann aber den Anlagenwirkungsgrad auf circa 80 % heben.

Zusätzlich sind spezifische Maßnahmen wie die Optimierung der Luftzahl, die Erhöhung der Prozessstarttemperatur (z. B. durch Rückgewinnung von Abwärme) sowie die Senkung der Prozesszieltemperatur wichtige Schritte zur Effizienzsteigerung. Auch die Reduzierung der Haltezeiten und das Optimieren der Ofenbelegung tragen erheblich zur weiteren Verbesserung der Energieeffizienz bei. Weitere Potenziale zur Effizienzsteigerung finden sich im Faktenblatt „Industrieöfen“ der KEAN.

Elektrifizierung

In elektrischen Verfahren wird Strom zur Erzeugung thermischer Energie genutzt. Die Wärme kann direkt durch induktive, konduktive und dielektrische Verfahren oder indirekt durch Widerstands-, Lichtbogen- oder Plasmaverfahren erzeugt werden. In der Umformtechnik ist insbesondere die induktive Erwärmung (Abbildung 8) von hoher Relevanz. Bei einigen Anwendungen wird ebenfalls die indirekte widerstands-basierte Erwärmung genutzt.

Elektrifizierung im Herdwagen- und Kammerschmiedeofen

Die Elektrifizierung von Herdwagen- und Kammerschmiedeöfen befindet sich auf einem niedrigen Entwicklungsstand (Technology Readiness Level – TRL < 3). Grundsätzlich ist es einfacher, diskontinuierliche Erwärmungsöfen durch elektrische Widerstandsbeheizungen zu elektrifizieren als kontinuierliche Öfen.

Elektrifizierung im Rollenherdofen

Die Elektrifizierung von Rollenherdöfen hat bereits einen hohen technologischen Reifegrad erreicht (TRL = 9) und gilt als Stand der Technik. Für die kontinuierliche Erwärmung von Stahlblechen zum Presshärten sind elektrische Rollenherdöfen bereits am Markt verfügbar. Beispielsweise werden Widerstandsheizelemente auf keramischen Trägerrohren angebracht und industriell eingesetzt. Zudem gibt es industrielle Anwendungen von induktiv beheizten Rollenherdöfen.

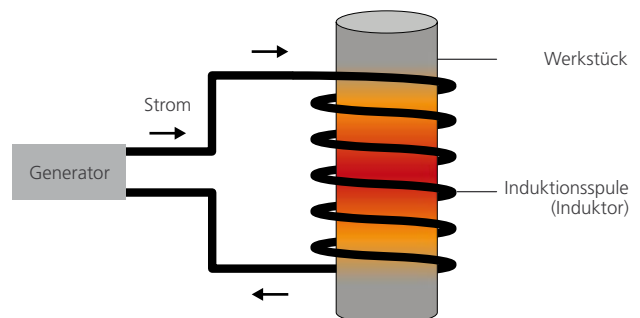


Abbildung 8 Beispielhafte induktive Erwärmung

Die indirekte Widerstandsbeheizung von Kupfer ist ebenfalls fortgeschritten und wird für die Wärmebehandlung verwendet. Weitere Entwicklungskonzepte beinhalten die direkte konduktive Erwärmung von Platinen in einer Presse sowie Untersuchungen zur Kontakterwärmung von Platinen. Für die Erwärmung von Aluminium-Bändern und -Profilen existieren ebenfalls sowohl induktive als auch widerstandsbeheizte Lösungen.

Marktübersicht, Forschung und Restriktionen

Elektrische diskontinuierliche Erwärmungsöfen existieren bereits, sind aber aufgrund der geringeren Leistungsdichte der elektrischen Widerstandselemente im Vergleich zu Erdgasbrennern in ihrer Produktionskapazität begrenzt. Bei einer Elektrifizierung muss bedacht werden, dass sich die Anlagengröße für die gleiche Leistung deutlich erhöht. Um die gleiche Heizleistung bzw. den gleichen Materialdurchsatz zu erreichen, müsste beispielsweise ein elektrisch beheizter Drehherdofen nahezu vier Mal größer als ein gasbefeuerter Ofen dimensioniert werden.

In Gesenkschmieden werden überwiegend induktive Erwärmungsanlagen verwendet. Diese stoßen jedoch bei wechselnden Produktabmessungen an ihre Grenzen, da der Induktor je nach Produktgröße angepasst werden muss. Sie sind auch nicht für komplexe Bauteilgeometrien geeignet.

Die konduktive Erwärmung von Platinen kann zwar die Prozesszeit verkürzen und die mechanischen Eigenschaften verbessern, ist jedoch nur für Platinen mit einem (geometrisch betrachtet) großen Längen-Breiten-Verhältnis wirtschaftlich sinnvoll. Der Einsatz von Kontakterwärmung ist ebenfalls limitiert, da ein zusätzlicher Prozessschritt notwendig ist: Beschichtete Platinen müssen vor der Kontakterwärmung vorlagert werden, um die Oberfläche zu schützen. Zudem ist der Bau neuer Anlagen erforderlich, da bestehende Anlagen nicht umgebaut werden können.

Wasserstoffbeheizung

Bei der Wasserstoffbeheizung wird ähnlich zur Erdgasbefeuerung Wasserstoff mit Luft oder reinem Sauerstoff verbrannt und somit die nötige Prozesswärme erzeugt. Der Einsatz von Wasserstoff an bestehenden erdgasbasierten Anlagen ist in den meisten Fällen durch eine Umrüstung möglich. Für diese Anwendung ist grüner Wasserstoff, der durch Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt wird, die einzige CO₂-arme Alternative.

Die Wasserstoffbeheizung ist sowohl in diskontinuierlichen als auch in kontinuierlichen Öfen möglich. Sie befindet sich derzeit auf einem mittleren Entwicklungsstand (TRL < 5) und kann noch nicht industriell eingesetzt werden. Aktuell werden Pilot- und Demonstrationsvorhaben durchgeführt. So ist z. B. die Nutzung von Wasserstoff als Energieträger grundsätzlich möglich und wird bereits für Stahl untersucht (z. B. im Projekt FlexHeat2Anneal oder im Projekt FlexLadleHeat). Bei der industriellen Nutzung von Wasserstoff für die Kupferherstellung gibt es bisher hingegen keine bekannten Untersuchungen.

Die Wasserstoffbeheizung führt zu einer Veränderung der Prozessführung und der Abgasatmosphäre, was für bestimmte Werkstoffe eine Einschränkung darstellen kann. Beispielsweise kann ein erhöhter Wasseranteil im Abgas zu einer stärkeren Zunderbildung führen, was die Qualität und Eigenschaften der behandelten Materialien beeinflusst.

Marktübersicht, Forschung und Restriktionen

Ein Wechsel des Brennstoffs zu Wasserstoff ist technisch einfacher umzusetzen als eine Elektrifizierung, da lediglich Umbaumaßnahmen an bestehenden Anlagen erforderlich sind. Allerdings bereitet der Einsatz von Wasserstoff mehrere Herausforderungen: Eine Wasserstoffverbrennung führt zu einer Veränderung der Gasatmosphäre, was zu höheren NO_x-Emissionen und höherer Zunderbildung führen kann. Zudem sind für den Einsatz von Wasserstoff grundlegende Fragen in Bezug auf die Produktqualität und Auswirkungen auf Ofenkomponenten zu untersuchen.

Biogene Energieträger

Biogene Energieträger wie Klärgase aus Abwasser, Biogas, Biomethan oder auch Pflanzenöle stellen eine weitere Alternativtechnik dar. Diese können fest, flüssig oder gasförmig vorliegen und grundsätzlich ist der Einsatz in der Thermoprozesstechnik möglich. Beispielsweise wurde in dem Projekt „Biobrenner“ des Gas- und Wärme-Institut Essens (GWI) ein Kombibrenner für Niedrig- und Hochtemperaturanwendungen entwickelt, der verschiedene Arten von biogenen Energieträgern zur Erzeugung von Prozesswärme verwenden kann. Aufgrund unterschiedlicher Verbrennungseigenschaften ist jedoch eine einfache Substitution von Erdgas durch biogene Energieträger nicht möglich und Anpassungen wie der Austausch der Brennertechnik an bestehenden Anlagen ist notwendig. Zusätzlich sind biogene Energieträger sehr limitiert verfügbar, weshalb der industrielle Einsatz in der Umformtechnik begrenzt ist.

Hybride Beheizung

Ein hybrides System kombiniert sowohl elektrische als auch brennstoffbasierte Beheizungstechnologien. Hierbei können beide Energiequellen in einer Anlage zur Prozesswärmeerzeugung genutzt werden – oder der Erwärmungsprozess wird auf zwei separate Anlagen aufgeteilt. Beispielsweise wird beim Strangpressen von Aluminium das Vormaterial in einem gasbeheizten Ofen auf 400 °C erhitzt. Anschließend wird die Temperatur in einem Mehrzonen-Induktionsofen genau eingestellt. Weiterhin existieren Konzepte für hybride Strahlheizrohre.

Durchlauf- und Drehherdöfen

Durchlauf- und Drehherdöfen für Gesenkschmiedeteile, die sowohl mit Strom als auch mit Erdgas betrieben werden, sind bereits entwickelt und auf dem Markt verfügbar. Diese Systeme kombinieren die Vorteile verschiedener Beheizungstechnologien und sind besonders für Anwendungen mit hohen Prozesstemperaturen und Produktionskapazitäten geeignet.

Bolzenerwärmungsanlage

Für die Erwärmung von Aluminium in Bolzenerwärmungsanlagen sind hybride Systeme technisch vielversprechend. Jedoch ist eine Kombination mit grünem Wasserstoff notwendig, um eine Dekarbonisierung zu erreichen. Häufig erfolgt eine Vorwärmung mit Gas, gefolgt von einer induktiven Erwärmung.

Marktübersicht, Forschung und Restriktionen

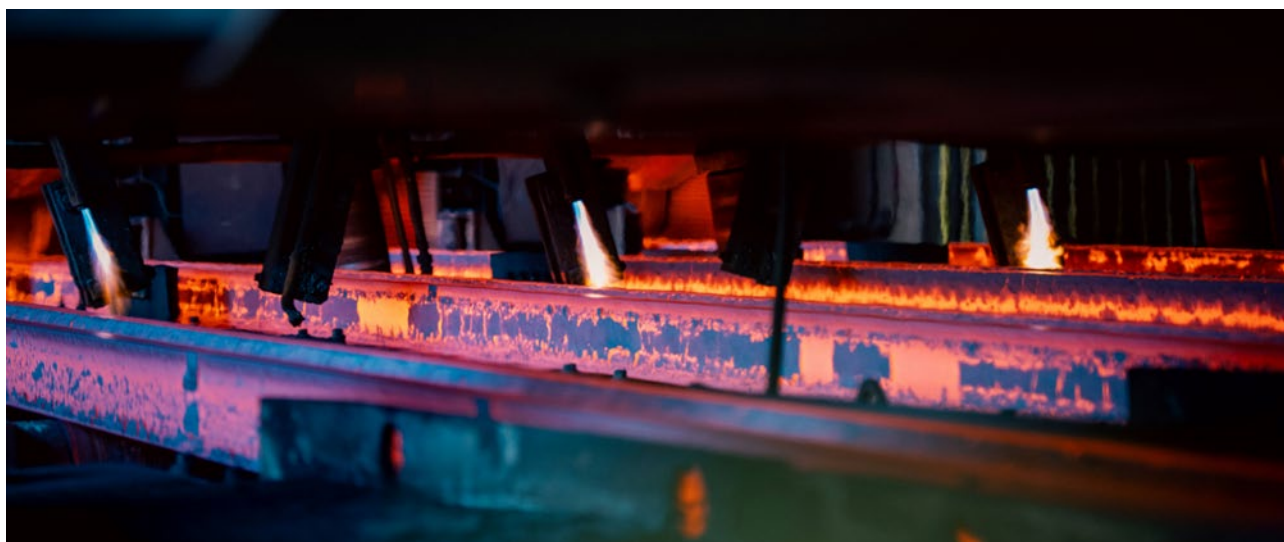
Hybride Beheizungstechnologien sind aufgrund wirtschaftlicher Gründe selten im Einsatz, gehören jedoch zum Stand der Technik in Umformprozessen. Es ist zu beachten, dass für diese Systeme vielfach komplexere Anlagentechnik notwendig ist, die einen zusätzlichen Material- und Investitionsaufwand bedingt.

Ein Vorteil dieser hybriden Systeme ist die Flexibilisierung der Produktionsprozesse, die durch die Kombination verschiedener Heizmethoden erreicht wird. Dadurch wird die Resilienz gegenüber äußeren Einflüssen gesteigert. Dies kann insbesondere in Zeiten schwankender Energiepreise oder bei unterschiedlichen Anforderungen an den Produktionsprozess von Vorteil sein. Der Betrieb solcher hybriden Systeme erfordert in der Regel zusätzliche Anlagenkapazitäten, die neben Investitionskosten weitere Herausforderungen in der Planung und Durchführung der Produktionsprozesse darstellen.

Fazit und Handlungsempfehlung

Die Dekarbonisierung der Prozesswärme in der Umformtechnik ist entscheidend, um die industriellen CO₂-Emissionen zu reduzieren. Für eine erfolgreiche Dekarbonisierung bedarf es – je nach Anlage – unterschiedlicher Ansätze und Technologien. In der Tabelle auf der nächsten Seite sind verschiedene Öfen der Branchen Stahl, Kupfer und Aluminium und mögliche Dekarbonisierungsstrategien zusammenfassend aufgelistet. Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz sollten hierbei stets geprüft werden, da sie häufig unmittelbar umsetzbar sind.

Die Optimierung bestehender Prozesse durch die Nutzung von zentralen Rekuperatoren, Regenerator- und Rekuperatorbrennern und die Verbesserung der Wärmedämmung können signifikante Energieeinsparungen erzielen. Zusätzlich sind spezifische Maßnahmen wie die Optimierung der Luftzahl, die Erhöhung der Prozessstarttemperatur durch Wärmeinsatz, die Senkung der Prozesszieltemperatur,



Sektor	Ofentyp (u. a.)	Temperatur	Effizienzmaßnahmen	Technologie Readiness Level der Alternativen		
				Elektrifizierung	Wasserstoff	Biomasse
Stahl	Drehherdofen, Hubbalkenofen	1.150 – 1.400 °C	<ul style="list-style-type: none"> - Anlagenmonitoring - Regenerator-, Rekuperatorbrenner und Zentralrekuperatoren - Optimierung Luftzahl - Erhöhung Prozessstarttemperatur - Senkung Prozesszieltemperatur - Reduzierung Haltezeit - Optimierung Ofenbelegung 	TRL < 3 (Hybrid: Strom/Erdgas)	TRL = 4–5 Einzelne Komponenten der Brenner-technik erprobt, jedoch nicht im Gesamtsystem	TRL = 3–4 Einzelne Komponenten der Brenner-technik erprobt, jedoch nicht im Gesamtsystem, bisher geringe Relevanz in der Umformtechnik
	Kammerofen			TRL < 3		
Kupfer	Hubherdofen	1.085 – 1.200 °C		TRL = 9 (induktiv/widerstand)		
	Bolzenerwärmungsanlage			TRL = 9 (induktiv/widerstand)		
Aluminium	Rollenherdofen	550 – 600 °C		TRL = 9 (widerstand)		
	Kammerofen			TRL = 9 (widerstand)		

Tabelle Ausgewählte Öfen und mögliche Dekarbonisierungsstrategien in der Umformtechnik

die Reduzierung der Haltezeiten oder das Optimieren der Ofenbelegung wichtige Schritte zur weiteren Effizienzsteigerung.

Biogene Energieträger sollten nachrangig betrachtet werden. Sie erfordern eine Umrüstung der Anlage und Anpassung an die neuen Energieträger. Zudem steht der Einsatz in der Umformtechnik in Konkurrenz zu anderen Anwendungen und ihre Verfügbarkeit ist begrenzt, was die zukünftige Wirtschaftlichkeit in Frage stellt.

Der Umstieg auf grünen Wasserstoff als Brennstoff ist mit geringerem Umbauaufwand verbunden, befindet sich jedoch aktuell noch in einem geringen Entwicklungsstand. Insbesondere hinsichtlich der Prozessführung, aber auch in Hinsicht auf den Einfluss von Wasserstoff auf die Prozessatmosphäre sowie auf die Produkte sind weitere Untersuchungen notwendig.

Die Elektrifizierung ist in vielen Bereichen der Umformtechnik eine vielversprechende Option. Insbesondere die induktive Erwärmung zeigt bereits heute hohe Relevanz und Effizienz. Elektrische Verfahren können präziser gesteuert werden. Auch eine schrittweise oder eine anteilige Elektrifizierung des Anlagenparks ist möglich und sollte in

Erwägung gezogen werden. Bei sämtlichen elektrischen Verfahren und Effizienzmaßnahmen ist davon auszugehen, dass mit steigender Verfügbarkeit an erneuerbaren Energien eine vollständige Dekarbonisierung der Umformprozesse möglich ist.

Allgemein ist die Kenntnis der technischen Möglichkeiten und der eigenen Standortbedingungen (wie vorhandene und zukünftige Infrastruktur, Netzanschlüsse) entscheidend. Hierzu sollten frühzeitig Gespräche mit den relevanten Akteuren wie Energieversorgern, Netzbetreibern und Kommunen (im Rahmen der Kommunalen Wärmeplanung) angestoßen und gemeinsam Pläne erarbeitet werden.

Bildnachweis:

Titelfoto: thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH
 Foto Seite 7: ThEGA, Stahlwerk Thüringen GmbH
 Abbildung 3: Rollenherdofen, SRS Industrieofenbau GmbH
 Abbildung 4: Drehherdofen, SRS Industrieofenbau GmbH
 Abbildung 5: Herdwagenschmiedeofen, Rath AG
 Abbildung 6: Bolzenerwärmung, IAS GmbH

Herausgeber:
 Klimaschutz- und Energieagentur
 Niedersachsen GmbH
 Osterstraße 60 | 30159 Hannover

Erstellung in Zusammenarbeit mit:
 RWTH Aachen University
 Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik (IOB)
 Kopernikusstraße 10 | 52074 Aachen

Gefördert durch:



**Niedersächsisches Ministerium
 für Umwelt, Energie und Klimaschutz**