



INITIATIVE  
**EnergieEffizienz**<sup>+</sup>  
Unternehmen & Institutionen

## Erfolgreiche Abwärmenutzung im Unternehmen.

Energieeffizienzpotenziale erkennen und erschließen.

# Inhalt.

<b>Vorwort.</b> .....	<b>3</b>
<b>Entstehung und Nutzung von Abwärme.</b> .....	<b>4</b>
Entstehung von Abwärme. ....	4
Nutzung von Abwärme. ....	5
<b>Untersuchung von Abwärmequellen.</b> .....	<b>6</b>
<b>Arten der Abwärmenutzung und ihre Nutzungstechnologien.</b> .....	<b>7</b>
<b>Technische und wirtschaftliche Auswahl Faktoren bei Abwärmenutzungstechnologien.</b> .....	<b>8</b>
<b>Abwärmenutzung ist wirtschaftlich.</b> .....	<b>9</b>
<b>Abwärmenutzungstechnologien in der Praxis.</b> .....	<b>10</b>
Wärmenutzung mithilfe von Wärmeübertragern. ....	10
Wärmenutzung mithilfe einer Temperaturerhöhung durch Wärmepumpen. ....	11
Kälteerzeugung mit Kältemaschinen. ....	12
Stromerzeugung durch Dampfprozesse. ....	13
Stromgewinnung mittels ORC-Anlagen. ....	14
<b>Informationsangebote und Entscheidungshilfen.</b> .....	<b>16</b>
<b>Förderprogramme.</b> .....	<b>17</b>
<b>Allgemeines.</b> .....	<b>18</b>
<b>Impressum.</b> .....	<b>19</b>

## Vorwort.



**Andreas Kuhlmann,**  
Vorsitzender der  
Geschäftsführung,  
Deutsche Energie-Agentur  
GmbH (dena).

Die Nutzung industrieller Abwärme birgt herausragende Energieeffizienzpotenziale für Unternehmen in Deutschland. So wendet die deutsche Industrie jährlich 1.670 Petajoule bzw. 460 Terawattstunden Energie auf, um Wärme für benötigte Produktions- und Verarbeitungsprozesse zu erzeugen. Ein hoher Anteil geht dabei jedoch als ungenutzte Abwärme verloren. Diese Energieeffizienzpotenziale gilt es zugunsten der internationalen Wettbewerbsfähigkeit wie auch als Beitrag zur Energiewende in Deutschland zu heben.

Allerdings bleiben diese Chancen oft ungenutzt: So kennt lediglich die Hälfte der Unternehmen die eigenen Abwärmepotenziale – wie eine Umfrage der *Initiative EnergieEffizienz* der dena ergab. Insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen fällt es schwer, diese Potenziale zu identifizieren und zu erschließen. Das muss nicht sein: Die Vielzahl der heute verfügbaren Energieeffizienztechnologien bieten sehr gute Möglichkeiten, um den betrieblichen Energiebedarf durch die Nutzung von Abwärme dauerhaft zu reduzieren. Darüber hinaus zeigen Praxiserfahrungen, dass ein Großteil der Energieeffizienzmaßnahmen Renditen im zweistelligen Prozentbereich aufweist.

Mit dieser Broschüre vermittelt die dena im Rahmen ihrer *Initiative EnergieEffizienz* Fachwissen und praxisnahe Entscheidungshilfen zu den wirtschaftlichen Vorteilen der Abwärmennutzung. Wegweisende Unternehmensentscheidungen zur aktiven Erschließung vorhandener Abwärmepotenziale sollen so gefördert werden.



# Entstehung und Nutzung von Abwärme.

## Entstehung von Abwärme.

Bei vielen Prozessen in Industrie und Gewerbe entstehen Wärmeverluste. Diese werden allgemein als Abwärme bezeichnet und entstehen bei fast jedem thermischen oder mechanischen Prozess. Entsprechend groß ist die Bandbreite möglicher Abwärmequellen. Sie reicht von Produktionsanlagen und Motoren über Prozesswärme und Abwässer, bei denen Abwärme entsteht, bis hin zu Druckluft-, Kühl- und Klima-

anlagen. Abwärme ist in der Regel an bestimmte Trägermedien wie Wasser oder Luft gebunden oder wird diffus über die Oberfläche einer Abwärmequelle abgegeben. Wärmeverluste können zwar z. B. durch energieeffiziente Komponenten sowie eine optimale Dämmung und Betriebsweise nicht vollständig vermieden, aber erheblich reduziert werden.

## Abwärmequellen.



### Prozessabluft.

30 bis 90% der Abwärme können zur Vorwärmung der Frischluft oder zur Heiz- bzw. Prozesswärmeerzeugung genutzt werden.



### Kälteanlagen/Kühlsysteme.

35 bis 95% der Abwärme können zur Heiz- oder Prozesswärmeerzeugung genutzt werden.



### Drucklufterzeugung.

Bis zu 90% der elektrischen Antriebsleistung von Druckluftkompressoren sind zur Heiz- oder Brauchwassererwärmung nutzbar.



### Raumlufttechnische Anlagen.

35 bis 90% der Abluftwärme können zur Vorwärmung der Frischluft zurückgewonnen werden.

°C

150 – 600 °C

Abgase aus Verbrennungs- und Wärmeprozessen

100 – 150 °C

Wasserdampf aus Dampferzeugungssystemen

40 – 90 °C

Prozessanlagen, Trocknungsanlagen, Drucklufterzeugungsanlagen, Kälteanlagen, warmes Abwasser/Kühlwasser

20 – 40 °C

Raumlufttechnische Anlagen

550

450

350

250

150

50

## Vielfältige Nutzungsmöglichkeiten.

- Für die Abwärmenutzung gibt es vielfältige Nutzungsmöglichkeiten und Technologien: Abwärme kann als Nutzwärme Anwendung finden oder in andere Nutzenergieformen wie Kälte oder Strom umgewandelt werden.
- Häufig kann die zurückgewonnene Energie im Unternehmen in unterschiedlicher Form, beispielsweise in der Wärme- oder Kälteversorgung, genutzt werden. Der optimale Maßnahmenmix hängt von den individuellen Rahmenbedingungen des Unternehmens ab.

## Hohe Energieeinsparpotenziale.

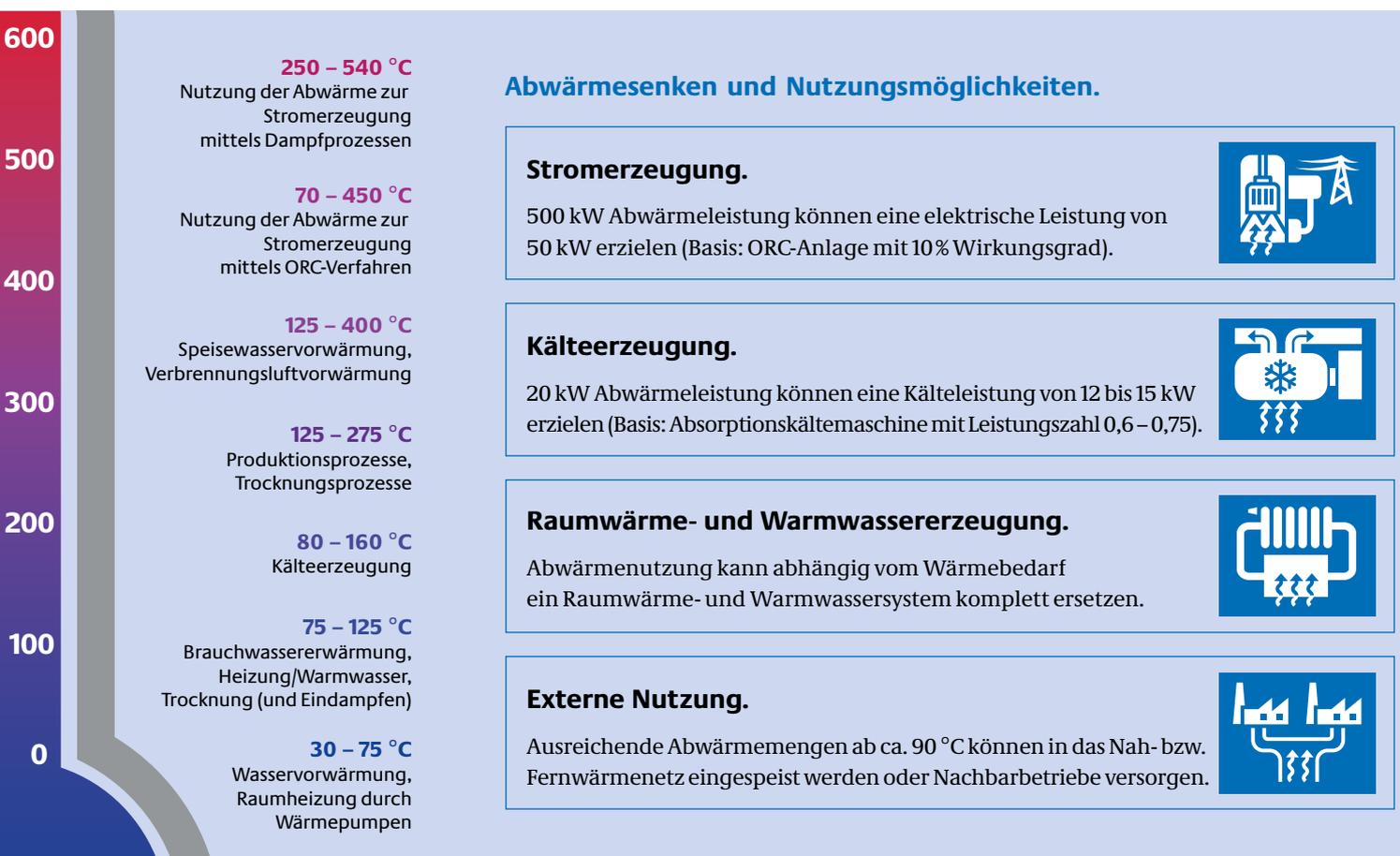
- Das Energieeinsparpotenzial der Nutzung industrieller Abwärme wird auf etwa 450 Petajoule (PJ) bzw. 125 Terawattstunden (TWh) im Prozesstemperaturbereich ab 60 °C geschätzt.<sup>1</sup> Dies entspricht einem Energiekosteneinsparpotenzial von ca. 5 Milliarden Euro.<sup>2</sup>
- Durch die Nutzung der Abwärme für Wärme- und Kältebedarfe kann der Energieverbrauch im Unternehmen gesenkt werden. Wird die Abwärme zur Stromerzeugung genutzt, kann der Energiebezug verringert werden.

Abb. 1: Verschiedene Abwärmequellen passen je nach Temperaturniveau zu unterschiedlichen Abwärmesenken.

## Nutzung von Abwärme.

Unvermeidbare Abwärmemengen können wirtschaftlich sinnvoll direkt oder indirekt in Wärme benötigende Prozesse integriert werden. Typische Abwärmesenken in Industrie- und Gewerbebetrieben, für die Wärme benötigt wird und in denen Abwärme genutzt werden kann, sind z. B. Anlagen zur Raumheizung und Warmwassererzeugung oder zur Prozesswärmeerzeugung. Aber auch außerhalb

des Betriebs bestehen Nutzungsmöglichkeiten – wie die Einspeisung in Nah- und Fernwärmenetze oder die Versorgung eines benachbarten Betriebs. Darüber hinaus kann überschüssige Abwärme auch in andere Nutzenergieformen, wie Kälte oder Strom, umgewandelt werden. Es bieten sich also zahlreiche Abwärmennutzungstechnologien an und die Effizienz der Prozesse kann deutlich gesteigert werden.



### Abwärmesenken und Nutzungsmöglichkeiten.

#### Stromerzeugung.

500 kW Abwärmeleistung können eine elektrische Leistung von 50 kW erzielen (Basis: ORC-Anlage mit 10% Wirkungsgrad).



#### Kälteerzeugung.

20 kW Abwärmeleistung können eine Kälteleistung von 12 bis 15 kW erzielen (Basis: Absorptionskältemaschine mit Leistungszahl 0,6 – 0,75).



#### Raumwärme- und Warmwassererzeugung.

Abwärmennutzung kann abhängig vom Wärmebedarf ein Raumwärme- und Warmwassersystem komplett ersetzen.



#### Externe Nutzung.

Ausreichende Abwärmemengen ab ca. 90 °C können in das Nah- bzw. Fernwärmenetz eingespeist werden oder Nachbarbetriebe versorgen.



### Senkung der Energiekosten.

- Abwärmennutzung kann auf direktem Weg Energiekosten einsparen. Wird sie z. B. für die Beheizung von Hallen eingesetzt, sinken die Aufwendungen für die Heizenergie. Beim Einsatz im Rahmen der Stromerzeugung muss weniger Strom eingekauft werden.
- Indirekt können Energiekosten eingespart werden, wenn durch die Nutzung der Abwärme der Kühlbedarf gesenkt werden kann.

### Hohe Wirtschaftlichkeit.

- Gegebenenfalls können die Erweiterung oder Erneuerung einer Energieerzeugungsanlage und die entsprechenden Investitionen vermieden werden.
- Die Renditen von Abwärmennutzungsmaßnahmen liegen i. d. R. im zweistelligen Prozentbereich.
- Anstelle einer aufwendigen Prozesskühlung können Unternehmen anfallende Abwärme abführen und nutzen. So können Investitionen für Kühlsysteme eingespart werden.

<sup>1</sup>Quelle: IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung, 2010.  
<sup>2</sup>Angenommener Brennstoffpreis 0,04 €/kWh.

# Untersuchung von Abwärmequellen.

Eine systematische Untersuchung der vorhandenen Abwärmequellen ist grundlegend für ihre erfolgreiche Integration. Ihre Kenntnis verbessert den Überblick über die Energieströme im Unternehmen und erlaubt die Auswahl der passenden Nutzungstechnologie.

## 1 Bestandsaufnahme im Betrieb.

Soll Abwärme für das Unternehmen nutzbar gemacht werden, ist eine Analyse der Energieverbräuche und Prozesse notwendig. Hierzu werden alle Energieverbräuche erfasst und charakterisiert sowie die energieverbrauchsrelevanten Prozesse bewertet. Als Ergebnis kann definiert werden, welche Abwärme im Betrieb vermeidbar ist, wo nicht vermeidbare Abwärme anfällt und an welchen Stellen diese zur Deckung des Energiebedarfs eingesetzt werden kann.

## 2 Vermeiden von Abwärme.

Der Grundsatz lautet: Erst vermeiden, dann nutzen! Oft können Abwärmemengen durch die Optimierung zugrunde liegender Prozesse und Verfahren verringert oder ganz vermieden werden. Ansatzpunkte für eine wirksame Optimierung bieten die folgenden Fragestellungen:

### — Dimensionierung.

Ist der zugrunde liegende Prozess richtig dimensioniert oder sind unnötige Überkapazitäten vorhanden? Können unnötige Aufheiz- oder Abkühlphasen vermieden werden?

### — Steuerung.

Wird die Anlage oder der Prozess richtig gesteuert? Sind ineffiziente Betriebspunkte oder Leerläufe vorhanden und vermeidbar?

### — Temperaturniveau.

Ist das derzeit gewählte Temperaturniveau tatsächlich erforderlich? Oder kann der Prozess auch bei niedrigeren Temperaturen gefahren werden?

### — Dämmung.

Kann eine bessere Dämmung die Wärmeverluste der Anlage verringern und die Abwärmemenge reduzieren? Ist eine größere Dämmschichtdicke ebenfalls wirtschaftlich?

### — Wartung.

Wird die Anlage ausreichend gewartet?

### — Alternativen.

Gibt es energetisch vorteilhaftere Alternativprozesse, die das gleiche Resultat erzielen können?

## 3 Identifizieren nicht vermeidbarer Abwärme.

Nach der erfolgreichen Minimierung der Abwärmemengen liegt der Fokus möglicher Maßnahmen auf den nicht vermeidbaren Abwärmequellen im Betrieb. Diese sollten eindeutig identifiziert und umfassend untersucht werden, um jeder einzelnen Abwärmequelle entsprechende Kenngrößen zuordnen zu können. Kenngrößen sind:

- Temperaturniveau
- Leistung
- Medium der Abwärme (z. B. Abgas, Kühlwasser)
- zeitliche Verfügbarkeiten (kontinuierlich oder schwankend, saisonal, Anzahl der Voll-Laststunden pro Jahr)
- verfügbare Energiemengen
- Lage

## 4 Untersuchen von Abwärmesenken.

Im nächsten Schritt werden verfügbare Abwärmesenken im Betrieb identifiziert, untersucht und ebenfalls kategorisiert. So kann abgeschätzt werden, welche Abwärmesenke welcher Abwärmequelle zugeordnet werden kann. Folgende Kenngrößen sollten für Abwärmesenken ermittelt werden:

- Temperaturniveau
- Leistung
- Medium der benötigten Wärme (z. B. Dampf, Heißwasser)
- zeitliche Bedarfe (kontinuierlich oder schwankend, saisonal, Anzahl der Voll-Laststunden pro Jahr)
- benötigte Energiemengen
- Lage





## Arten der Abwärmenutzung und ihre Nutzungstechnologien.

Für die erfolgreiche Integration industrieller Abwärme steht Unternehmen eine große Bandbreite moderner Technologien zur Verfügung. Die typischsten Arten der Abwärmenutzung sowie die ihnen zugrunde liegenden Technologien werden nachfolgend dargestellt.

1

### Direkte Integration der Abwärme in Prozesse und Anlagen.

Die direkte Nutzung von Abwärme ist oft die konstruktiv einfachste und kostengünstigste Variante. Gelingt es, die Abwärme aus einem Prozess wieder zurückzugewinnen, kann diese im selben Prozess bzw. in derselben Anlage weiterverwendet werden. Hierfür werden oft Wärmeübertrager eingesetzt, die die Abwärme auf ein Transportmedium übertragen, das die Wärme dann einer weiteren Verwendung zuführt. Diese Form der Abwärmenutzung wird häufig auch als Wärmerückgewinnung bezeichnet. Beispiele für die direkte Nutzung sind die Verbrennungsluftvorwärmung oder die Vorwärmung und Trocknung von Stoffen bzw. die Vorwärmung von Wasser.

2

### Integration der Abwärme in andere Betriebsprozesse.

Ist eine direkte Nutzung der Abwärme nicht möglich, sollte eine betriebsinterne Verwendung der Abwärme auf einem möglichst hohen Temperaturniveau in anderen Prozessen oder zur Raumheizung oder Warmwasserbereitung angestrebt werden. Wenn die Temperatur für die Abwärmesenke nicht ausreicht, kann das Temperaturniveau der Abwärme gegebenenfalls mittels Wärmepumpen erhöht werden.

3

### Weitergabe der Abwärme an Dritte.

Möglich ist auch die Abgabe nicht intern nutzbarer Abwärme an Dritte, z. B. an benachbarte Unternehmen, an das Nah- bzw. Fernwärmenetz oder zur Wärmebedarfsdeckung von öffentlichen Gebäuden und Haushalten. Zu beachten ist, dass bei der externen Nutzung Verluste beim Transport der Abwärme auftreten. Zudem erfordert die externe Nutzung eine zusätzliche Infrastruktur für den Transport (z. B. Nah- bzw. Fernwärmeleitungen), die auch die Kosten für diese Art der Abwärmenutzung erhöht. Bei dieser Lösung müssen Angebot und Abnahme vertraglich geregelt werden.

4

### Umwandlung der Abwärme in andere Nutzenergieformen.

Abwärme kann auch in andere Nutzenergieformen wie Kälte oder Strom umgewandelt werden. Bei der Nutzung in Form von Kälte wird die Abwärme von Kältemaschinen in Kälte umgewandelt. Die so erzeugte Kälte kann zur Klimatisierung eines Gebäudes oder für einen Kühlungsprozess genutzt werden. Für die Stromerzeugung aus Abwärme stehen als technisch ausgereifte und wirtschaftliche Technologien Dampfprozesse und ORC-Anlagen bei entsprechendem Temperaturniveau zur Verfügung. Die Umwandlung von Abwärme in Kälte und Strom erlaubt es, die Abwärme eines Prozesses unabhängig vom Vorhandensein einer Wärmesenke zu nutzen.

# Technische und wirtschaftliche Auswahlfaktoren bei Abwärmenutzungstechnologien.

Welche Nutzungstechnologie passt optimal zu welcher Abwärmequelle? Diese Entscheidung wird anhand der zuvor ermittelten, charakteristischen Kenngrößen getroffen. Das Temperaturniveau ist hierbei einer der wichtigsten Parameter.

Jede Variante der Abwärmenutzung muss auf ihre technische Umsetzbarkeit und auf die Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der aufzuwendenden Kosten für Planung, Technik und Installation geprüft werden. Einige Faktoren wirken sich besonders stark auf die Erfolgsbilanz der Abwärmenutzung aus:

- Das **Temperaturniveau** der Abwärme sollte möglichst hoch sein. Grundsätzlich gilt: je höher das Temperaturniveau, desto einfacher gestaltet sich die Verwertung der Abwärme. Sonst muss auf eine zusätzliche Temperaturerhöhung z. B. mittels Wärmepumpen zurückgegriffen werden.
- **Kontinuität** bei der Verfügbarkeit der Abwärme und bei ihrer Reintegration zahlt sich wirtschaftlich aus.
- Eine **lange Betriebsdauer** im Jahresverlauf wirkt sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzungsanlage aus.
- **Gleichzeitiges Auftreten von Wärmebereitstellung und -bedarf** vereinfacht die Abwärmenutzung. Andernfalls sind Wärmespeicher als Puffer sowie Reservekapazitäten für die Wärmebereitstellung erforderlich. Eine Nutzungsvariante, die die Speicherung von Abwärme vorsieht, sollte in diesen Fällen auf ihre Wirtschaftlichkeit geprüft werden.
- Die **verfügbare Energiemenge** der Abwärmequelle sollte mindestens gleich groß oder größer sein als der Energiebedarf der Abwärmesenke. Andernfalls müsste ein zusätzliches Wärmeerzeugungssystem vorgehalten werden.
- Die Nutzung von Abwärme eines **flüssigen Mediums** ist mit einem geringeren baulichen Aufwand und damit geringeren Investitionen möglich als die Nutzung von Abwärme eines **gasförmigen Mediums**. Der Grund liegt im besseren Wärmeübergang an den Wärmeübertragerflächen.
- **Gebundene Abwärme** kann deutlich einfacher und zielgerichteter, beispielsweise via Abgasstrom, als diffuse Abwärme genutzt werden.

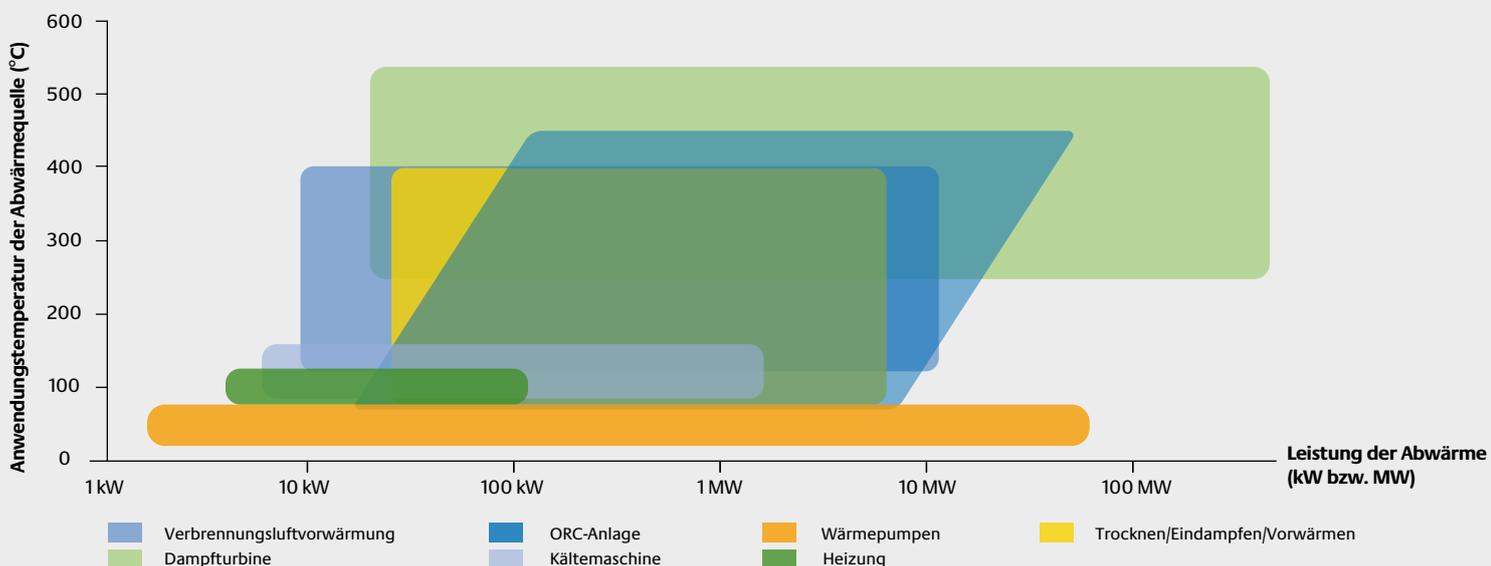


Abb. 2: Verschiedene Abwärmequellen passen je nach Temperatur zu unterschiedlichen Abwärmesenken (Quelle: DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH).



## Abwärmennutzung ist wirtschaftlich.

Energieeffizienzmaßnahmen müssen für Unternehmen wirtschaftlich sinnvoll sein. Aber wonach bemisst sich die Wirtschaftlichkeit? Beachtet man die Einflussfaktoren der Abwärmennutzung, können die Renditen im zweistelligen Bereich liegen.



### Bewertung der Wirtschaftlichkeit.

Für eine Bewertung der Abwärmennutzungsmaßnahmen werden die Kosten für Planung, Installation und Betrieb in das Verhältnis zu den erwarteten Erlösen gesetzt. Wichtige Einflussfaktoren hierbei sind:

- Kosten der Planung
- Investitionen (inklusive Kapitalkosten) in die Abwärmennutzungstechnologie
- Kostensenkung durch Fördermittel
- Wartungs- und Betriebskosten der Abwärmennutzungsanlagen
- Energiekosteneinsparung für Strom und Brennstoffe
- Betriebskosteneinsparung durch Reintegration
- erzielte Erlöse durch den Verkauf von Wärme oder Kälte

Als Verfahren zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit werden eine Bewertung anhand der Kapitalrendite sowie der internen Verzinsung und die Bestimmung des Kapitalwerts empfohlen.



### Senkung von Energie- und Betriebskosten.

Die Abwärmennutzung kann erhebliche Brennstoffeinsparungen bewirken, in deren Folge die Aufwendungen für Energieträger und die Betriebskosten von Anlagen sinken. Die Entscheidung für eine Nutzungsart wie Wärme, Kälte und/oder Strom ist unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit zu treffen.

Soll die Integration außerhalb des eigenen Unternehmens erfolgen, kann eine Veräußerung der Abwärme an benachbarte Fabriken, Nah- und Fernwärmenetze oder Treibhäuser erfolgen. Aus Abwärme erzeugte Strommengen können vergütet ins öffentliche Netz eingespeist werden.



### Förderung und Finanzierung von Abwärmennutzungsanlagen.

Gegebenenfalls können die Investitionen sowie die Kosten für eine Energieanalyse im Rahmen einer Energieberatung durch Inanspruchnahme von Fördermitteln gesenkt werden (siehe Seite 17). Eine weitere Option ist das Contracting als Finanzierungsmodell, bei dem der Contractor investiert und die Energieeinsparung garantiert. Contracting-Dienstleister nehmen entsprechende Modelle am Markt an.



### Senkung von Investitionen bei weiteren Anlagen.

Durch die Rückgewinnung von Prozesswärme können gegebenenfalls auch Investitionen in Systeme zur Kühlung eingespart werden. Durch die Berücksichtigung von Wärmerückgewinnung können auch bei der Planung neuer Versorgungsanlagen, z. B. zur Beheizung der Gebäude, künftige Investitionen gesenkt werden.



### Rentabilität von Abwärmennutzungsanlagen.

Die Wirtschaftlichkeit von Abwärmennutzungsanlagen, gemessen an der Höhe der Kapitalrendite, erreicht in der Regel zweistellige Werte. Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung mit standardisierten Technologien, wie beispielsweise Abgaswärmeübertrager oder Economiser, die keine hohen Investitionen erfordern, können Renditen von 50 Prozent und mehr aufweisen.

# Abwärmenutzungstechnologien in der Praxis.

In der unternehmerischen Praxis trifft eine große Bandbreite energieeffizienter Technologien auf häufig vergleichbare Bedingungen innerhalb einzelner Branchen. Erfolgreiche Energieeffizienzmaßnahmen lassen sich deshalb oft auf weitere Unternehmen gleicher Branchen übertragen. Die wichtigsten Abwärmenutzungstechnologien und Umsetzungsbeispiele werden nachfolgend vorgestellt.



## Wärmenutzung mithilfe von Wärmeübertragern.

Wärmeübertrager übertragen Wärme von einem warmen Medium auf ein kälteres, ohne dass sich beide Medien berühren oder vermischen. Dazu überträgt das wärmere Medium seine Energie an eine Wärmeübertragungsfläche, die sie aufnimmt und an ein kälteres wieder abgibt. Angepasst an die Prozesse gibt es verschiedene Wärmeübertragertechnologien wie beispielsweise Rotationswärmeübertrager, Lamellen- oder Plattenwärmeübertrager. Abgaswärmeübertrager sind eine spezielle Möglichkeit: Sie entziehen heißen Abgasen ihre Wärmeenergie, um z. B. Speisewasser, Brauchwasser oder Verbrennungsluft vorzuwärmen.

Ein wichtiges Einsatzgebiet von Wärmeübertragern ist die Lüftungs- und Klimatechnik. Hier ist die Auswahl des Wärmeübertragers von den Volumenströmen und den Qualitätsanforderungen an die Luft abhängig. Ist die Abluft nicht mit Schadstoffen belastet, empfiehlt sich der Einsatz von Rotationswärmeübertragern – andernfalls können z. B. Plattenwärmeübertrager eingesetzt werden.

## Praxisbeispiel: Wärmeübertrager zur Vorwärmung von Frischluft.

Seit 2013 gewinnt ein Papierhersteller die Abwärme seiner Belüftungsanlage mittels Rotationswärmeübertrager zurück und wärmt so Frischluft vor. Zum Einsatz kommt ein kombiniertes Zu- und Abluftgerät mit einem Rotationswärmeübertrager, der einen Durchsatz von 75.000 m<sup>3</sup> pro Stunde hat. In dieses Gerät ist die Heizzentrale mit einem Gasbrennwertkessel integriert. In der Folge konnte der Betrieb durch diese Maßnahme ca. 210.000 kWh Erdgas einsparen.

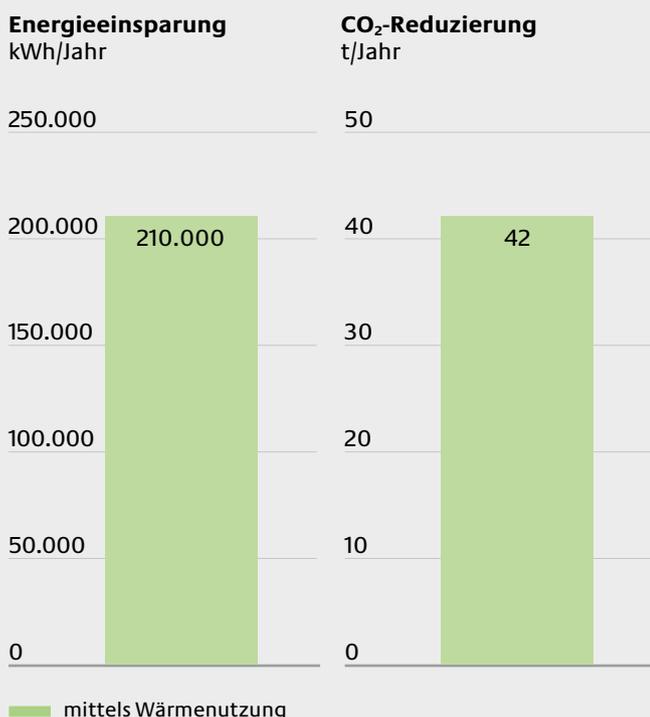


<b>Kosteneinsparung<sup>1</sup></b>	<b>8.400 €/a</b>
<b>Investition</b>	<b>113.000 €</b>
<b>Interne Verzinsung<sup>2</sup></b>	<b>1,4%/a</b>

<sup>1</sup> Angenommener Gaspreis: 0,04 €/kWh.

<sup>2</sup> Nach einem Nutzungszeitraum von 15 Jahren. Die interne Verzinsung entspricht in der Regel der Kapitalrendite.

### Einsparererfolge des Praxisbeispiels.



## Wärmenutzung mithilfe einer Temperaturerhöhung durch Wärmepumpen.

Mit Wärmepumpen lässt sich Abwärme nutzen, die kein ausreichendes Temperaturniveau für eine direkte Nutzung hat. Die Abwärme wird von einem niedrigen Temperaturniveau mithilfe zugeführter Antriebsenergie auf ein höheres Temperaturniveau angehoben und dadurch für andere Zwecke nutzbar gemacht. Die Antriebsenergie wird bei Sorptionswärmepumpen in Form von Wärme (Prinzip der thermischen Verdichtung) – statt wie bei Kompressionswärmepumpen in Form von Strom – zugeführt.

Bei der Wärmepumpe wird einer Wärmequelle (z. B. Erdreich, Luft, Abwärme) Wärme entzogen. Die erreichbaren Temperaturen von Kompressions- und Absorptionswärmepumpen werden mit 65 °C, bei Sonderlösungen von Kompressionswärmepumpen mit bis zu 90 °C, angegeben. Zukünftig könnte durch die Entwicklung geeigneter Kältemittel sogar ein Temperaturbereich bis zu 140 °C erreicht werden. Für Absorptionswärmepumpen hingegen gilt eine Temperatur von bis zu 300 °C als realisierbar.

Absorptions- und Adsorptionswärmepumpen werden vor allem zur Abwärmenutzung im industriellen Bereich eingesetzt.

### Praxisbeispiel: Prozesswärme heizt die Behälterfertigung.

Die Roth Werke GmbH ist ein Hersteller von Energie- und Sanitärsystemen mit weltweiten Niederlassungen und ca. 1.100 Mitarbeitern. 2010 wurde im Rahmen einer energetischen Optimierung der Heizung für die Behälterfertigung einer von zwei Ölkesseln stillgelegt und durch drei Sole/Wasser-Wärmepumpen (Kompressionswärmepumpen) ersetzt. Mithilfe dieser Wärmepumpen kann Prozessabwärme auf ein Temperaturniveau von etwa 50 °C angehoben und zu Heizzwecken genutzt werden. Die Wärmepumpen heizen die Halle während der Produktionszeit. Der noch vorhandene Ölkessel wird nur noch als Spitzenlastkessel eingesetzt.

Durch die Nutzung von Prozessabwärme mithilfe der Wärmepumpen konnte der Energieverbrauch der Heizung um knapp 1,7 GWh pro Jahr reduziert werden. Durch den Betrieb der Wärmepumpen mit Kühlwasser aus dem Produktionsprozess wurde zusätzlich die Kältemaschine um 21 Prozent entlastet.



<b>Kosteneinsparung</b>	<b>150.350 €/a</b>
<b>Investition</b>	<b>250.000 €</b>
<b>Interne Verzinsung</b>	<b>60%/a</b>

### Einsparerfolge des Praxisbeispiels.





## Kälteerzeugung mit Kältemaschinen.

Besteht kein Wärmebedarf im Unternehmen oder kann der vorhandene Wärmebedarf nicht sinnvoll aus Abwärme gedeckt werden, kann neben Wärme auch Kälte aus Abwärme erzeugt werden.

Die sorptionsbasierten Verfahren der Kälteerzeugung basieren auf einer reversiblen Anlagerung eines Arbeitsmittels an ein Sorptionsmittel. Je nachdem, ob die Anlagerung an ein flüssiges oder festes Medium erfolgt, werden **Absorptions- und Adsorptionskältemaschinen** unterschieden. **Absorptionskältemaschinen** arbeiten mit Abwärmemperaturen im Bereich von etwa 80 bis 160 °C und erreichen je nach Abwärmtemperatur, Stufigkeit der Kältemaschine und eingesetztem Kälte-/Sorptionsmittel Temperaturen von 5 °C (beim Stoffpaar Wasser – Lithiumbromid) bis zu Temperaturen unter 0 °C (beim Stoffpaar Ammoniak – Wasser).

In **Adsorptionskältemaschinen** wird als Kältemittel häufig Wasser eingesetzt, das an einen Feststoff wie Silikagel oder Zeolith reversibel gebunden wird. Die typischen Antriebstemperaturen von Adsorptionskältemaschinen liegen tiefer als die minimalen Antriebstemperaturen für Absorptionskältemaschinen und werden mit 60 bis 95 °C angegeben.

### Einsparererfolge des Praxisbeispiels.



### Praxisbeispiel: Kälte erzeugen aus der Abgaswärme eines BHKW.

Die Molkerei Gropper ist ein inhabergeführtes Unternehmen mit Sitz in Bissingen, das mit ca. 500 Beschäftigten Milch und Milcherzeugnisse sowie Fruchtsaftgetränke herstellt. Die Molkerei betreibt seit 2012/2013 zwei Erdgas-Blockheizkraftwerke (BHKW). Sie stellen Strom sowie Wärme für thermische Prozesse in der Produktion bereit. Die Abgaswärme der BHKW wird zur Speisewasservorwärmung und Dampferzeugung genutzt. Die restliche Abgaswärme und die Motorkühlwärme der BHKW werden zusätzlich zum Betrieb von zwei Ammoniak/Wasser-Absorptionskälteanlagen eingesetzt. Diese erzeugen je nach Jahreszeit zwischen 500 und 800 kW Kälte, das entspricht jährlich 9,6 GWh. Das Unternehmen erzielt mit diesem Prozess Einsparungen von 515.000 Euro im Jahr. Insgesamt erzeugen die BHKW aus 86 GWh Erdgas 34 GWh Strom, 19 GWh Dampf und 9,6 GWh Kälte.



<b>Kosteneinsparung</b>	<b>515.000 €/a</b>
<b>Investition</b>	<b>1.700.000 €</b>
<b>Interne Verzinsung</b>	<b>30%/a</b>

## Stromerzeugung durch Dampfprozesse.

Bei Dampfprozessen zur Stromerzeugung aus Abwärme wird Wasserdampf zum Antrieb einer Dampfturbine verwendet, die an einen elektrischen Generator gekoppelt ist. Dabei wird zunächst das Wasser durch eine Pumpe auf ein hohes Druckniveau gebracht. Anschließend wird es erwärmt und verdampft. Dieser Hochdruckwasserdampf kann anschließend in einer Dampfturbine oder einem Dampfmotor entspannt werden, wodurch dessen potenzielle Energie in die kinetische Energie einer rotierenden Welle umgewandelt wird. Zur Erzeugung von elektrischer Leistung wird die mechanische Energie in einem Generator in Strom umgewandelt.

Der Niederdruckwasserdampf, der aus der Turbine austritt, muss am Ende vollständig kondensiert werden. Dafür ist ein Kühlkreislauf notwendig, dessen Wärme weiter genutzt werden kann. Bei Abwärmertemperaturen ab etwa 350 °C gelten Dampfprozesse als effizienteste Lösung zur Verstromung von Abwärme. Mit niedrigeren Temperaturen steigt der Platzbedarf der Anlagen und die Überhitzung des Dampfes wird schwieriger.

### Praxisbeispiel: Abwärmeverstromung und Wärmerückgewinnung in einem Prozess.

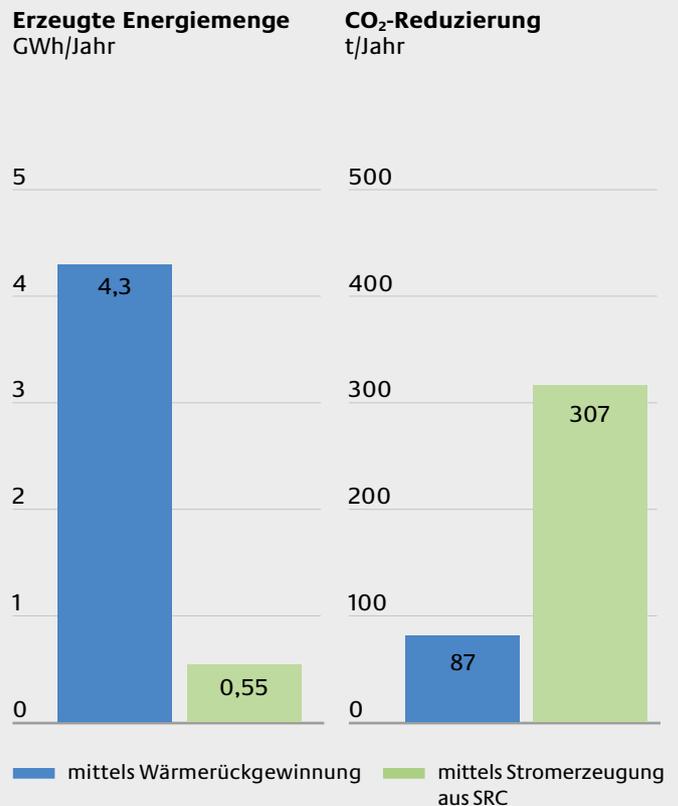
Am Standort Kassel beschäftigt die Volkswagen AG 16.000 Mitarbeiter und fertigt verschiedenste Fahrzeugkomponenten. Im Rahmen der energetischen Optimierung wurden Hochtemperatur-Abwärmeverstromungsanlagen in den Prozess der Rollenherdöfen integriert. Eine speziell entwickelte Steam-Rankine-Cycle-Anlage (SRC-Anlage) arbeitet mit dem Medium Wasser, um so eine gezielte Nutzung des im Wärmebehandlungsprozess vorhandenen Abwärmepotenzials auf hohem Temperaturniveau nutzen zu können. Der bis zu 400 °C heiße Wasserdampf wird über einen Kolben-Expansionsmotor entspannt, um anschließend mit einem Generator Strom zu erzeugen. Zusätzlich wird die Restwärme zur Raumheizung bzw. als technische Wärme genutzt. Durch den Einsatz der SRC-Technologie können jährlich 5 GWh Abwärme in 0,5 GWh Strom umgewandelt werden. Gleichzeitig lassen sich 4,3 GWh Wärme pro Jahr für eine thermische Nutzung zurückgewinnen.



<b>Kosteneinsparung<sup>1</sup></b>	<b>230.000 €/a</b>
<b>Investition</b>	<b>768.000 €</b>
<b>Interne Verzinsung</b>	<b>30%/a</b>

<sup>1</sup> Angenommener Strompreis: 0,15 €/kWh, angenommener Gaspreis: 0,04 €/kWh.

### Einsparerfolge des Praxisbeispiels.



„Investitionen in Ihre Zukunft“  
Investitionen dieses Unternehmens wurden von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und vom Land Hessen kofinanziert.



## Stromgewinnung mittels ORC-Anlagen.

Der Organic Rankine Cycle, kurz ORC-Prozess genannt, ist ein thermodynamischer Kreisprozess. Ein Wärmestrom wird über einen Wärmeübertrager zugeführt, um eine organische Flüssigkeit, das Arbeitsmittel, zu verdampfen. Der Dampf wird für den Antrieb einer Expansionsmaschine genutzt, die über einen Generator Strom erzeugt. Ein Kondensator kühlt das Medium ab, verflüssigt es und führt es erneut dem Verdampfungsprozess zu.

Beim ORC-Prozess kann im Vergleich zum Dampfprozess mit vergleichsweise niedrigen Arbeitstemperaturen zur Verdampfung der organischen Flüssigkeit gearbeitet werden. So kann für den Prozess Abwärme mit niedrigen Temperaturen ab 75 °C genutzt werden.

Die ORC-Technik wird im großen Maßstab (Megawatt) seit Jahrzehnten hauptsächlich im Bereich der Geothermie oder Biomassennutzung angewendet. In Industriebetrieben fällt viel ungenutzte Abwärme an. Selbst nach der Ausschöpfung der möglichen Wärmeverwertungen sind oft noch ungenutzte Abwärmepotenziale im Megawattbereich vorhanden. Große ORC-Anlagen werden bis 25 MW Leistung betrieben. Das ORC-Verfahren kommt aber auch in kleinen Modulen zur Stromerzeugung aus Abwärme zum Einsatz und ermöglicht die Abwärmenutzung in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU).

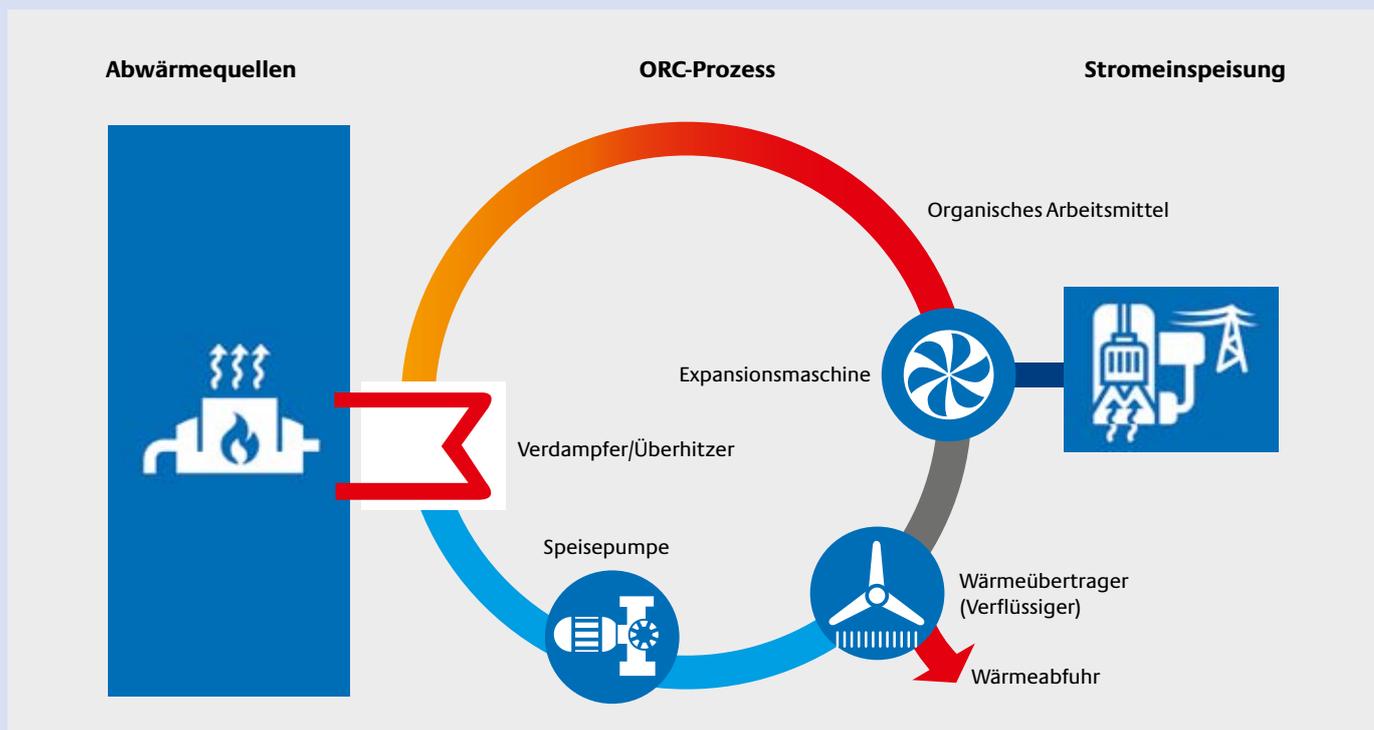


Abb. 3: Verstromung von Abwärme aus verschiedenen Abwärmequellen.

### Einsparerfolge des Praxisbeispiels.



### Praxisbeispiel: Modularer ORC-Einsatz bei einem KMU.

Die Conrad Liphard & Söhne GmbH ist ein Unternehmen der Keramikindustrie, das mit ca. 80 Mitarbeitern z. B. Steine für Industrie- und Kachelöfen und technische Keramik für Hochleistungsturbinen fertigt. Im Unternehmen fällt insbesondere bei den Keramiköfen viel Abwärme an. Um diese zu nutzen, wurden an einer Abwärmequelle zwei ORC-Module (ePacks) mit einer elektrischen Leistung von insgesamt 40 kW installiert.

Die ePacks (ePack Stack) können einzeln oder modular verschaltet betrieben werden. Die ORC-Module ermöglichen es, aus der Abwärme eines Keramikofens jährlich mindestens 320.000 kWh Strom zu erzeugen. Das führt zu einer Kosteneinsparung von mehr als 50.000 Euro im Jahr für den Strombezug.

€	<b>Kosteneinsparung</b>	<b>51.200 €/a</b>
	<b>Investition</b>	<b>160.000 €</b>
	<b>Interne Verzinsung</b>	<b>32 %/a</b>

### Einsparerfolge des Praxisbeispiels.



### Praxisbeispiel: Abwärme aus Glühöfen zur Stromerzeugung mittels ORC-Technik.

In einem Industrieunternehmen wurde im Jahr 2012 ein ORC-System installiert, das die Abwärme einer Glühofenanlage nutzt. Die Herausforderung bei diesem Projekt bestand darin, die Abwärme mit einer Temperatur von 550 °C aus bis zu vier Glühöfen dem ORC-System zuzuführen, um diese in Strom umzuwandeln. Die ORC-Anlage besteht aus einem Container und drei Verflüssigern. Die ORC-Module ermöglichen es, aus der Abwärme von bis zu vier Glühöfen 1,4 GWh Strom bei einer elektrischen Leistung von 200 kW und rund 6.000 Betriebsstunden zu erzeugen. Aufgrund der aufwendigen Zuführung der Abwärme läuft die Anlage zunächst in Teillast. Damit können die Stromkosten um 238.000 Euro im Jahr gesenkt werden.

€	<b>Kosteneinsparung</b>	<b>238.000 €/a</b>
	<b>Investition</b>	<b>790.000 €</b>
	<b>Interne Verzinsung</b>	<b>30 %/a</b>

# Informationsangebote und Entscheidungshilfen.

Diese Broschüre bietet einen Einstieg in das komplexe Thema der Abwärmenutzung und weist auf Möglichkeiten und Chancen für Unternehmen hin. Weiterführende Informationen bieten die *Initiative EnergieEffizienz* der dena wie auch bundesweite und regionale Institutionen.

## Bundesweite Informationsangebote.

### Initiative EnergieEffizienz.

Neben dieser Broschüre beinhaltet das Informationsangebot „Abwärmenutzung in Industrie und Gewerbe“ der *Initiative EnergieEffizienz* der Deutschen Energie-Agentur (dena) ein umfangreiches Online-Informationsangebot mit einem interaktiven Rechner zur Abschätzung betrieblicher Abwärmepotenziale, Checklisten zur Auswahl von Maßnahmen zur Abwärmenutzung und Praxislösungen in Form von Beispielrechnungen. Unternehmen erhalten so praxisnahe Hilfestellungen zur Vorgehensweise bei der Umsetzung von Abwärmenutzungsmaßnahmen sowie Informationen über Best-Practice-Lösungen zur energieeffizienten Abwärmenutzung.

[www.industrie-energieeffizienz.de/abwaerme](http://www.industrie-energieeffizienz.de/abwaerme)

### Expertenliste.

Die Expertenliste unterstützt Unternehmen bei der Suche nach Energieberatern, die im Rahmen des Förderprogramms „Energieberatung Mittelstand“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) Beratungen in KMU durchführen.

[www.energie-effizienz-experten.de](http://www.energie-effizienz-experten.de)

## Regionale Informations- und Beratungsangebote.

### Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien.

Im Internet stellt das Staatsministerium die Abwärmeinformativbörse Bayern bereit: Hier können bayerische Unternehmen Abwärmequellen und -senken melden oder zu verschiedenen Themen recherchieren. Ergänzend wird die Publikation „Abwärmenutzung im Betrieb“ kostenfrei zum Download angeboten.

[www.energieatlas.bayern.de/thema\\_abwaerme](http://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme)

### Sächsische Energieagentur – SAENA.

Die Energieagentur entwickelte 2009 den Wärmeatlas für den Freistaat Sachsen. Auf der interaktiven Karte können Unternehmen Wärmequellen und -senken eintragen oder in ihrer Nähe finden. Ergänzt wird dieses Angebot durch die umfangreiche Publikation „Technologien der Abwärmenutzung“, die kostenfrei über die Website der SAENA bezogen werden kann.

[www.saena.de/angebote/abwaermeatlas.html](http://www.saena.de/angebote/abwaermeatlas.html)

### Energieberater für sächsischen Gewerbeenergiepass.

Auf der unten angegebenen Website finden Unternehmen eine Liste mit Energieberatern, die für die Erstellung des sächsischen Gewerbeenergiepasses zugelassen sind. Der Sächsische Gewerbeenergiepass ist ein Zertifikat des Freistaates Sachsen und bescheinigt dem innehabenden Unternehmen ein vorausschauendes Energiemanagement, das einem Energieaudit nach DIN EN 16247-1 entspricht.

[www.saena.de/themen/gewerbeenergiepass.html](http://www.saena.de/themen/gewerbeenergiepass.html)

### Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen mbH.

Das Abwärmepotenzialkataster Thüringen bildet online verfügbare Abwärmequellen und Wärmesenken ab. Nach eigenen Angaben dient es der Ermittlung ungenutzter industrieller und landwirtschaftlicher Abwärmepotenziale in Thüringen und soll die Transparenz für alle Akteure, insbesondere für Produzenten und Nutzer von Abwärme, steigern.

[www.thega.de](http://www.thega.de)

# Förderprogramme.

Bundesweite und regionale Förderprogramme machen Investitionen in Energieeffizienz noch attraktiver. Es lohnt sich, sich frühzeitig zu informieren, welche Fördermöglichkeiten das eigene Unternehmen in Anspruch nehmen kann und wie diese beantragt werden.

Fördergegenstand und Art der Förderung	Antragsberechtigte	Titel und Fördermittelgeber	Antragstelle	Infos
<p><b>Energieeffizienzberatung.</b></p> <p>Zuschüsse in Höhe von bis zu 80 Prozent der förderfähigen Beratungskosten (maximal 8.000 € für Unternehmen mit jährlichen Energiekosten über 10.000 € und 1.200 € für Unternehmen mit jährlichen Energiekosten bis maximal 10.000 €). Im Rahmen des Förderprogramms können auch Kosten für die Erstellung von Abwärmekonzepten durch einen Energieberater gefördert werden.</p>	Kleine und mittlere Unternehmen (KMU).	<p><b>Förderung von Energieberatungen im Mittelstand.</b></p> <p>Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).</p>	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).	<a href="http://www.bafa.de">www.bafa.de</a>
<p><b>Neuinvestitionen in Wärmerückgewinnungsanlagen.</b></p> <p>Zuschuss von bis zu 30 Prozent der zuzwendungsfähigen Investitionen, höchstens jedoch 100.000 €.</p>	Unternehmen mit bis zu 500 Beschäftigten und bis zu 100 Mio. € Jahresumsatz.	<p><b>Investitionszuschüsse zum Einsatz hoch-effizienter Querschnittstechnologien im Mittelstand.</b></p> <p>Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).</p>	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).	<a href="http://www.bafa.de">www.bafa.de</a>
<p><b>Investive Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in gewerblichen und industriellen Produktionsprozessen, z.B. Abwärmennutzung bei der Produktion (keine Einspeisung in das öffentliche Energienetz).</b></p> <p>Zuschüsse von bis zu 20 Prozent der umweltschutzbezogenen Investitionsmehrkosten, begrenzt auf 1.500.000 €. (<b>Voraussetzung:</b> umweltschutzbedingte Investitionsmehrkosten von mindestens 50.000 €, spezifische Energieeinsparung von mindestens fünf Prozent und CO<sub>2</sub>-Einsparungen von mindestens 100 kg pro 100 € Investitionsmehrkosten.)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Unternehmen des produzierenden Gewerbes mit Sitz oder Niederlassung in Deutschland, Ausnahme Energieversorger.</li> <li>2. Contractoren, die im Rahmen eines Contracting-Vertrags bei einem antragsberechtigten Unternehmen eine förderfähige Maßnahme durchführen.</li> </ol>	<p><b>Förderprogramm für energieeffiziente Produktionsprozesse.</b></p> <p>Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).</p>	Karlsruher Institut für Technologie.	<a href="http://www.ptka.kit.edu">www.ptka.kit.edu</a>
<p><b>Investitionen in Sorptionsanlagen, bei denen Wärme aus Abwärme genutzt wird.</b></p> <p>Zuschuss von bis zu 25 Prozent der Investitionen, abhängig von der eingesetzten Technik, maximal 100.000 €.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gewerbliche Unternehmen.</li> <li>2. Beauftragtes Energiedienstleistungsunternehmen.</li> </ol>	<p><b>Effizienzmaßnahmen an Kälte- und Klimaanlage in Unternehmen.</b></p> <p>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).</p>	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).	<a href="http://www.bafa.de">www.bafa.de</a>

### Die Initiative EnergieEffizienz.

Mit der bundesweiten Kampagne *Initiative EnergieEffizienz* unterstützt die dena Unternehmen und Institutionen bei der Erschließung der vorhandenen Energie- und Kosteneinsparpotenziale. Zentrale Zielgruppen sind Industriebetriebe sowie das produzierende Gewerbe und die öffentliche Hand. Die Kampagne bietet Informationen und praxisnahe Unterstützung u. a. zu Energiemanagement, Energieberatung und hocheffizienten Querschnittstechnologien.

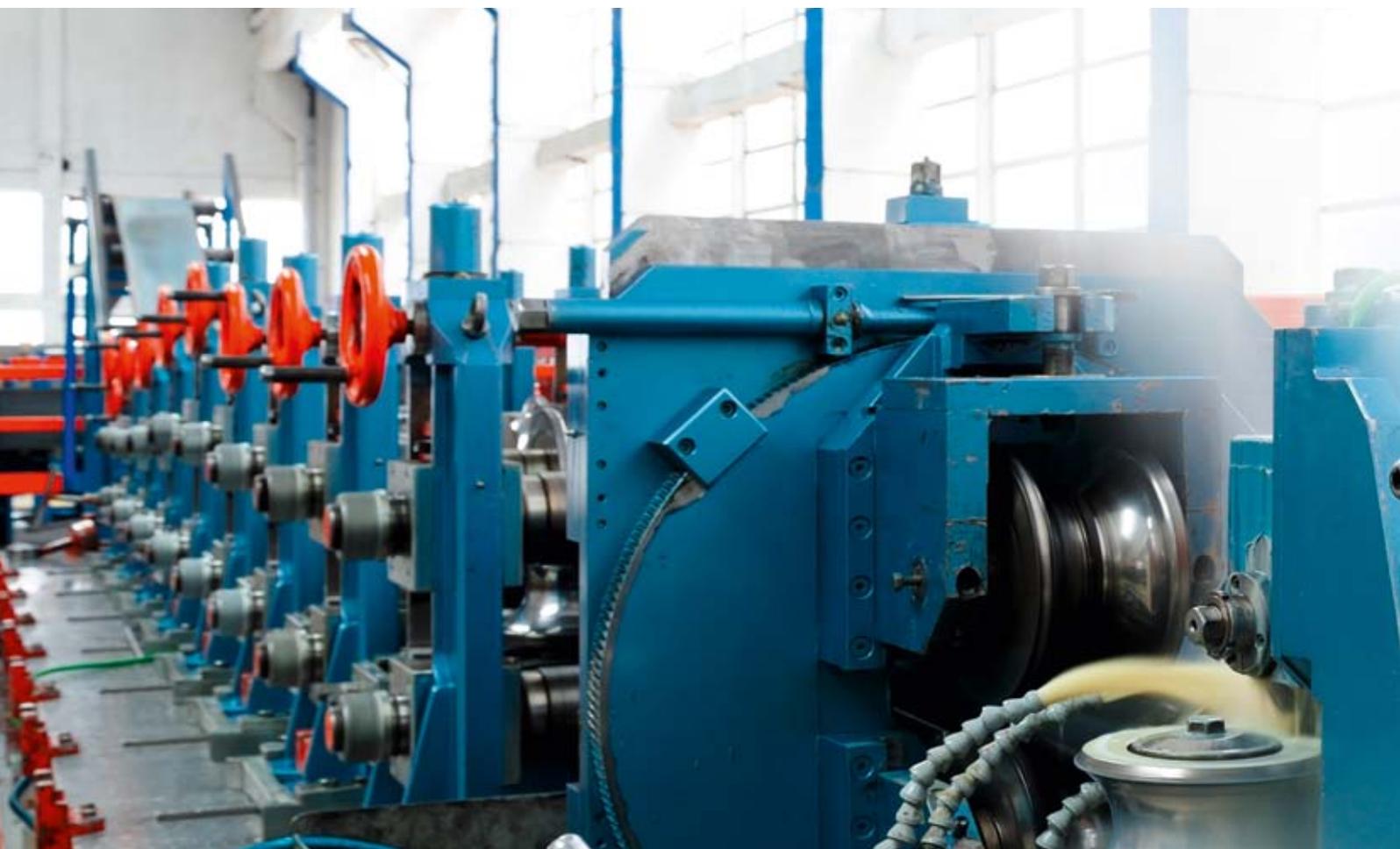
[www.stromeffizienz.de](http://www.stromeffizienz.de)

[www.industrie-energieeffizienz.de](http://www.industrie-energieeffizienz.de)

### Die Deutsche Energie-Agentur.

Die Deutsche Energie-Agentur (dena) ist das Kompetenzzentrum für Energieeffizienz, erneuerbare Energien und intelligente Energiesysteme. Das Leitbild der dena ist es, Wirtschaftswachstum zu schaffen und Wohlstand zu sichern mit immer geringerem Energieeinsatz. Dafür kooperiert die dena mit Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Die Gesellschafter der dena sind die Bundesrepublik Deutschland, die KfW Bankengruppe, die Allianz SE, die Deutsche Bank AG und die DZ BANK AG.

[www.dena.de](http://www.dena.de)



# Impressum.

## Herausgeber.

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)  
Energiesysteme und  
Energiedienstleistungen  
Chausseestraße 128 a  
10115 Berlin

Tel.: +49 (0)30 72 61 65-600  
Fax: +49 (0)30 72 61 65-699  
info@stromeffizienz.de  
www.stromeffizienz.de

## Redaktion.

Andrea Grahl  
Steffen Joest  
Tom Raulien

## Layout.

BBS Werbeagentur GmbH

## Druck.

druckhaus rihn GmbH

## Stand.

12/2015

Alle Rechte sind vorbehalten.

Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

© 2015 Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Sämtliche Inhalte wurden mit größtmöglicher Sorgfalt und nach bestem Wissen erstellt. Die dena übernimmt keine Gewähr für die Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit der bereitgestellten Informationen. Für Schäden materieller oder immaterieller Art, die durch Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen unmittelbar oder mittelbar verursacht werden, haftet die dena nicht, sofern ihr nicht nachweislich vorsätzliches oder grob fahrlässiges Verschulden zur Last gelegt werden kann.

### Informieren Sie sich online!

Die Initiative EnergieEffizienz stellt im Internet umfangreiche Informationsangebote kostenfrei zur Verfügung. Hier finden Sie unternehmensspezifische Themen, Praxishilfen und Online-Ratgeber rund um das Thema Energieeffizienz.

[www.stromeffizienz.de](http://www.stromeffizienz.de)

[www.industrie-energieeffizienz.de](http://www.industrie-energieeffizienz.de)  
besuchen



QR-Code scannen. Internetseite öffnet sich automatisch im Browser.

Info-E-Mail zum Thema anfordern.



QR-Code scannen. E-Mail versenden. Info-E-Mail empfangen.

Für alle Fragen zur effizienten Energienutzung  
in Unternehmen und Institutionen:

**Kostenlose Energie-Hotline 08000 736 734**

**[www.industrie-energieeffizienz.de](http://www.industrie-energieeffizienz.de)**



Art.-Nr. 1445

Eine Initiative von:



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Mit freundlicher Unterstützung von:

