

Zukünftige Beheizung von Industrieöfen

Joachim G. Wüning
WS Wärmeprozessstechnik GmbH

Zukünftig werden wir noch stärkere Anstrengungen unternehmen müssen um die Emissionen, insbesondere von CO₂ und NO_x, deutlich abzusenken. Hocheffiziente Wärmetauscher, Verbrennungstechnik, alternative Brennstoffe und elektrische Beheizung bieten die Möglichkeiten diese Ziele zu erreichen.

1. Einleitung

Viele Menschen sehen im Klimawandel eine der größten Risiken für einen lebenswerten Planeten der Zukunft. Technische, vor allem aber auch enorme gesellschaftliche Anstrengungen werden notwendig sein, um die beim Übereinkommen von Paris 2015 getroffenen Ziele einzuhalten; die Begrenzung der globalen Erwärmung auf deutlich unter 2°C gegenüber vorindustriellen Werten. Dieser Beitrag konzentriert dabei sich auf die Beheizung von Industrieöfen. Über die allgemeinen Entwicklungen im Industrieofenbau wird in „Trends der Thermoprozessstechnik“ berichtet /1/.

Industrielle Prozessfeuerungen tragen zu einem erheblichen Teil zu fossilen Kohlendioxidemission bei. Grundsätzlich sind zwei Wege denkbar, Industrieöfen zu beheizen ohne dabei fossile Treibhausgase zu emittieren.

- Beheizung mit regenerativem Strom
- Beheizung mit nicht-fossilen Brennstoffen

Im folgenden wird versucht, mit vereinfachenden Annahmen mögliche Wege zu einer Reduzierung der fossilen CO₂-Emissionen bei der Beheizung von Industrieöfen aufzuzeigen.

2. Aachener Ofenbau und Termoprozess-Kolloquium
10. und 11. Oktober 2019, Aachen

2. Reduzierung der fossilen CO₂-Emissionen

Beim derzeitigen Strommix in Deutschland [2] verursacht eine elektrische Widerstandsbeheizung etwa doppelt so hohe CO₂-Emissionen wie eine effiziente Erdgas-Beheizung. Abbildung 1 zeigt die spezifischen CO₂-Emissionen für den Netto-Wärmeeintrag in einen Industrieofen der bei 1000°C betrieben wird. Der Wärmeeintrag für die elektrische Beheizung wird dabei verlustfrei angenommen. Bei der Ergasbeheizung liegen die spez. CO₂-Emissionen je zugeführter Kilowattstunde zwischen 400 Gramm CO₂ für einen Kaltluftbrenner und 250 Gramm CO₂ für einen Brenner mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung. Derzeit lässt sich somit die größte CO₂-Reduzierung durch den Einsatz effizienter Gasbrenner erzielen. Später kann eine Reduzierung auch durch den zunehmenden Einsatz nichtfossiler Brennstoffe erreicht werden.

Wenn in einigen Jahren der Anteil regenerativ erzeugten Stroms deutlich zugenommen hat, wird sich ein Wettbewerb zwischen brennstoffbasierten und elektrischen Beheizungen entwickeln. In einer Marktwirtschaft sollten ehrliche Preise die wahren Kosten der konkurrierenden Systeme widerspiegeln und somit zu einem fairen Wettbewerb führen.

2. Aachener Ofenbau und Termoprozess-Kolloquium
10. und 11. Oktober 2019, Aachen

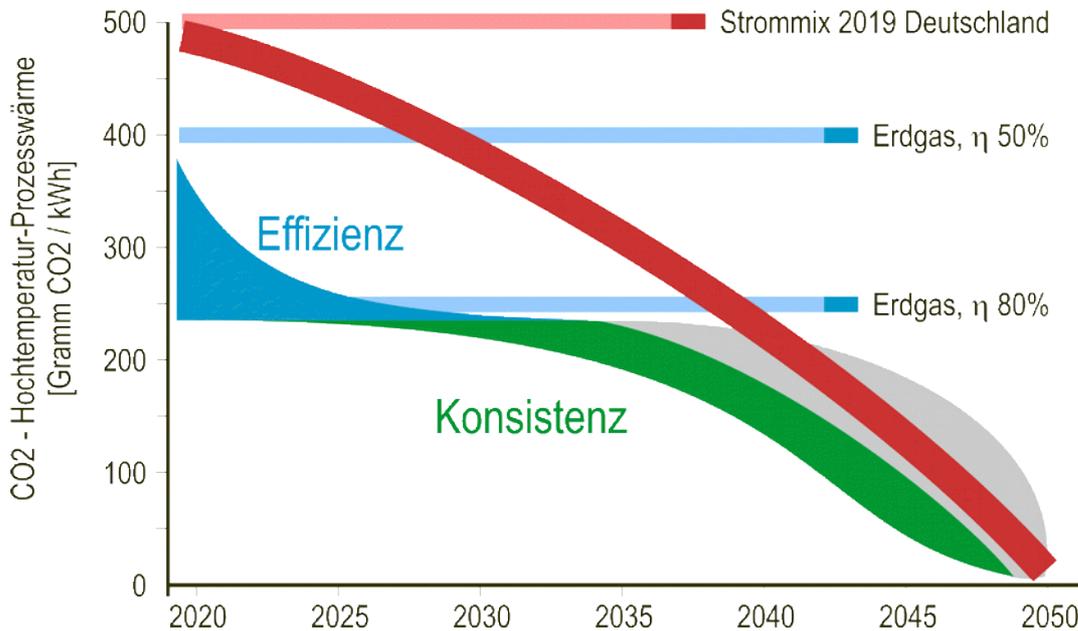


Abbildung 1: CO₂ Emissionen von Hochtemperatur-Prozessen

Noch bis vor wenigen Jahren war die Meinung weit verbreitet, die Endlichkeit der fossilen Brennstoffe würde automatisch zu höheren Energiepreisen und damit langfristig zu geringerem Verbrauch führen. Unterschiedliche Ansichten gab es nur hinsichtlich der Zeithorizonte ob fossile Brennstoffe nur noch wenige Jahrzehnte oder viele Jahrzehnte reichen würden /3/. An die Stelle der Endlichkeit fossiler Energie ist nun die Aufnahmefähigkeit der Atmosphäre für fossilen Kohlenstoff getreten.

Mittlerweile gibt es viele Stimmen die sich dafür aussprechen, eine CO₂-Bepreisung in Deutschland einzuführen. Über die Ausgestaltung der Bepreisung wird noch heftig gestritten aber Deutschland steht kurz vor der Einführung.

In Abbildung 2 sind die Energiepreise für Strom und Erdgas (Industriepreise ohne MwSt.) dargestellt. Die Werte für die Jahre 1991 bis 2018 sind Jahresmittelwerte /4/. Ab dem Jahr 2020 wurde eine kostenneutrale Einführung einer CO₂-Bepreisung von 50 Euro/t angenommen die jährlich um 13 Euro/t angehoben wird und somit im Jahr 2030 bei 180 Euro/t und im Jahr 2050 bei 440 Euro/t liegt. Die gestrichelten Linien zeigen die dadurch resultierenden Energiepreise bei bestehenden Anteilen regenerativer Energie. Für Strom wurde

2. Aachener Ofenbau und Termoprozess-Kolloquium 10. und 11. Oktober 2019, Aachen

dann die jährliche Zunahme des regenerativen Anteils um 2% ab 2020, ausgehend von 40%, eingerechnet und in der roten durchgehenden Linie dargestellt. Bei Erdgas wird bis 2030 ohne regenerativen Anteil gerechnet und ab 2030 mit einer jährlichen Zunahme von 5% gerechnet, so dass bis zum Jahr 2050 Strom und Brenngas nichtfossil sind. Die Preisentwicklungen erscheinen im Vergleich zur Vergangenheit moderat, es muss sich aber zeigen ob die Anreize zum Aufbau regenerativer Energieerzeugung ausreichend sind.

2.1 Effizienz

Es gibt derzeit noch viel Potential für Effizienzsteigerungen. Beim feuerungstechnischen Wirkungsgrad von industriellen Prozessfeuerungen ist ein Ziel > 80 % anzustreben. Technisch ist dieses Ziel heute schon unter Einhaltung zulässiger Schadstoffemissionen möglich, aber nicht immer wirtschaftlich. Brennersysteme mit hocheffizienter regenerativer und rekuperativer Luftvorwärmung werden von mehreren Herstellern angeboten /3/.

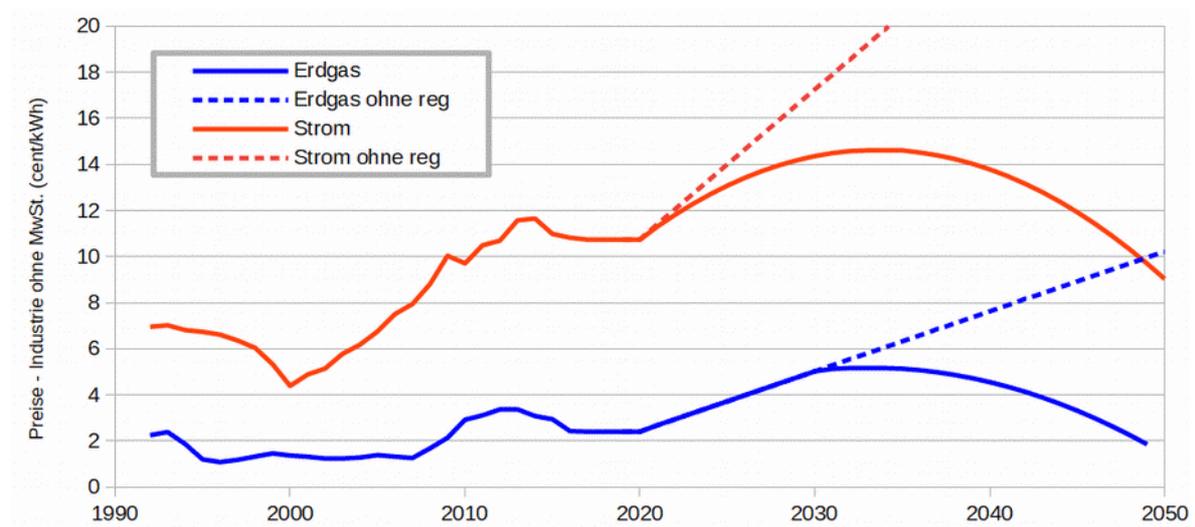


Abbildung 2: Preisentwicklungen für Strom und Brenngas

2.2 Konsistenz – Wechsel zu nichtfossiler Energie

2. Aachener Ofenbau und Termoprozess-Kolloquium
10. und 11. Oktober 2019, Aachen

Das Ausschöpfen der Effizienzpotentiale allein wird nicht ausreichen um die Ziele zur Reduzierung der fossilen CO₂-Emissionen zu erreichen.

2.2.1 Strom

Beim regenerativ erzeugten Strom wird sich die Frage stellen ob es wirtschaftlicher ist den Strom direkt oder zur Erzeugung synthetische Brennstoffe zu nutzen. Dabei spielt es auch eine Rolle wo der Strom erzeugt wird. Billiger Strom aus der Sahara wird sich eher zur Herstellung von Wasserstoff und synthetischen Brennstoffen eignen als Strom aus Deutschland der mit hohen Kosten für Infrastruktur und Speichersysteme belegt ist.

2.2.2 Wasserstoff

Mittels regenerativer Energien erzeugter Wasserstoff kann direkt als Brenngas eingesetzt werden, anderen Brenngasen zugemischt werden oder für die Erzeugung synthetischer Brennstoffe verwendet werden.

2.3.3 Synthetische Kohlenwasserstoffe

Zur Herstellung von synthetischen Kohlenwasserstoffen wird bei den meisten Verfahren Elektrolyse-Wasserstoff und eine möglichst nichtfossile Kohlenstoffquelle benötigt.

2.3.4 Stickstoff – Wasserstoff Verbindungen

Stickstoff-Wasserstoff Verbindungen werden beispielsweise als Raketentreibstoff (Hydrazin), Sprengstoff (Nitroglyzerin) oder großtechnisch als Ausgangsstoff für die Düngemittelproduktion (Ammoniak) eingesetzt. Vermehrt wird aber auch über die Nutzung von Ammoniak als Energieträger diskutiert. Ammoniak lässt sich unter geringem Druck ähnlich wie Propan/Butan verflüssigen, ist schwer

2. Aachener Ofenbau und Termoprozess-Kolloquium

10. und 11. Oktober 2019, Aachen

entflammbar, stark riechend was eine Odorierung überflüssig macht und leichter als Luft was die Ansammlung von Gas in Senken und Kellerräumen verhindert.

Der große Vorteil von Ammoniak besteht darin, das er in sonnenreichen Gebieten großtechnisch auch ohne eine Kohlenstoffquelle produziert und anschließend per Schiff oder Pipeline transportiert werden kann.

Eine Herausforderung besteht bei der Verbrennung darin, die Brennstoff-NO Bildung zu kontrollieren. Arbeiten in den 1990er Jahren haben aber gezeigt, das NOx-arme Verbrennung von Ammoniak möglich ist /5/.

2.3.5 Biogene Brennstoffe

Stückholz war seit dem Beginn der Nutzung des Feuers durch den Menschen bis zum Beginn der Industriellen Revolution der meistgenutzte Brennstoff und ist es in einigen Regionen der Welt noch immer. Neben Holz wurden pflanzliche oder tierische Fette und Öle und Wachs zur Beleuchtung eingesetzt. Für den Einsatz in Industriebrennern müssen die biogenen Ausgangsstoffe in fließfähige Brennstoffe umgewandelt werden. Es werden biologische und thermische Verfahren eingesetzt und es besteht noch ein erhebliches Potential zur Steigerung der Gewinnung von Biomethan /6/.

2.3.5.1 Biogas aus Vergärungsanlagen

In Vergärungsanlagen, die in Deutschland häufig anzutreffen sind wird meistens Biogas erzeugt, dass direkt vor Ort in Gasmotoren verstromt wird. Einzelne Anlagen sind mit einer Gasaufbereitung ausgerüstet um das Biogas als Biomethan ins Erdgasnetz einspeisen zu können. Dieses aufbereitete Gas kann problemlos zur Beheizung von Industrieöfen verwendet werden. Am GWI in Essen wird derzeit auch der „Direkteinsatz von Rohbiogas in der Metallurgie zur Senkung der CO₂ Emissionen - MetaCOO“ untersucht.

2. Aachener Ofenbau und Termoprozess-Kolloquium
10. und 11. Oktober 2019, Aachen

Zukünftig wird der Einsatz von Reststoffen steigen müssen um die Biogasproduktion zu erhöhen. Eine deutliche Erweiterung der Anbaufläche für Energiepflanzen ist aus mehreren Gründen nicht zu erwarten.

2.3.5.2 Brenngas aus Vergasungsanlagen

In Vergasungsanlagen kann die Vielfalt der Einsatzstoffe deutlich erhöht werden. Um Transportwege klein zu halten, besteht bei Vergasungsanlagen die Herausforderung darin, auch in Kleinanlagen einen weitgehend automatischen, sicheren und sauberen Betrieb zu gewährleisten.

2.3.5 CCU oder CCS

CCS - Carbon Capture and Storage Systeme wurden in der Vergangenheit untersucht, vorrangig um eine CO₂-neutrale Kohleverstromung zu ermöglichen. Wegen fehlender Akzeptanz der CO₂-Einlagerung wurde dieser Weg mittlerweile weitgehend fallen gelassen.

CCU – Carbon Capture and Usage Systeme sind auch in der Diskussion, zum Beispiel zur Rückgewinnung des Kohlenstoffs aus synthetischen Kohlenwasserstoffen oder zur Herstellung langlebiger Produkte auf Kohlenstoffbasis in der chemischen Industrie.

2.3.6 Hybrid-Systeme

Die Möglichkeit die zeitlich jeweils beste Form an Energie zu wählen kann bei schwankender Verfügbarkeit der Energieträger vorteilhaft sein. Die Möglichkeiten hybrider Beheizungssysteme wurden am Institut für Industrieofenbau in Aachen im Rahmen eines Innovationsforums beleuchtet /7/

3. Reduzierung der Schadstoffemissionen

Bei allen Überlegungen zur Reduzierung der fossilen CO₂-Emissionen darf auch die Emission anderer Schadstoffe außer acht gelassen werden. Bei der Beheizung von Industrieöfen betrifft das vor allem die Stickoxide.

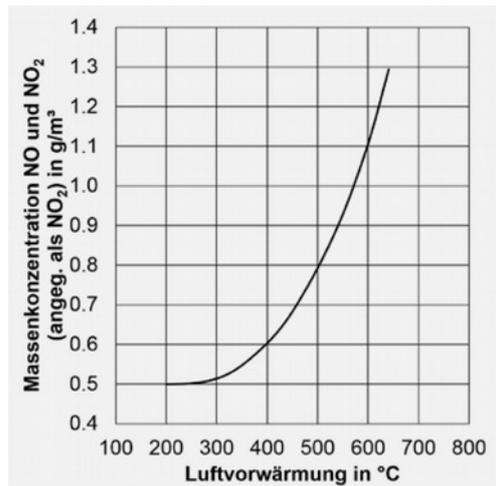


Abbildung 3: zulässige NO_x-Emissionen von Wärmebehandlungsöfen, TA-Luft 1986

3.1 Thermisches NO_x

Bei der Reduzierung der thermischen NO_x-Bildung wurden in den letzten Jahrzehnten erhebliche Fortschritte gemacht. Die TA-Luft aus dem Jahr 1986 sah für Wärmebehandlungsöfen einen Grenzwert von 500mg/Nm³ (5 % O₂) und bei Verwendung vorgewärmter Verbrennungsluft wurden deutlich höhere Werte zugelassen /8/.

Heute können bei der Erdgasverbrennung auch bei hohen Verbrennungslufttemperaturen deutlich niedrigere Werte erreicht werden. Werte kleiner 100 mg/Nm³ können durch modernere Verbrennungsverfahren auch ohne Abgasenstickung erreicht werden.

3.2 Brennstoff NO_x

Da die überwiegende Anzahl der Industrieöfen mit Erdgas beheizt wird, hat Brennstoff-NO heute relevante Bedeutung. Dies könnte sich aber in Zukunft

2. Aachener Ofenbau und Thermoprozess-Kolloquium
10. und 11. Oktober 2019, Aachen

ändern, wenn alternative Brennstoffe zum Einsatz kommen. Mehrstufige Flammlose Oxidation bietet hierfür vielversprechende Ansätze /9/.

4. Zusammenfassung

Die Energiewende kann man nicht im Detail planen aber man muss die richtigen Rahmenbedingungen und Spielregeln setzen damit sich Dinge richtig entwickeln ohne das die persönlichen Freiheiten des Einzelnen unnötig stark eingeschränkt werden. Im Bereich der Thermoprozesstechnik müssen viele kreative Lösungen gefunden werden um dazu beizutragen unsere schöne Erde auch in Zukunft lebenswert zu erhalten.

Dazu brauchen wir neben den passenden Rahmenbedingungen viele gut ausgebildete und motivierte Ingenieure, zuverlässige Echtzeit-Strömungssimulation, preiswerte Sensoren und offene Standards für die Signalübermittlung.

Literatur

- [1] Pfeifer H., Trends in der Thermoprozesstechnik, gaswärme international, Vulkan Verlag, Heft 5 (2017), S. 77-86

2. Aachener Ofenbau und Termoprozess-Kolloquium

10. und 11. Oktober 2019, Aachen

- [2] Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2016, Umweltbundesamt, 2017
- [3] Handbuch der Brennertechnik für Industrieöfen, Wüning J., 3. Auflage, Vulkan Verlag, Essen, 2019
- [4] Zahlen und Fakten – Energiedaten, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Tabelle 26, 2019
- [5] Stickoxidarme Verbrennung N-haltiger Ströme – Eine Kombination aus katalytischer Spaltung und Verbrennung, Domschke T., Becker C., Wüning J.G., 18. Flammentag 1997, Delft, VDI Berichte 1313, S. 45-50
- [6] Basisdaten Bioenergie Deutschland 2018, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow
- [7] www.hybrid-heating.de
- [8] TA Luft – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes Immissionsschutzgesetz, vom 27. Februar 1986
- [9] Wüning J.A., Wüning J.G., Mehrstufige Flammlose Oxidation, Flammentag, Bochum, 17. und 18. September 2019