



INITIATIVE  
**EnergieEffizienz** +  
Industrie & Gewerbe

## Infoblätter Kältetechnik: Planung und Optimierung von Kälteanlagen.

---

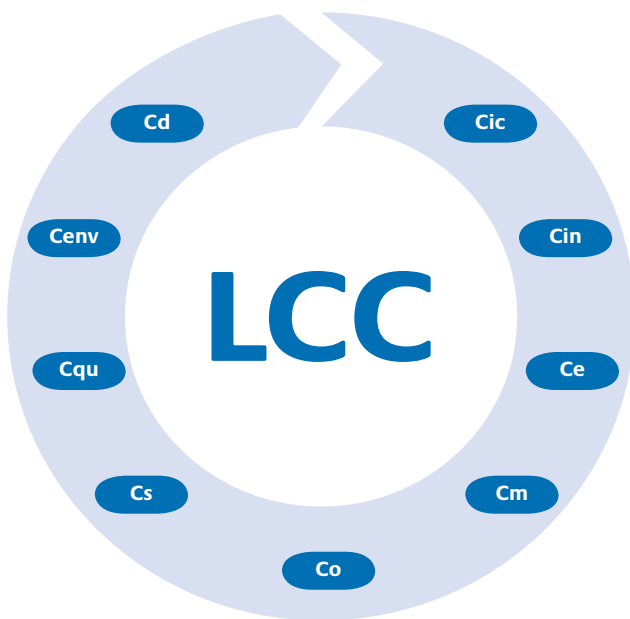
Lebenszykluskosten als Optimierungsstrategie + Ansatz-  
punkte für eine Kostenminimierung.

---

# Lebenszykluskosten als Optimierungsstrategie.

Kälte kann in manchen Branchen ein entscheidender Kostenfaktor sein. Dabei geht es nicht nur um die Anschaffungskosten einer Kälteanlage, sondern vor allem auch um die laufenden Betriebskosten. Diese können bis zu 80 Prozent der Kosten ausmachen, die während der Lebensdauer einer Kälteanlage entstehen. Es wäre daher wenig sinnvoll, bei der Planung einer Kälteanlage vorrangig die Anschaffungskosten vor Augen zu haben. Ein systematischer Ansatz zur Erfassung und Optimierung der Gesamtkosten ist die Lebenszykluskostenanalyse (englisch: Life Cycle Costing, LCC). Detaillierte Hinweise zu dieser Methode finden sich an verschiedenen Stellen bei der *Initiative EnergieEffizienz*, unter anderem in den Infoblättern Druckluft- sowie Pumpensysteme, im Internet unter [www.industrie-energieeffizienz.de](http://www.industrie-energieeffizienz.de) > **Service/Publikationen**.

Abb. 1: **Lebenszykluskostenanalyse (Life Cycle Costing)**



Zur Optimierung einer Kälteanlage stehen viele Stellschrauben zur Verfügung. So viele, dass es nicht möglich ist, für jede Kombination von Lösungsmöglichkeiten die Lebenszykluskosten zu berechnen und zu vergleichen. Es empfiehlt sich daher, systematisch vorzugehen. Hier wird eine Vorgehensweise in sieben Schritten empfohlen, deren Reihenfolge eine Anlagen-Neuplanung zu Grunde liegt. Bei einer bestehenden Anlage wird genau zu prüfen sein, ob sich eine größere Ersatzinvestition oder ein Ausbau lohnt oder ob nur der Betrieb optimiert werden soll.

Die grundlegenden Schritte sind:

1. Minimierung des Kältebedarfs
2. Grundsätzliche Entscheidungen zur Prozessgestaltung
3. Optimierung von Leistungen, Druck- und Temperaturstufen
4. Planung der Steuer- und Regelungstechnik
5. Detailauslegung und Auswahl der einzelnen Komponenten
6. Inbetriebnahme und Optimierung des Betriebs
7. Effizienzorientierte Instandhaltung

Für die Optimierung von Bestandsanlagen wird die Gewichtung und Reihenfolge dieser Schritte anders aussehen, je nachdem, welcher Handlungsspielraum bzw. Handlungsdruck besteht. Die konkreten Möglichkeiten zu den einzelnen Punkten müssen mit Fachplanern erörtert werden. Verallgemeinernde Empfehlungen sind praktisch nicht möglich, weil die Randbedingungen in je nach Anlage zu unterschiedlich sind. Im Folgenden kann daher nur eine grobe Orientierung gegeben werden.

Tab. 1: **Vorschläge für Einsparmaßnahmen**  
(Quelle: Österreichische Energieagentur)

Maßnahme	Einsparpotenzial
<b>Verminderung des Kältebedarfs</b>	
Systemoptimierung	8 - 10%
Betriebs- und Wartungsmaßnahmen	4 - 8%
stärkere Wärmedämmung	5 - 10%
Wärmerückgewinnung	80% (der Wärme)
effiziente Geräte/Beleuchtung in Kühlräumen	2%
<b>Benutzung von effizienten Geräten und Anlagen</b>	
Antriebe mit Drehzahlregelung für Verdichter, Ventilatoren und Pumpen	4 - 6%
Hocheffizienzmotoren für den Ventilator am Verdampfer	2 - 5%
Hocheffizienter Kältekompressor	2 - 5%
Hocheffizienzmotoren für den Ventilator am Kondensator	2 - 5%
<b>Richtige Bedienung und Vermeidung unnötiger Temperaturen</b>	
Reinigung der Wärmeübertragerflächen	3%
Steuerung des Verdichtungsdruckes am Kältekompressor	10 - 15%
Abtausteuern	5%

# Ansatzpunkte für eine Kostenminimierung.

## Minimierung des Kältebedarfs.

Künstliche Kälte ist teuer und sollte daher nur dort eingesetzt werden, wo sie auch wirklich benötigt wird. Eine Reduzierung des Kältebedarfs sollte daher erste Priorität haben. Wenn hier von Minimierung gesprochen wird, meint dies genau genommen eine wirtschaftliche Optimierung unter Einbeziehung des Kältenutzens und der Vermeidungskosten.

Eine Möglichkeit zur Reduzierung des Kältebedarfs ist meistens eine **Verbesserung der Wärmedämmung**, sei es bei Kühlagerräumen oder klimatisierten Wohn- und Betriebsräumen. Optimierungsmöglichkeiten bestehen beim verwendeten Dämmmaterial, der Wandstärke und der Qualität der Ausführung.

Vergleichbar wichtig ist auch eine **Minimierung der Wärmeeinstrahlung und Konvektion**. Optionen hierfür sind eine Gestaltung des Eingangsbereichs, Schleusen an den Türen, Verkürzung der Türöffnungsdauer und bei klimatisierten Gebäuden ein Sonnenschutz an den Fenstern und nicht zuletzt eine Optimierung der Raumlufttechnik. Auch **innere Wärmequellen** sollten minimiert werden. Insbesondere bei Tiefkühlhäusern haben die Effizienz der Beleuchtung und die Gestaltung der Fördertechnik einen erheblichen Einfluss auf den Kältebedarf, da die Wärme, welche durch diese produziert wird, durch die Kälteanlage wieder abtransportiert werden muss.

Die benötigte Maximalleistung lässt sich auch über eine **Anpassung der Belegungs- und Betriebszeiten** begrenzen. Und andersherum lässt sich bei Kenntnis dieser Zeiten auch die Leistung der Kälteanlage optimieren.

Um die benötigte Leistung zu begrenzen, sollte man **Tiefkühlräume nicht zum Gefrieren verwenden**. Wird die Temperaturabsenkung in einem getrennten Schritt vorgenommen, verbessert dies nicht nur die Energieeffizienz, sondern mindert auch Qualitätsrisiken, die durch Temperaturschwankungen entstehen. Steht keine Vorrichtung zum Gefrieren zur Verfügung, sollte das Kühlgut vor dem Einlagern wenigstens so weit wie möglich abgekühlt werden.

Beim Lagern von Lebensmitteln sollte man die **Temperaturen den jeweiligen Lebensmitteln anpassen**. Hierfür sind getrennte Lagerräume bzw. Kühlmöbel oder wenigstens unterschiedliche Temperaturzonen zu empfehlen.

Diese Auflistung ließe sich noch fortsetzen. Die genannten Beispiele sollen dazu inspirieren, vor weiteren Planungsschritten den Kältebedarf nicht nur genau zu berechnen sondern auch immer wieder in Frage zu stellen.

## Grundsätzliche Entscheidungen zur Prozessgestaltung.

Durch die Grobplanung der Kältetechnik werden die entscheidenden Weichen für die spätere Kostenstruktur und Effizienz der Kälteerzeugung gestellt. Daher sollten auf Basis möglichst genauer Budgetangebote und Betriebskostenabschätzungen die Lebenszykluskosten für die verschiedenen Prozessvarianten verglichen werden. Nachdem im ersten Schritt festgestellt wurde, welche Kältemenge benötigt wird, ist zu ermitteln, ob die **Kälte aus der Umgebung** entnommen werden kann. In einigen Fällen bietet sich eine Kühlung durch Fluss- oder Brunnenwasser an. Für die Klimatisierung lässt sich mittels **Betonkernaktivierung** die kühle nächtliche Umgebungsluft nutzen. Steht keine hinreichende natürliche Kältequelle zur Verfügung, sollte geprüft werden, ob sich durch **Kopplungsprozesse** die Energie effizienter ausnutzen lässt. Steht Restwärme aus einem anderen Prozess bei einer ausreichend hohen Temperatur zur Verfügung, bietet es sich an, diese über einen **Sorptionskälteprozess** zu nutzen. Ebenso sollte geprüft werden, ob durch **Wärmerückgewinnung** die Abwärme des Kälteprozesses weitergenutzt werden kann.

Wurde ein herkömmlicher **Kompressionskälteprozess** zur Kälteerzeugung gewählt, muss entschieden werden, ob die Kälte **zentral oder dezentral** erzeugt wird. Dezentrale Anlagen sind flexibler und eignen sich insbesondere zum nachträglichen Einbau und bei schwierigen Gebäudestrukturen. Wenn die Anlage von Anfang an durchgeplant werden kann und die Entfernungen im Betrieb nicht zu hoch sind, haben zentrale Anlagen meistens einen Kostenvorteil. Weiterhin muss entschieden werden, ob die Kälte durch **direkte oder indirekte Kühlung** erzeugt werden soll, d.h. ob das Kältemittel direkt an der Kühlstelle oder zentral bei der Kältemaschine verdampft werden soll. Die direkte Kühlung ist in den meisten Fällen energieeffizienter und hat dann einen Kostenvorteil, wenn die Entfernungen zwischen Kältemaschine und Kühlstelle nicht zu hoch sind. Doch geht diese Variante mit wesentlich höheren Kältemittelmengen und einem erhöhten Sicherheitsaufwand einher. Die indirekte Kühlung könnte bei einem sehr ungleich über den Tag verteilten Kältebedarf in Verbindung mit einem **Kältespeicher** vorteilhaft sein.

In Abhängigkeit von der benötigten Kälteleistung ist zu entscheiden, ob ein **luft-, wasser- oder verdunstungsgekühlter Verflüssiger** zum Einsatz kommt. Wassergekühlte Verflüssiger ermöglichen höhere Leistungen bei hoher Energieeffizienz. Falls kein kaltes Brunnen- oder Flusswasser zur Verfügung steht und genutzt werden darf, muss entschieden werden, welche Art der **Rückkühlung** vorgenommen wird. Dies kann z. B. ein zwangsbelüfteter, ein Naturzug- oder ein Hybridkühlturm sein. Luftgekühlte Verflüssiger haben wesentlich geringere Investitions- und Wartungskosten, da der Wasserkreislauf und die Rückkühlung wegfallen. Sie haben aber den Nachteil, dass ihre Leistung bei hohen Außenlufttemperaturen, also gerade in der Zeit mit dem höchsten Kühlbedarf stark einbricht. Verdunstungsgekühlte Verflüssiger bringen höhere Leistungen als luftgekühlte und haben einen geringeren Wasserverbrauch als wassergekühlte mit Kühlturm. Hier kann allerdings der Betrieb bei Frost problematisch sein.

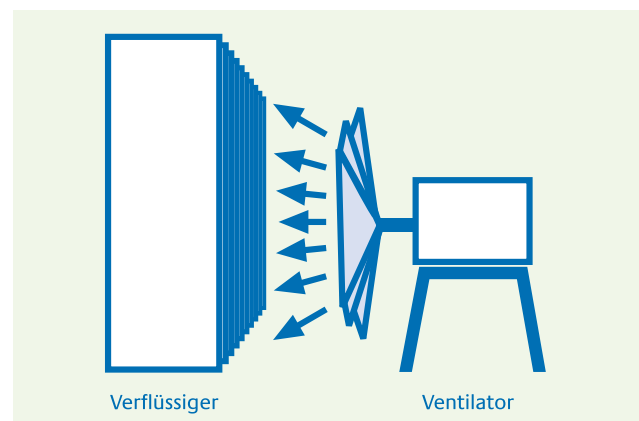
#### Optimierung von Leistungen, Druck- und Temperaturstufen.

Der Energieverbrauch einer Kälteanlage wird ganz wesentlich von der Differenz zwischen Verflüssigungs- und Verdampfungstemperatur bestimmt. Für jedes Kältemittel lässt sich aus der Temperaturspreizung eine Leistungszahl, also das Verhältnis von Verdichter- zu Kälteleistung in einem idealen Kälteprozess ermitteln. Je höher die Temperaturdifferenz, desto geringer die Energieeffizienz der Anlage. Im idealen Prozess hängt die Verdichtarbeit nur von diesen Temperaturen und dem Kältemittelmassenstrom ab, da durch die Temperaturen bei Verdampfung und Verflüssigung auch die Drücke festgelegt werden. Der reale Energieverbrauch ist aber noch höher als der theoretische, da erstens der reale Prozess vom idealen thermodynamischen Verlauf abweicht und zweitens alle Systemkomponenten Ineffizienzen mit sich bringen. Daher kann es auch ein Ziel sein, erstens den realen Prozess möglichst stark dem idealen anzunähern, z. B. indem der Grad der Überhitzung nach der Verdampfung möglichst gering gehalten wird, und zweitens möglichst effiziente Systemkomponenten zu verwenden (siehe auch weiter unten).

Die wichtigste Temperatur ist die **Verdampfungstemperatur**. Ein Kelvin mehr bedeutet vier Prozent weniger Energieverbrauch. Dies ist auch der Grund, warum direkte Kühlungen fast immer effizienter sind als indirekte. Weil hier weniger Wärmeübergänge zu bewerkstelligen sind, muss die Verdampfungstemperatur nicht so weit unter der Temperatur der Kühlstelle liegen. In jedem System kann durch eine Vergrößerung der Wärmetauscherfläche die Verdampfungstemperatur angehoben und damit die Energieeffizienz gesteigert werden. Mit abnehmender Temperaturdifferenz wird der Vorteil weiterer Verdampferrohrschlangen oder -platten aber immer geringer, so dass anhand der Lebenszykluskosten oder einer anderen Investitionsrechnung geprüft werden muss, wie weit sich die Erweiterung lohnt.

Das für die Verdampfungstemperatur gesagte gilt ähnlich für die **Verflüssigungstemperatur**. Dabei liegt die Einsparung zwar nur bei drei Prozent pro Kelvin (hier wohlgermerkt niedrigerer!) Verflüssigungstemperatur, aber das reicht in vielen Fällen auch für deutliche Betriebskostenreduzierungen. Die Verflüssigungstemperatur sinkt aber nur, wenn gleichzeitig mit einer Vergrößerung der Wärmetauscherfläche der Verflüssigungsdruck gesenkt wird. Bleibt dieser konstant, führt zusätzliche Fläche zu einer stärkeren **Unterkühlung** des Kältemittels. Auch dies führt zu einer Effizienzverbesserung, wenn auch nicht in demselben Maße wie eine Kondensation bei geringerer Temperatur. Jedes Grad zusätzliche Temperaturabsenkung steigert die Kälteleistung um etwa ein Prozent, ohne dass zusätzliche Verdichtarbeit nötig wird. Durch eine Flüssigkeitsunterkühlung lässt sich erreichen, dass der Verdichter eine Nummer kleiner gewählt werden kann. Falls die Leistung einer Kälteanlage nicht mehr ausreicht, kann man diese durch Unterkühlung steigern. Eine Unterkühlung verhindert auch, dass bei einer Leistungssteigerung der Anlage so genanntes „Flash Gas“ durch eine vorzeitige Verdampfung aufgrund des erhöhten Druckabfalls in der Flüssigkeitsleitung entsteht.

Abb. 2: Verflüssiger mit Zwangsbelüftung



Die Leistung eines luftgekühlten Verflüssigers lässt sich auch durch eine **Zwangsbelüftung** erheblich steigern. Bläst man mit einem Ventilator Luft auf die Kühlrippen, verbessert sich der Wärmeübergang. Dadurch sinkt die Temperatur des Kältemittels stärker, als bei einem naturgekühltem Verflüssiger derselben Bauart. Bei einem wassergekühlten Verflüssiger hat die Absenkung der Kühlwassertemperatur eine entsprechende Wirkung.

### Mehrere parallele Verdichter erhöhen die Flexibilität.

Möglicherweise kann die Leistung der Anlage auf mehrere Verdichter aufgeteilt werden. Dies bietet eine Reihe von Vorteilen:

- Die Leistung lässt sich durch Ein- bzw. Ausschalten einzelner Verdichter an den Kältebedarf anpassen.
- Antriebsleistungsspitzen werden abgebaut. Dadurch können möglicherweise Netzanschlusskosten reduziert werden.
- Die Ausfallsicherheit steigt. Es bieten sich bessere Möglichkeiten zur Wartung ohne die Gesamtanlage außer Betrieb nehmen zu müssen.

Wird in der Übergangszeit, wenn nur ein Teil der Verdichter läuft, die gesamte Verdampfer- und Kondensatorfläche für diese genutzt, lassen sich hohe Leistungszahlen erzielen.

Durch eine entsprechende Verdichteranzahl und jeweilige Leistungsgröße lässt sich mit Hilfe einer intelligenten Steuerung eine hohe Regelgüte erreichen. Zur Erreichung einer gleichmäßigen Abnutzung der Verdichter ist es üblich, durch eine Folgesteuerung für gleiche Betriebsstunden der einzelnen Aggregate zu sorgen.

### Planung der Steuer- und Regelungstechnik.

Die Optimierungsmöglichkeiten mit Hilfe der Regel- und Steuerungstechnik sind vielfältig. Einige Beispiele werden im Infoblatt „Regelungstechnik“ vorgestellt (Download im Internet unter [www.industrie-energieeffizienz.de](http://www.industrie-energieeffizienz.de) >Service/Publicationen).

Weitere Schlagworte sind:

- Bleibende Regelabweichungen klein halten!
- Kühlbedarf auf das notwendige Maß beschränken: Zulässige Toleranzen ausnutzen!
- Lastmanagement vornehmen, um Stromleistungskosten gering zu halten!
- Leistung an momentane Kühllasten anpassen, bei Klimaanlage gleitende Vorlauftemperaturen einstellen!
- Antriebsdrehzahl regeln!

Je intelligenter die Steuerung, desto höher sind in der Regel die möglichen Effizienzsteigerungen. Die besten Ergebnisse lassen sich durch computergesteuerte Regelungen erzielen (Energy Management Program Refrigeration, EMPR).

### Detailauslegung und Auswahl der einzelnen Komponenten.

Alle Systemkomponenten einer Kälteanlage sind in unterschiedlichen Qualitäten zu haben. Eine höhere Effizienz bedeutet fast immer einen höheren Anschaffungspreis. Dies kann aber gut

investiertes Geld sein. Welcher Mehrpreis sich rentiert, muss im Einzelfall berechnet werden. Gerade bei Verdichtern und deren Motoren Antrieben gibt es große Unterschiede in Effizienz und Wartungskosten. Elektromotoren werden nach der freiwilligen Vereinbarung zwischen der Europäischen Kommission und dem Komitee der Hersteller von elektrischen Maschinen und Leistungselektronik (CEMEP) nach ihrer Energieeffizienz klassifiziert. Sie teilt Motoren im Leistungsbereich zwischen 1,1 kW und 90 kW in die drei Effizienzklassen eff1, eff2, eff3, ein. Dabei wird nach Baugröße und Polzahl differenziert.

Auch die Druckverluste in den Rohrleitungen sind eine Ursache von Energieverlusten. Hier geht es um die Wahl des optimalen Leitungsdurchmessers und eine verlustarme Leitungsführung.

Abb. 3: Kennzeichnung energieeffizienter Motoren



### Inbetriebnahme und Optimierung des Betriebs.

Bei allen komplexeren Anlagen lässt sich das Betriebsverhalten durch eine sorgfältige Inbetriebnahme stark verbessern. Kälteanlagen dürfen nur durch Sachkundige in Betrieb genommen werden. In der Regel geschieht dies durch den Lieferanten. Jeder Kälteanlagenbauer wird von sich aus ein Interesse daran haben, eine gut funktionierende Anlage abzuliefern. Für eine wirkliche Optimierung sind allerdings viele zusätzliche Stunden notwendig. Um sicherzustellen, dass dies auch geschieht, sollten die Leistungsziele bereits im Liefervertrag spezifiziert und auch eine ausreichende Inbetriebnahmezeit explizit vereinbart werden. Auch im Regelbetrieb sollte dann und wann eine Anpassung der Regel- und Steuerparameter vorgenommen werden.

### Effizienzorientierte Instandhaltung.

Eine gute Wartung erhält die Effizienz der Kälteanlage. Hinweise zu einer effizienzorientierten Instandhaltung finden Sie im Infoblatt „Sicherheit, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit“ dieser Serie und im Infoblatt „Wartung und Instandhaltung von Pumpen und Pumpensystemen“ der *Initiative EnergieEffizienz*, im Internet unter [www.industrie-energieeffizienz.de](http://www.industrie-energieeffizienz.de) > **Service/Publicationen**.

### Fazit:

Künstliche Kälte kostet Geld. Die Kosten können stark variieren und lassen sich durch eine geschickte Planung und systematische Anlagenoptimierung stark reduzieren. Die wesentliche Voraussetzung hierfür ist, dass nicht nur kurzfristig auf Ausgaben geschaut, sondern längerfristig geplant wird. Kälteanlagenbauer haben das Know-how für hochwertige Anlagen. Ein Optimum werden sie aber nur erzielen, wenn sie vom Kunden entsprechend gefordert und ausreichend mit Informationen versorgt werden.

## Tipps:

- Eine Kälteanlage bietet eine Reihe von Ansatzpunkten zur energetischen Optimierung. Hier gilt es Anlagentechnik, Kältemittel, Kühlmedium und Temperaturverhältnisse aufeinander abzustimmen.
- Informieren Sie sich über die Leistungsdaten ihrer bestehenden Anlage oder über den genauen Bedarf ihrer zu planenden Anlage und vergleichen Sie sich, falls möglich, mit Wettbewerbern oder veröffentlichten Best-Practice-Beispielen.
- Schauen Sie auch auf Lösungen für ähnliche Aufgabenstellungen in anderen Branchen.
- Protokollieren Sie den Energieverbrauch Ihrer Kältetechnik langfristig, um Hinweise auf Instandhaltungs- und Verbesserungsbedarf zu erhalten.
- Fragen Sie in Ihren Ausschreibungen immer auch Wirkungsgrade und am besten auch Angaben zu Lebenszykluskosten an.
- Holen Sie immer mehrere Vergleichsangebote ein.

# Die Angebote der Initiative EnergieEffizienz.

Die Kältetechnik ist eine in Industrie und Gewerbe weit verbreitete Technologie. Dabei bestehen in diesem Bereich erhebliche Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz: meist können in den Betrieben der Stromverbrauch – und damit die Kosten – um 5 bis 50 Prozent gesenkt werden. Die meisten Effizienzmaßnahmen sind mit Amortisationszeiten von weniger als zwei Jahren und hohen Kapitalrenditen von über 20 Prozent wirtschaftlich sehr attraktiv für die Unternehmen. Die *Initiative EnergieEffizienz* will mit diesen Faktenblättern einen Beitrag zur Erschließung dieser Potenziale leisten.

Neben der Kältetechnik bestehen auch in weiteren Bereichen oft große Effizienzpotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben aller Branchen. Daher bietet die *Initiative EnergieEffizienz* über das Thema Kältetechnik hinaus auch in weiteren Bereichen umfassende Informationen und praxisnahe Unterstützung für Unternehmen, die Strom effizienter nutzen und Kosten einsparen möchten. Näheres zu diesen Angeboten finden Sie im Internetportal [www.industrie-energieeffizienz.de](http://www.industrie-energieeffizienz.de).

Die *Initiative EnergieEffizienz* steht für effiziente Stromnutzung in allen Verbrauchssektoren und ist eine in dieser Form einmalige Public-Private-Partnership: Mit zielgruppenspezifischen Kampagnen und Projekten werden Endverbraucher in privaten Haushalten, in Industrie und Gewerbe sowie im Dienstleistungssektor über die Möglichkeiten des effizienten Stromeinsatzes informiert und zum energieeffizienten Handeln motiviert.

Näheres zu den Angeboten in diesen Sektoren finden Sie unter [www.initiative-energieeffizienz.de](http://www.initiative-energieeffizienz.de).

Die *Initiative EnergieEffizienz* wird getragen von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) sowie den Unternehmen der Energiewirtschaft – EnBW Energie Baden-Württemberg AG, E.ON AG, RWE AG und Vattenfall Europe AG und wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Eine Initiative von



Gefördert durch das



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

**Impressum:**  
Informationsblätter  
Kältetechnik

**Herausgeber:**  
Deutsche Energie-Agentur  
GmbH (dena)  
Energieeffizienz im  
Elektrizitätsbereich  
Chausseestraße 128a, 10115 Berlin

**Kontakt:**  
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 600  
Tel.: +49 (0) 30 - 72 61 65 - 699  
E-Mail: [info@dena.de](mailto:info@dena.de)

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