



Prozesswärme für eine klimaneutrale Industrie

Impulspapier der Initiative IN4climate.NRW

Dieses Dokument wird von folgenden Unternehmen und Institutionen unterstützt:



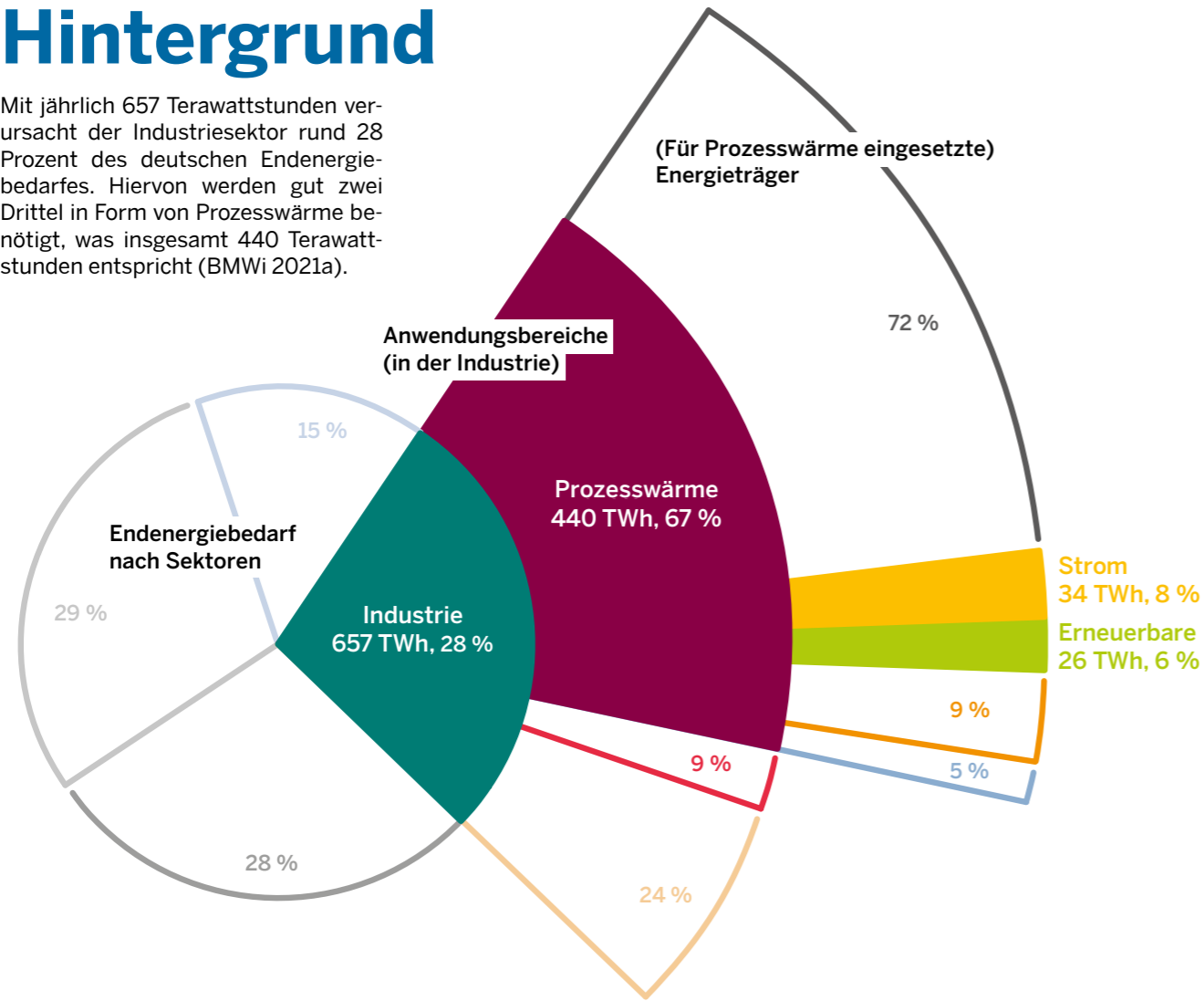
IN4climate.NRW – eine Initiative der NRW-Landesregierung

Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



Hintergrund

Mit jährlich 657 Terawattstunden verursacht der Industriesektor rund 28 Prozent des deutschen Endenergiebedarfes. Hiervon werden gut zwei Drittel in Form von Prozesswärme benötigt, was insgesamt 440 Terawattstunden entspricht (BMWi 2021a).



Industrie 657 TWh
 Verkehr 637 TWh
 Haushalte 670 TWh
 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) 354 TWh

Prozesswärme 440 TWh
 Sonstige Wärme^a 58 TWh
 Elektrizität^b 159 TWh

fossile Energieträger^c 317 TWh
Strom^d 34 TWh
Erneuerbare^e 26 TWh
 Fernwärme 42 TWh
 Sonstige 21 TWh

Prozesswärme machte 2020 einen Großteil des industriellen Energiebedarfes aus und wird heute noch überwiegend aus fossilen Energieträgern gedeckt (BMWi 2021a).

^a Hierunter fallen u. a. Raumwärme (z.B. Hallenbeheizung) und Warmwasser.

^b Hierunter fallen z. B. mechanische Energie (für Pumpen oder Antriebe), Beleuchtung, Informationstechnik und Kommunikation.

^c Mineralöl, Gas und Kohle

^d Strom verursacht in der Anwendung keine Emissionen. Da es sich hierbei um den Strommix aus dem Netz handelt, sind allerdings der aktuelle EE-Anteil und die resultierenden CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung zu berücksichtigen.

^e Unter Erneuerbare fallen z. B. Biomasse und Geothermie.

Somit werden knapp 19 Prozent des gesamten deutschen Endenergiebedarfes für industrielle Prozesswärme eingesetzt.

Nur knapp 26 Terawattstunden – also 6 Prozent – wurden im Jahr 2020 dabei aus Erneuerbaren Energien erzeugt, etwa 8 Prozent aus Strom (BMWi 2021a).

Eine besondere Bedeutung hat Prozesswärme für das Industrieland Nordrhein-Westfalen (NRW). Mit ungefähr 180 Terawattstunden pro Jahr fallen etwa 40 Prozent des deutschen

Prozesswärmebedarfes allein in NRW an (IN4climate.NRW 2021). Gleichzeitig macht Prozesswärme damit rund 45 Prozent des gesamten Wärmebedarfes des Landes NRW aus. Weitere knapp 220 Terawattstunden pro Jahr werden in NRW für Raumwärme und Warmwasser (inkl. Industriegebäude und -hallen) benötigt (LANUV 2021). Damit hat NRW im bundesweiten Vergleich neben einem hohen allgemeinen Wärmebedarf auch einen überdurchschnittlich hohen Anteil von Prozesswärme am Gesamtwärmebedarf (BMWi 2021a).

Aufgrund der vielfältigen und komplexen Anforderungen an die Bereitstellung von Prozesswärme ist die Energiewende in diesem Kontext eine ganz besondere Herausforderung. Die industrielle „Prozesswärmewende“ darf daher weder bei den allgemeinen Diskussionen zur Energiewende noch bei Ansätzen zur Wärmewende vernachlässigt werden.

Ziel dieses Impulspapieres ist, die industrielle Prozesswärmewende stärker in den Fokus zu rücken und mögliche konkrete Ansätze und Hebel zur Beschleunigung der Industrietransformation aufzuzeigen.

Was ist eigentlich Prozesswärme?



Info!

Mit dem Begriff „Prozesswärme“ ist Wärme gemeint, die für bestimmte technische Prozesse zur Herstellung, Weiterverarbeitung oder Veredelung von Produkten benötigt wird. Solche Prozesse sind zum Beispiel das Trocknen, Schmelzen oder die Wärmebehandlung beispielsweise von Metallen und auch thermochemische Prozesse. Nicht gemeint ist in diesem Zusammenhang Wärme in Form von warmem Wasser zur Nutzung in Sanitärbereichen oder zu Heizzwecken im Gebäude.

19 %

des gesamten deutschen Endenergiebedarfes werden für industrielle Prozesswärme eingesetzt

Klimaneutrale Prozesswärme – aber wie?

Die Anforderungen an eine Prozesswärmewende und die erforderlichen Maßnahmen im Hinblick auf Prozessumstellungen sind komplex. Aus Sicht von IN4climate.NRW wird ihnen noch nicht ausreichend Aufmerksamkeit geschenkt. Zwar ist die erforderliche Wärmewende in Deutschland ein diskutiertes Thema der aktuellen politischen Agenda, jedoch bislang meist mit Fokus auf den Gebäudesektor. Beispielsweise hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz vergangenes Jahr den Dialog „Klimaneutrale Wärmewende“ mit zentralen Akteur:innen geführt. Die industrielle Prozesswärme ist im zugehörigen Ergebnispapier (BMWi 2021b) aber vergleichsweise ein Randthema. Sie wird vor allem mit Blick auf die Nutzung unvermeidbarer industrieller Abwärme in Fernwärmenetzen diskutiert. Die Industrie als „Wärmelieferant“ steht dabei im Mittelpunkt. Kaum adressiert wird hingegen, wie der eigene industrielle Prozesswärmebedarf erzeugt und gedeckt wird. Dieser kann je nach

Branche auf sehr unterschiedlichem Temperaturniveau anfallen und reicht beispielhaft von ca. 160 °C (in der Papierherstellung) bis über 1.450 °C (in der Eisen- und Stahl-, Glas- oder Zementindustrie), zum Teil mit erforderlichen Verbrennungstemperaturen von bis zu 3.000 °C (IN4climate.NRW 2021).

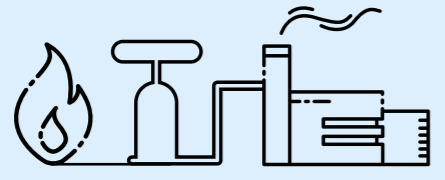
In Industrieprozessen sind teilweise Verbrennungstemperaturen von bis zu **3.000 °C** erforderlich

Für den dringend notwendigen Wandel zu einer klimaneutralen Prozesswärmeerzeugung in NRW können nach Einschätzung von

IN4climate.NRW die nachfolgenden Aspekte besonders beitragen:

1. „Efficiency First“

Wärme einzusparen leistet den besten Beitrag zum Klimaschutz. Das liegt auf der Hand. Ziel soll es daher neben der Vermeidung von Wärmeverlusten sein, **Technologien mit hohem Wirkungsgrad für industrielle Prozesse** anwenden zu können und gleichzeitig dort anfallende niederkalorische (Ab-)Wärme wieder für den Einsatz in Industrieprozessen nutzbar zu machen (d. h. Anheben des Temperaturniveaus). Hierfür eignen sich **Hochtemperatur-Wärmepumpen** (siehe Infobox). Hinsichtlich ihres industriellen Einsatzes besteht jedoch noch **Entwicklungsbedarf**. Die großtechnische Anwendung und – teilweise komplexe – Integration in bestehende Industriestandorte sollte durch die gezielte Förderung von Pilotanlagen und -konzepten in NRW forciert werden.

Was können Hochtemperatur-Wärmepumpen?	
Info!	<p>Industrielle Hochtemperatur-Wärmepumpen können bspw. zur Erzeugung von Prozessdampf mit Temperaturen von bis zu 160 °C eingesetzt werden. Die Kombination mit nachgeschalteten mechanischen Brüdenverdichtern kann höhere Temperatur- und Druckniveaus ermöglichen. Wärmepumpen benötigen je nach Anwendungsbereich bis zu viermal weniger Strom als z. B. Elektrodenkessel und haben damit deutliche Effizienzvorteile (Agora Energiewende und Wuppertal Institut 2020, IN4climate.NRW 2021). Hochtemperatur-Wärmepumpen befinden sich derzeit auf einem Technology Readiness Level (TRL) 7, d. h. Prototypen sind im Einsatz. Nach Einschätzung von Agora Energiewende und Wuppertal Institut können sie bei optimaler Entwicklung frühestens ab 2025 zum großtechnischen Einsatz kommen. Mit einem „Innovationspaket elektrische Industriewärme und Effizienz“, wie aktuell von Agora Energiewende vorgeschlagen, ließe sich diese Dauer optimalerweise verkürzen (Burmeister et al. 2022).</p> <p>Damit durch Wärmepumpen der direkte und indirekte Ausstoß von Treibhausgasen auch wirklich reduziert wird, muss der Anteil an erneuerbarem Strom im Netz deutlich steigen (vgl. Abschnitt 3).</p>

Die Effizienz kann erhöht werden, wenn sich **Prozesswärmebedarf und Temperaturniveaus reduzieren** lassen. Die Basis dafür sind Konzepte, die systematisch die **Minimierung von Prozesstemperaturen** (sogenannte „LowEx-Konzepte“) und **(innerbetriebliche) Abwärme-Kaskadennutzung¹** untersuchen. Unternehmen bei der Erstellung und Umsetzung solcher Konzepte zu fördern und zu unterstützen, kann einen wichtigen Beitrag zur Steigerung von Effizienz leisten.

Anfallende Abwärmemengen können sich durch Effizienzsteigerungen und Prozessumstellungen verändern – z. B., wenn auf andere Energieträger zur Bereitstellung der Prozesswärme umgestellt wird. Hinsichtlich solcher Industrietransformationen empfiehlt IN4climate.NRW eine **perspektivische Betrachtung bis 2045**. **Dadurch sollen robuste Pfade identifiziert werden**. Außerdem können dadurch Potenziale erkannt werden, die sich durch langfristig anfallende unvermeidbare Abwärme ergeben Investitionen zum Auf- und Umbau von

Infrastruktur sind von zentraler Bedeutung. Sie sollten unbedingt Teil langfristiger und sinnvoller Maßnahmen sein. Ein Industriestandort sollte unter Einbeziehung seiner Umgebung hinsichtlich paralleler Pfade mit einem Gesamtwirkungsgrad innerhalb der Systemgrenze analysiert werden. Das kann wichtige Erkenntnisse zur Bewertung liefern. Wahrscheinlich gibt es häufig nicht pauschal die optimale Lösung. Stattdessen muss für jeden Standort die individuell beste Lösung gefunden werden (siehe Fallbeispiel).

Power-to-Heat (PtH) versus grüner Wasserstoff (H₂)	Ein Industrieunternehmen erzeugt heute über erdgasbefeuerte Öfen seine Hochtemperatur-Prozesswärme. Es stellt außerdem Abwärme aus dem anfallenden Verbrennungsabgasstrom über einen entsprechenden Anschluss als Fernwärme (FW) für den nahegelegenen Ort bereit (externe Abwärmenutzung). Für die Umstellung des Industrieprozesses auf klimaneutrale Prozesswärme-Erzeugungstechnologien bieten sich zwei technisch mögliche Optionen an:	
	A) Umstellung der Prozesswärmeerzeugung mittels Power-to-Heat (z. B. elektrisch betriebene Induktionsöfen)	B) Substitution des Erdgases durch grünen Wasserstoff
	<p>Zu berücksichtigen: PtH hat im Vergleich zu einem Verbrennungsprozess in der Regel einen höheren Wirkungsgrad. Das würde sich positiv auf die Effizienz des internen Prozesses auswirken.</p> <p>Die Folge: Es würde kein Abgasstrom mehr entstehen. Dadurch würde deutlich weniger oder keine direkt daraus nutzbare Abwärme anfallen. Die FW-Versorgung des Ortes müsste demnach über andere Technologien (mit Energiebedarf) gedeckt werden. Dazu wäre der Aufbau einer neuen Infrastruktur (z. B. zur Erschließung anderer niederkalorischer Wärmequellen oder für Wärmepumpen) notwendig, während die bestehende Infrastruktur (z. B. Wärmetauscher, Leitungsanbindung an das FW-Netz) ungenutzt verbliebe.</p>	<p>Zu berücksichtigen: Die Umwandlungsverluste zur Herstellung von Wasserstoff führen zu einem gesteigerten Energiebedarf im Vergleich zu PtH. Dieser Mehrbedarf ist lokal wie auch global relevant, z. B. wenn Wasserstoff importiert wird.</p> <p>Die Folge: Da weiterhin ein Feuerungsprozess mit Verbrennungsabgas bestünde, könnte aber voraussichtlich die Abwärmeeinspeisung ins FW-Netz auch zukünftig erfolgen. So würden indirekt Treibhausgasemissionen eingespart, da keine Alternativen zur Bereitstellung der FW notwendig würden. Darüber hinaus bietet die Weiternutzung der bereits aufgebauten Infrastruktur wirtschaftliche Vorteile.</p>
Fallbeispiel	<p>Fazit: Im Regelfall stellt A) die langfristig effizientere und daher vorzuziehende Option dar. Eine Systemumstellung nach B) oder auch eine hybride Lösung (PtH und H₂) könnte jedoch in Einzelfällen (z. B. bei schwer elektrifizierbaren Hoch- und Höchsttemperaturanwendungen) gesamtsystemisch vorteilhafter sein.</p>	

2. Erneuerbare Wärmequellen – natürlich und regional

Anders als bei gebäudebezogener (Niedertemperatur-)Wärme sind die Einsatzbereiche erneuerbarer Wärmequellen zur Bereitstellung von (Hochtemperatur-)Prozesswärme begrenzt. Grund dafür sind die oft hohen Temperaturanforderungen für Prozesswärme. Dennoch lassen sich zum Beispiel Heißwasser- und Prozessdampfbedarfe auf diese Weise bereitstellen. Durch die Nutzung lokaler erneuerbarer Wärmequellen kann außerdem die Abhängigkeit von Energieimporten reduziert werden.

Über **Tiefengeothermie** ließen sich nach aktueller Einschätzung von Bracke und Huenges (2022) potenziell bis zu einem Viertel des industriellen Wärmebedarfes bis etwa 200 °C decken.² Im Gegensatz zu fluktuierenden Erneuerbaren Energien bietet Geothermie den Vorteil, grundlastfähig Wärme bereitzustellen. Das ist vor allem in der industriellen Anwendung relevant.³

Über **solarthermische Kollektoren** lassen sich Temperaturen bis etwa 250 °C erzeugen (IN4climate.NRW 2021, Universität Kassel o. J.). Konzentrierende Solarthermie (CST)⁴ könnte nach Einschätzung des Deutschen Industrieverbandes für Concentrated Solarpower (DSCP) sowie verschiedener deutscher Forschungsinstitute theoretisch auch in unseren Breitengraden für Anwendungen bis zu 400 °C infrage kommen (DCSP 2021, Krüger et al. 2021). Ein Vorteil: Der Prozesswärmebedarf fällt meist ganzjährig an, auch in den Sommermonaten. Der Ertrag ist allerdings durch die tatsächlichen Sonnenstunden begrenzt. Deswegen sollte CST möglichst mit einem Wärmespeicher kombiniert werden. So wird der solare Deckungsgrad erhöht.

Industrielle Wärmebedarfe, die über Erneuerbare gedeckt werden könnten, sollten tatsächlich auf diese Weise gedeckt und so die Potenziale erneuerbarer Wärmequellen umfassend erschlossen werden.

Konkrete Anreize hierfür könnten sein:
 ○ Flächendeckende **Erkundung der natürlichen tiefegeothermischen Potenziale in NRW** durch den Geologischen Dienst NRW

○ Erstellung erster **Tiefbohrungen zum Fündigkeitsnachweis** je Region mit vielversprechenden tiefegeothermischen Potenzialen, um privatwirtschaftliche Folgeinvestitionen herbeizuführen

○ Ausschreibung / Wettbewerb für **(konzentrierende) Solarthermie in Industrieanwendungen** vor allem in Verbindung mit (Hochtemperatur-) Wärmespeichertechnologien als Pilotanlagen

3. Grundvoraussetzung: Erneuerbarer Strom

Der Begriff „Elektrifizierung“ ist in aller Munde. Das zukünftige Energiesystem wird wie nie zuvor auf die **ausreichende Verfügbarkeit von erneuerbar erzeugtem Strom** angewiesen sein. Gebraucht wird er unter anderem im Verkehrssektor, für Wärmepumpen zur Beheizung von Gebäuden und für die Erzeugung von Prozesswärme. Die Umstellung von derzeit auf fossilen Energieträgern basierenden Verfahren zur Prozesswärmeerzeugung auf elektrifizierte Systeme (PtH), wird zu einem zusätzlichen Strombedarf führen (Agora Energiewende und Wuppertal Institut 2020). Weil das Bundesland Nordrhein-Westfalen außerdem stark industriell geprägt ist, wird vor allem die **Beschleunigung des lokalen Ausbaus der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien (EE) in NRW** essenziell sein, um NRW als Industriestandort zu sichern. Um außerdem den erneuerbaren Strom aufnehmen und transportieren zu können, ist eine **leistungsfähige Netzinfrastruktur** nötig. Der Netzausbau sollte, z. B. durch optimierte Genehmigungsverfahren,

beschleunigt werden. Darüber hinaus müssen **wettbewerbsfähige Preise für grünen Strom** in Deutschland geschaffen werden. Nur so kann eine großflächige Elektrifizierung von Prozesswärme erreicht werden.

Neben der reinen technischen Elektrifizierbarkeit der Wärmeerzeugung sind außerdem Technologien erforderlich, die eine ausreichende Versorgungssicherheit und Wettbewerbsfähigkeit ermöglichen. Nur so entstehen **realistische Betriebsmodelle**. Dabei bietet die Sektorkopplung des Stromnetzes mit der Industrie gerade in NRW eine gute Möglichkeit zur Netzstabilisierung. Die **Entwicklung von flexiblen⁵ und hybriden (elektrischen und brennstoffbasierten) Systemen⁶** wird für den Elektrifizierungshochlauf erforderlich sein. Flexible und hybride Systeme können bei starken Energiepreisschwankungen, wie in der aktuellen kriegsbedingten Energiekrise, zur Versorgungssicherheit beitragen.

4. Speicherbare alternative Energieträger – Champagner und Kaviar der Energiewende?

Grundsätzlich gilt, dass Prozesse, die dekarbonisierbar sind, auch dekarbonisiert werden sollten. Das heißt, sie sollten ohne den Einsatz von kohlenstoffhaltigen Energieträgern auskom-

men, um die Kohlenstoffintensität in der Industrie zu verringern (MWIDE 2021).

Ein großer Teil der in NRW ansässigen Industrie wird daher zukünftig zumindest teilweise auf wertvollen Wasserstoff (H₂) zur energetischen Nutzung angewiesen sein.⁷ Um eine Perspektive und Planungssicherheit zu vermitteln, muss sichergestellt werden, dass **nachhaltiger Wasserstoff** zu wirtschaftlich wettbewerbsfähigen Preisen in NRW verfügbar ist. Hierzu erforderlich sind:

○ der **Aufbau von H₂ Erzeugungskapazitäten** in NRW – vorrangig mit parallelem Aufbau von EE-Strom-Erzeugungskapazitäten – durch förderliche Rahmenbedingungen,

○ der schrittweise **Aufbau einer Transport- und Speicherinfrastruktur** für Strom und H₂ durch ein koordiniertes Vorgehen und die Zusammenarbeit mit internationalen Partnern,

○ die **Sicherung von Importkapazitäten für ökologisch und sozial nachhaltig erzeugten Wasserstoff** durch europäische oder internationale Abkommen des Landes NRW,

○ eine **sektorübergreifende und integrierte Netzplanung** von Gasnetzen (u. a. Erdgas, Wasserstoff) sowie Strom- und Wärmenetzen.

Ist eine Dekarbonisierung nicht möglich, muss defossilisiert werden (MWIDE 2021). Deshalb wird neben Wasserstoff zum Beispiel **Biomasse als wertvoller Rohstoff und Speicherbarer Energieträger** eine wichtige Rolle zur Deckung des industriellen Prozesswärmebedarfes spielen. Dabei ist es wesentlich, dass Biomasse⁸ als limitierte Ressource erkannt wird, die unbedingt gezielt und so effizient wie möglich eingesetzt werden muss. Eine **Priorisierung des Biomasseeinsatzes** heißt: (Niedertemperatur-) Anwendungen müssen **zugunsten des stofflichen Einsatzes und von Hochtemperaturanwendungen in der Industrie** umgestellt werden. Berücksichtigt werden sollte dabei auch, dass jede energetische Nutzung von Biomasse zur Entstehung von Kohlenstoffdioxid (CO₂) führt. Dieses CO₂ ist zwar bilanziell neutral, jedoch angesichts begrenzter CO₂-Budgets dennoch klimarelevant. Der Bioökonomierat schlägt hierzu eine Bewertung gemessen an der Zeit vor, die nötig ist, um das freigesetzte CO₂, z. B. durch Pflanzenwachstum, wieder neu zu binden (Bioökonomierat 2022).

Empfehlenswert ist aus Sicht von IN4climate.NRW der stoffliche und energetische Einsatz von Biomasse in Form einer Kaskadennutzung, bspw. in der chemischen Industrie, in der Metallherstellung und -verarbeitung oder auch in Kalk- und Zementwerken. Durch CO₂-Abscheidung können dort zusätzlich negative Treibhausgasemissionen (BECCS) erzielt werden.

Praxisbeispiel

Konzentrierende Solarthermie

Im Jahr 2019 wurde in Antwerpen eine staatlich geförderte CST-Pilotanlage zur Erzeugung von Prozesswärme in Betrieb genommen (Santamarta 2019). Die Anlage wird bei Betriebstemperaturen von ca. 250 °C zur Erzeugung von Prozessdampf in einem Chemiebetrieb genutzt. Nach aktuellen Erkenntnissen bestätigen die Betriebsdaten die wissenschaftlichen Berechnungen (Krüger et al. i.E.).

¹ Eine etablierte Methode zur systematischen Nutzung von Abwärme und effizienten Wärmeintegration ist die sogenannte „Pinch-Analyse“ (Brunner und Krummenacher 2017).

² Industriezweige mit Prozesswärme- und Prozessdampfbedarf bis zu einer Temperatur von 200 °C sind Textil- und Papierherstellung, die Holzverarbeitung und Bauindustrie, die chemische, metallverarbeitende und sonstige niedertemperaturintensive Industrien, ebenso die (Unterglas-) Landwirtschaft sowie die Herstellung und Verarbeitung von Nahrungsmitteln und Getränken (Bracke und Huenges 2022).

³ Ein Beispiel für die industrielle Anwendung von Tiefengeothermie in NRW zeigt das Projekt Kabel ZERO, wo geothermale Wärme zur Papierherstellung eingesetzt werden soll.

⁴ Für CST-Anwendungen in der Industrie wird auch der englische Begriff „Solar Heat for Industrial Processes“ (SHIP) verwendet.

Ausblick

Wie kann es jetzt weitergehen?

Die klimaneutrale Erzeugung von Prozesswärme ist für das Industrieland Nordrhein-Westfalen von ganz besonderer Bedeutung und stellt damit gleichzeitig eine besondere Herausforderung dar, die zeitnah strategisch und gesamtsystemisch angegangen werden sollte. **Ganzheitliche überregionale Wärmestrategien** können hierbei wichtige Impulse setzen und Hilfestellung sein. Solche Strategien sollten einerseits das Zusammenspiel der verschiedenen Sektoren berücksichtigen. Andererseits ist es wichtig, dass sie eine optimierte Deckung aller Wärmebedarfe – sowohl für Gebäude als auch für die Industrie – miteinbeziehen.

⁵ Beispielanwendungen für solch flexible elektrische Systeme sind u. a. das Projekt „Virtuelle Batterie“ zur flexiblen Aluminiumelektrolyse bei TRIMET oder, in Kombination mit Hochtemperatur-Wärmespeichern, das „Green Heat Module“ von Kraftanlagen.

⁶ Dieser Ansatz wird z. B. im Projekt „TransTES-Chem“ verfolgt.

⁷ Neben reinem Wasserstoff könnten auch kohlenstofffreie Energieträger, wie z. B. Ammoniak, zur energetischen Nutzung infrage kommen.

⁸ Mit Biomasse ist hier neben fester Biomasse ebenso Biogas und Biomethan gemeint.

Quellen

Agora Energiewende; Wuppertal Institut 2020: Klimaneutrale Industrie - Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. Berlin.

Bioökonomierat 2022: Bioökonomie: Gemeinsam eine nachhaltige Zukunft gestalten - 1. Arbeitspapier des III. Bioökonomierats.

BMWi 2021a: Gesamtausgabe der Energiedaten - Datensammlung des BMWi. In: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt-xls.html>.

BMWi 2021b: Dialog Klimaneutrale Wärme 2045. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

Bracke, Rolf; Huenges, Ernst 2022: Roadmap Tiefe Geothermie für Deutschland - Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft für eine erfolgreiche Wärmewende - Strategiepapier von sechs Einrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft und der Helmholtz-Gemeinschaft.

Brunner, Florian; Krummenacher, Pierre 2017: Einführung in die Prozessintegration mit der Pinch-Methode - Handbuch für die Analyse von kontinuierlichen Prozessen und Batch-Prozessen. Zweite Auflage.

Burmeister, Helen et al. 2022: Energiesicherheit und Klimaschutz vereinen – Maßnahmen für den Weg aus der fossilen Energiekrise. Berlin: Agora Energiewende.

DCSP 2021: Solare Energie rund um die Uhr. Berlin: Deutscher Industrieverband Concentrated Solar Power.

IN4climate.NRW 2021: Industrierwärme klimaneutral: Strategien und Voraussetzungen für die Transformation - Ein Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Wärme. Gelsenkirchen.

Krüger, Dirk et al. 2021: Chancen für den Einsatz konzentrierender Kollektoren in Mitteleuropa. Veröffentlicht beim 31. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme 27. - 30. April 2021. Pforzheim: Conexio.

Krüger, Dirk et al. i. E.: Status in Solar Heat from Concentrating Solar Systems. Das Papier wurde auf der SolarPACES Konferenz 2021 vorgestellt und zur Veröffentlichung eingereicht.

LANUV, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021: Potenzialstudie Kraft-Wärme-Kopplung - LANUV-Fachbericht 116. Recklinghausen.

MWIDE 2021: Kohlenstoff kann Klimaschutz - Carbon Management Strategie Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf: Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen.

Santamarta, Jose 2019: Port of Antwerp installs Europe's first industrial concentrated solar power. In: HELIOSCSP. URL: <https://helioscsp.com/port-of-antwerp-installs-europes-first-industrial-concentrated-solar-power/>.

Universität Kassel o. J.: Solare Prozesswärme - CO₂-freie Wärme für Industrie und Gewerbe.

Zum Datum der Veröffentlichung dieser Publikation waren alle Links aktuell.

IN4climate.NRW lebt von der Diskussion und den verschiedenen Standpunkten der beteiligten Unternehmen und Organisationen. IN4climate.NRW versteht sich nicht als Verband, der die Interessen seiner Mitglieder aktiv in der Politik vertritt. Die Initiative stellt eine Plattform zum Meinungs- und Diskurs dar. In diesem Umfeld entstehen Papiere und Ausarbeitungen, die von einzelnen Mitgliedern erarbeitet, diskutiert und ausformuliert werden. Andere Mitglieder können sich in einem strukturierten Prozess den Ergebnissen oder Diskussionsbeiträgen explizit anschließen und das Dokument mittragen. Alle IN4climate.NRW-Mitglieder, die sich zu einer Unterzeichnung explizit entschlossen haben, werden transparent aufgeführt. Dies erlaubt aber keine Aussage zur Positionierung anderer nicht aufgeführter IN4climate.NRW-Mitglieder. Die Geschäftsstelle von IN4climate.NRW stellt Transparenz und Beteiligungsmöglichkeiten sicher.

Bibliografische Angaben

Herausgeber:
IN4climate.NRW
(NRW.Energy4Climate GmbH)

Veröffentlicht:
Mai 2022

Kontakt & Koordination:
Tania Begemann,
(IN4climate.NRW),
Projektmanagerin Industrie &
Produktion,
Industriewaerme@energy4climate.nrw

Bitte zitieren als:
IN4climate.NRW (Hrsg.) 2022: Prozesswärme für eine klimaneutrale Industrie. Impulspapier der Initiative IN4climate.NRW. Düsseldorf.

Impressum:

NRW.Energy4Climate GmbH
Kaistraße 5
40221 Düsseldorf
0211 822 086-555
kontakt@energy4climate.nrw
www.energy4climate.nrw
© NRW.Energy4Climate / B22001

Stand:
05/2022

Bildnachweis:

Titel: istock, Strekalova

Gestaltung:
www.tippingpoints.de