



Hochschule Niederrhein
University of Applied Sciences

SWK E²

Institut für Energietechnik und
Energiemanagement
Institute of Energy Technology and
Energy Management

Anlage zur Kurzstudie: Energieeffiziente und CO₂- freie Prozesswärme

Erläuterungen und Praxisbeispiele

| Stand: Juli 2024 |

**Autoren: Meyer, Jörg | Zaubitzer, Louisa | Alsmeyer, Frank |
Madsen, Marius**

1 Erläuterungen zur Studie

1.1 Methodik

1.1.1 Wie wurden Umweltwärme, Geothermie, Solarthermie etc. in der Studie berücksichtigt?

Die Studie nimmt den Blickwinkel der Energiebeschaffung im Unternehmen ein. Deswegen wurde kostenlos zur Verfügung stehende Energie wie insbesondere Umweltwärme etc. nicht als Endenergie betrachtet. Den Autoren ist bewusst, dass hier eine Abweichung zu anderen Bilanzen besteht, die aber häufig an anderen Zwecken ausgerichtet sind.

Eine Wärmepumpe nimmt mit Hilfe von technischer Arbeit thermische Energie aus einem Reservoir mit niedrigerer Temperatur auf. Dieses Reservoir ist oft Umweltwärme, Erdwärme oder Abwärme. Zusammen mit der Antriebsenergie (in der Regel elektrische Energie) wird diese thermische Energie als Nutzwärme mit höherer Temperatur zum Erwärmen von Räumen und Prozessen zur Verfügung gestellt. Nur die Antriebsenergie wird in dieser Studie als Endenergie betrachtet, weil diese zugekauft werden muss.

1.1.2 Wurde in der Studie nach Brennstoffmengen für die stoffliche Umsetzung in der Industrie und der tatsächlichen Prozesswärmenutzung differenziert?

In den Endenergiemengen sind nur die Energiemengen für die energetische Nutzung berücksichtigt. Die nichtenergetisch (stofflich) genutzten Mengen (separate Spalte bei GENESIS) wurden nicht betrachtet.

1.1.3 Prozesswärme wird auch jetzt schon mit Strom bereitgestellt. Wäre ein reine Betrachtung der Brennstoffe nicht sinnvoller?

Da auch bei der elektrischen Wärmebereitstellung (z.B. Elektrolyse, Elektrostahlofen etc.) Einsparpotential durch Dämmung und optimierter Regelung besteht, wurde die elektrische Energie nicht weggelassen. Außerdem sind so die Gesamtzahlen besser vergleichbar. Es ist aber korrekt, dass der größte Bereich der Einsparungen im Bereich der Prozesswärme aus Brennstoffen vorhanden ist. Einsparungen bei heute bereits elektrifizierten Prozessen sind im Vergleich dazu sehr gering. Nur 8% der Prozesswärme wird im Bezugsjahr mit Strom erzeugt.

1.1.4 Wurden Infrarot-Anwendungen bei der Elektrifizierung berücksichtigt?

Ja, wie Elektro- oder Elektrodenkessel, Wärmepumpe, Induktionsöfen etc. wurden auch Infrarotheizungen berücksichtigt. Die Wirtschaftlichkeit hängt auch hier stark von den individuellen Strom- und Brennstoffpreisen sowie von den individuellen Randbedingungen (z.B. Materialeigenschaften) ab. Für Raumwärme gibt es einige sehr interessante Infrarot-Lösungen. Die Raumwärme wurde aber in der Studie nicht betrachtet.

1.1.5 Inwieweit wurde der Einsatz von Biomasse berücksichtigt?

Der derzeitige Anteil der Biomasse bzw. der Wärme aus Erneuerbaren Energien (z.B. Anteile in Fernwärmenetzen) beträgt in der Industrie etwa 7,8%. In der Studie gehen wir davon aus, dass der Anteil in 2060 bei etwa 15% liegen wird. Die absolute Menge wird nur etwa 50% mehr als heute sein. Biomasse ist begrenzt und wir haben das

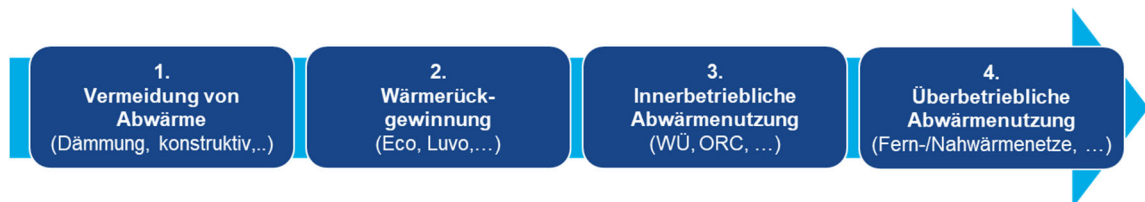
Prinzip der Kaskadennutzung (stoffliche Nutzung vor thermischer Nutzung anstreben) zugrunde gelegt.

1.1.6 Auf welcher Datenbasis wurden die Einsparungen ermittelt?

Den Autoren liegen knapp 1.000 Energieauditberichte mit mehreren tausend Maßnahmen aus fast allen Branchen vor. Darüber hinaus wurden die Auswertungen der DENA (Energieeffizienz-Netzwerke) und der BAFA (Zusammenstellung von Maßnahmen) sowie zahlreiche Leitfäden und branchenspezifische Studien betrachtet. Durch Wiederholungsaudits – im Ein- oder Zwei-Jahresrhythmus bei EnMS bzw. im Vier-Jahresrhythmus bei EDL-G-Audits – konnte auch der Anteil der umgesetzten Maßnahmen gut abgeschätzt werden.

1.1.7 Was ist der Unterschied zwischen Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung?

In manchen Studien werden die Begriffe Wärmeintegration und Abwärmenutzung nicht klar unterschieden und als Synonyme verwendet. In unserer Studie hingegen wird bei der Energieanalyse im Wärmebereich folgende Abwärmekaskade zugrunde gelegt:



Zunächst wird betrachtet, ob Abwärmern vermieden werden können (z.B. durch Dämmung). Dann folgt die Wärmerückgewinnung, d.h. die Abwärme eines Prozesses A wird in denselben Prozess zurückgeführt (z.B. Economiser eines Dampferzeugers). Anschließend wird die Abwärmenutzung betrachtet, d.h. ob Abwärme eines Prozesses A in einem anderen Prozess B genutzt werden kann (z.B. Abluft der Druckluftanlage zur Hallenbeheizung) oder außerhalb des Betriebs Verwendung findet.

1.1.8 Wie groß ist das Potenzial für Abwärmenutzung in benachbarten Industriebetrieben bzw. Liegenschaften, falls es im eigenen Industriebetrieb keine Anwendungsmöglichkeiten gibt?

Das wurde in der Studie nicht berücksichtigt. Sicherlich ist insbesondere bei Prozesswärme von Temperaturen über 200 °C hier ein großes Potential vorhanden.

1.2 Branchenspezifische Besonderheiten

1.2.1 Die Stahlindustrie hat bereits einen Dekarbonisierungspfad festgelegt. Wie wurde das in der Studie berücksichtigt?

Die Maßnahmen aus den veröffentlichten Studien sind in die Bewertung eingeflossen. Neben der Stahlerzeugung sind aber auch Nebenprozesse (z.B. Feuerbeschichtungsanlagen) interessant, die in diesen Studien nicht ausführlich betrachtet werden.

1.2.2 In den Branchen Zement und Kalk ist „Carbon Capture and Storage“ (CCS) fester Bestandteil der Dekarbonisierungs-Strategie. Wie wurde das in der Studie berücksichtigt?

CCS ist keine Effizienzmaßnahme. Höhere Effizienz heißt weniger CCS. In der Studie wurde nur die Reduzierung des Energieeinsatz bei der Bereitstellung der Prozesswärme betrachtet.

1.2.3 Bei vielen Prozessen in der chemischen Industrie ist eine Energieeinsparung nur schwer möglich. Ist das in der Studie ausreichend berücksichtigt?

Ja, das wurde ausreichend berücksichtigt. In dieser Studie wird Prozesswärme zunächst nach Temperaturniveaus klassifiziert. Grundlage für die Klassifizierung in der vorliegenden Studie ist eine Auswertung im Auftrag des Umweltbundesamt. Neben einer Aufteilung in verschiedene Temperaturbereiche erfolgt hierbei auch eine Zuordnung der Endenergieverbräuche je nach Branche. Hierdurch können die Einsparpotentiale unter Berücksichtigung der Anwendungen/ Prozesse und anhand von entsprechenden Referenztechnologien abgeschätzt werden.

Es gibt in der chemischen Industrie viele Prozesse im Temperaturbereich 100-500°C. Die hier möglichen Einsparungen wurden berücksichtigt. Bei der Grundstoffchemie gibt es auch Prozesse mit > 500°C.

Wie bei der Stahl-, Zement- und Kalkindustrie sind hier die Ergebnisse aus anderen Studien (siehe Literaturverzeichnis) berücksichtigt worden. Die Herausforderungen im Bereich von hohen Temperaturen sind den Autoren bewusst. Deshalb wurde hier auch deutlich weniger Potential ausgewiesen.

1.3 Wirtschaftliche Aspekte

1.3.1 Wurden Preissteigerungen bei den Energieträgern und die Umlagen und Abgaben berücksichtigt?

Grundlagen für die Strompreisfestlegung sind der Mittelwert der EEX-Frontyear Base-Werte von 2025, 2026, 2027 und 2028 vom 04.03.2024 (70 €/MWh) zuzüglich 50 €/MWh Netzentgelte, 15 €/MWh Abgaben und Umlagen sowie 20,5 €/MWh Steuern (ohne Umsatzsteuer). Von 2028 bis 2060 wurde dann die „vbw / Prognos Strompreisprognose 2023“ [30] zugrunde gelegt. Den Autoren ist bewusst, dass z.B. die Stromsteuer für das Jahr 2025 teilweise auf 0,5 €/MWh reduziert worden sind. Eine Verlängerung der Reduzierung ist zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie (Stand Juni 2024) noch nicht beschlossen. Da Preisprognosen aber sowieso sehr unsicher sind, haben diese kleinen Änderungen keinen Einfluss auf die grundlegenden Aussagen in dieser Studie.

Bei der Erdgaspreisfestlegung wurde vergleichbar vorgegangen. Hier wurde der Mittelwert der THE-Frontyear Base-Werte von 2025, 2026 und 2027 vom 04.03.2024 (31 €/MWh) zuzüglich 10 €/MWh Netzentgelte und 35 €/MWh Abgaben, Umlagen und Steuern (inkl. CO₂-Abgabe von 10 €/MWh, ebenfalls ohne Umsatzsteuer) verwendet.

1.3.2 Werden alle Brennstoffe mit dem Erdgaspreis bewertet?

Nein, der Industriebrennstoffmix besteht aus Erdgas, Heizölen, Kohle, Müll und Biomasse. Bei der Bildung des Wärmepreises wurde dies berücksichtigt. Dominierend

ist aber mit derzeit 47%-Anteil am Endenergiebedarf für Prozesswärme die Erdgasmenge – Tendenz zunächst steigend (Verdrängung von Öl und Kohle). Deshalb wurde die Ermittlung des zukünftigen Erdgaspreis gesondert erläutert.

1.3.3 Wurden bei den Investitionen die einzelnen Anlagen oder die Gesamtintegration bewertet?

Bei der Investitionssumme wurde die Gesamtintegration in die bestehenden Systeme betrachtet. Das kann durchaus das mehrfache der Kosten für die einzelne Anlage sein.

1.3.4 Was bedeutet Zusatzrendite ohne Produktionseinschränkung?

In der Studie soll damit die Attraktivität der Energieeffizienzmaßnahmen als Investition betont werden – und das ohne, dass die Produktion dadurch beeinflusst wird, weil sich die Maßnahmen größtenteils auf die Nebenanlagen (Wärmebereitstellung) beziehen.

1.3.5 Ist eine Elektrifizierung in jedem Betrieb möglich oder fehlen notwendigen Stromleitungen?

Die Investitionssummen in die Infrastruktur (Transformatoren, Netze etc.) wurden nicht berücksichtigt. Das Fehlen ausreichender Kapazitäten kann ein großes Hemmnis sein. Die zusätzlichen Investitionen haben einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsbewertung.

1.3.6 Haben alle Unternehmen mit einem etablierten Energiemanagement die meisten wirtschaftlichen Endenergieeinsparpotentiale schon umgesetzt?

Nein, hier ist entscheidend, wie stark das Energiemanagementsystem (EnMS) bereits in den Unternehmensprozessen implementiert ist und wie hoch der Automatisierungsgrad ist. Ein etabliertes EnMS erleichtert aber die Umsetzung von Maßnahmen, wenn die Geschäftsführung das vorgibt.

1.3.7 Kann in allen Betrieben knapp 50% der Prozesswärme eingespart werden?

Natürlich nicht. Das hängt stark von den Prozessen und insbesondere auch von dem Temperaturniveau der Prozesswärme ab. Abbildung 3 der Studie zeigt deutlich, dass in Prozessen in den Temperaturbereichen von mehr als 500 °C die Einsparpotentiale viel geringer sind. Ein großer Teil der Energiemengen, z.B. beim Schmelzen von Metallen, sind unvermeidbar.

2 Praxisbeispiele

2.1 Temperaturbereich bis 100 °C

2.1.1 Dämmung für Prozesswarmwasserrohre

Maßnahme: Dämmung der Rohre des Warmwassernetzes (Produktion) im unbeheizten Keller mit PUR-Rohrisolierung (12,3 W/m).

Einsparung: Erdgas: 502 MWh/a (ALT) – 106 MWh/a (NEU) = 416 MWh/a (-82%) bzw. 17.702 €/a

Wirtschaftlichkeit: Investitionssumme: 19.250 €, Amortisationszeit: etwa 1 Jahr

Sonstiges: Umsetzung der Maßnahme in 2021.

2.1.2 Optimierte Steuerung Prozesswarmwasserbehälter

Maßnahme: Aufheizen der vier Warmwasserbehälter für die Emulsion so spät wie möglich. Installation einer Zeitschaltuhr. Vermeidung der Abstrahlungsverluste von etwa 5,2 kW aufgrund der niedrigen Temperatur.

Einsparung: 41,795 MWh/a (ALT) – 30,788 MWh/a (NEU) = 11,007 MWh/a (-26%) bzw. 2.077 €/a

Wirtschaftlichkeit: Investitionssumme: wenige 100 €, Amortisationszeit: <1 Jahr

Sonstiges: Umsetzung der Maßnahme in 2021.

2.1.3 Wärmerückgewinnung und optimierte Steuerung Lackieranlage

Maßnahme: Einbau eines Kreuzstromwärmeübertragers in der Lackierkabine zur Vorwärmung der Zuluft mit der Wärme der Abluft. Zusätzlich unterschiedliche Luftmengen in den Sektionen der Kabine.

Einsparung: 2.124 MWh/a (ALT) – 654 MWh/a (NEU) = 1.470 MWh/a (-69%) bzw. 117.600 €/a

Wirtschaftlichkeit: Investitionssumme: 408.072 €, Amortisationszeit: 3,47 Jahre

Sonstiges: Umsetzung der Maßnahme in 2023. Die beiden anderen Lackierkabinen haben noch keine Wärmerückgewinnung.

2.1.4 Hydraulischer Abgleich Warmwassernetz (Produktion)

Maßnahme: Durchführung eines hydraulischen Abgleiches im Warmwassernetz (Produktion).

Einsparung: Erdgas: 580 MWh/a (ALT) – 498 MWh/a (NEU) = 81 MWh/a (-14%) bzw. 9.332 €/a | Strom (Pumpe): 6,8 MWh/a (ALT) – 5,4 MWh/a (NEU) = 1,4 MWh/a (-21%) bzw. 450 €/a

Wirtschaftlichkeit: Investitionssumme: 27.521 €, Amortisationszeit: 2,9 Jahre

Sonstiges: Umsetzung der Maßnahme in 2023.

2.2 Temperaturbereich 100 - 200 °C

2.2.1 Wärmerückgewinnung am Dampferzeuger | Economizer

Maßnahme:	Nachrüsten eines Economizers zur Speisewasser-Vorwärmung.
Einsparung:	Erdgas: 43.097 MWh/a (ALT) – 42.903 MWh/a (NEU) = 194,2 MWh/a (-0,5%) bzw. 15.613 €/a
Wirtschaftlichkeit:	Investitionssumme: 38.410 €, Amortisationszeit: 2,5 Jahre
Sonstiges:	Umsetzung der Maßnahme in 2019.

2.2.2 Optimierte Steuerung des Dampferzeugers

Maßnahme:	Nachrüsten einer automatischen Absatzungsregelung (Leitfähigkeitsmessung).
Einsparung:	Erdgas: 43.097 MWh/a (ALT) – 42.980 MWh/a (NEU) = 117,0 MWh/a (-0,28%) bzw. 9.406 €/a
Wirtschaftlichkeit:	Investitionssumme: 12.280 €, Amortisationszeit: 1,3 Jahre
Sonstiges:	Umsetzung der Maßnahme in 2019.

2.2.3 Umstellung Prozesswarmwasser von Dampf auf Heißwasser

Maßnahme:	Der Dampf wird in der Produktion eingesetzt, obwohl dort nur Heißwasser mit 70 und 80 °C benötigt wird. Die Kessel müssen häufig takten, so dass der Nutzungsgrad relativ schlecht ist und die Wärmeverluste recht hoch. Umstellung auf bestehendes Heißwassersystem.
Einsparung:	Erdgas: 362 MWh/a (ALT) – 79 MWh/a (NEU) = 283 MWh/a (-78%) bzw. 12.443 €/a
Wirtschaftlichkeit:	Investitionssumme (Ersatzinvestition): 59.225 €, Amortisationszeit: 4,9 Jahre
Sonstiges:	Umsetzung der Maßnahme in 2024 geplant.

2.3 Temperaturbereich 200 - 500 °C

2.3.1 Dämmung

Maßnahme:	Glühofen: Einhausung der Transportkette unterhalb des Ofens, um die Wärmeabgabe der Kette zu verringern.
Einsparung:	351 MWh/a (ALT) – 92 MWh/a (NEU) = 259 MWh/a (-73%) bzw. 25.300 €/a
Wirtschaftlichkeit:	Investitionssumme: 38.274 €, Amortisationszeit: 1,51 Jahre
Sonstiges:	Planung der Maßnahme März 2023. Weitere Maßnahmen am Ofen möglich.

2.4 Temperaturbereich 500 – 1.000 °C

2.4.1 Wärmerückgewinnung

Maßnahme:	Glühofen: Substitution der einfachen Industriebrenner mit Rekuperatorbrennern.
Einsparung:	2.171 MWh/a (ALT) – 1.715 MWh/a (NEU) = 456 MWh/a (-21%) bzw. 44.685 €/a
Wirtschaftlichkeit:	Investitionssumme: 124.300 €, Amortisationszeit: 2,78 Jahre
Sonstiges:	Planung der Maßnahme März 2023. Weitere Maßnahmen am Ofen möglich.