



Natürliche Gase für klimafreundliche Kälteanlagen



klⁱma



Natürliche Gase für klimafreundliche Kälteanlagen

Impressum

Natürliche Gase für klimafreundliche Kälteanlagen

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Telefon: 0821 9071 - 0
Fax: 0821 9071 - 5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Text/Konzept:

LfU, Referat 76, Nivedita Mahida

Layout:

LfU, Referat 13

Redaktion

LfU, Referat 12

Bildnachweis:

siehe Seite 40

Druck:

Pauli Offsetdruck e.K
Am Saaleschloßchen 6
95145 Oberkotzau

Gedruckt auf Papier aus 100% Recyclingpapier

Stand:

November 2015

Auflage:

2.000 Stück

Diese Druckschrift wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung.

Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars erbeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Publikation wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt.

Der Inhalt wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.

BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung.

Unter Tel. 089 12 22 20 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.



Inhalt

Vorwort	4/5
----------------	------------

Kältetechnik – ein Beitrag zu wachsendem Wohlstand	6
---	----------

Projekt zur Reduktion klimaschädlicher F-Gase in Bayern	10
--	-----------

EU-Beschluss: Phase-Down von F-Gasen	12
---	-----------

Höhere Energieeffizienz durch natürliche Kältemittel	16
---	-----------

Beispiele aus der Praxis in Bayern	19
---	-----------

Hopfenveredelung Hallertau	20
----------------------------	----

Großmarkthalle München	22
------------------------	----

Roche	24
-------	----

Efficient Energy	26
------------------	----

Lidl	28
------	----

ALDI SÜD	30
----------	----

Kaiser's Tengelmann	32
---------------------	----

Edeka Lechertshuber & Wimmer	34
------------------------------	----

Brauerei Rapp	36
---------------	----

Anhänge	38
----------------	-----------

Ausgewählte fluorierte und nicht-fluorierte Kältemittel mit ihren GWP- und ODP-Werten	38
--	----

Weiterführende Informationen	40
------------------------------	----



Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser!

Mit steigendem Wohlstand nimmt der Bedarf an Kältemittel für Klima- und Kälteanwendungen stetig zu. Nach Prognosen des Umweltbundesamts könnte sich dadurch der Ausstoß klimaschädlicher fluorierter Gase, sogenannter F-Gase, bis 2050 verdreifachen, auf dann rund sechs Prozent Anteil an den gesamten Treibhausgasemissionen. Diese Entwicklung würde Fortschritte wieder zunichte machen, die wir mühsam in anderen Bereichen des Klimaschutzes erzielt haben.

Die Europäische Union hat darauf bereits reagiert und einschneidende Maßnahmen zur Reduktion von F-Gasen ergriffen. Von 2015 bis zum Jahr 2030 sollen deren Verkaufsmengen schrittweise auf ein Fünftel der Mengen von 2015 reduziert werden. Damit dieses Ziel erreicht werden kann, müssen wir in den nächsten Jahren soweit wie möglich auf klimafreundliche natürliche Kältemittel wie Kohlendioxid, Ammoniak und Kohlenwasserstoffe umsteigen. In technologisch hoch entwickelten Ländern ist das Wissen über alternative Lösungen bekannt. Durch den Umstieg können sogar Potenziale für die Energieeffizienz erschlossen werden. Im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz wird das Bayerische Landesamt für Umwelt konkrete Lösungsansätze aufzeigen, wie diese F-Gase nach und nach ausgetauscht werden können und dabei Energie eingespart werden kann.

Würde der Umstieg auf klimafreundliche natürliche Kältemittel alleine von Bayern oder Europa beschritten, würden wir das Ziel, F-Gase global zu reduzieren, nicht erreichen. Tatsächlich sind weltweite Anstrengungen erforderlich. Es ist offensichtlich, dass diese Herausforderung von der internationalen Gemeinschaft nur dann bewältigt werden kann, wenn sie möglichst geschlossen handelt. Der Schlüssel für den Erfolg ist hier die internationale Zusammenarbeit, der Austausch von technologischem Wissen und Erfahrungen. Wir freuen uns, dass wir dafür Israel als Partner gefunden haben. Israel ist offen für die notwendige technologische Weiterentwicklung und auf zukunftsfähige Lösungen im Kälte- und Klimasektor besonders angewiesen. In Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ), die auf diesem Gebiet exzellente Erfahrungen erworben hat, wollen wir unseren Beitrag für eine nachhaltige, klimafreundliche Kälte- und Klimatechnik leisten.

Ulrike Scharf MdL
Bayerische Staatsministerin für
Umwelt und Verbraucherschutz

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser!

Moderne Kälte- und Klimaanlage enthalten heute schon vielfach klimafreundliche, natürliche Kältemittel, die umweltschonender und energieeffizienter sind als die klimaschädlichen fluorierten Kältemittel. Fluorierte Kältemittel, die wesentlich an den Prozessen der Erderwärmung beteiligt sind, dominieren aber noch auf dem Markt. Das Bayerische Landesamt für Umwelt setzt sich deshalb für die Reduktion klimaschädlicher F-Gase in Klima- und Kälteanlagen in Bayern ein. Betreiber und Entscheidungsträger sollen für die Umstellung auf klimafreundliche natürliche Kältemittel gewonnen und ihnen soll ein Anreiz geboten werden, auf neue und innovative Kältetechnologien umzusteigen.

Ein Umstieg auf alternative Technologien ist eine wirksame Methode, Treibhausgasemissionen zu reduzieren und gleichzeitig Energie- und Ressourceneffizienz zu steigern. Ein wesentlicher Teil aktueller Aktivitäten ist die Kooperation mit Israel auf dem Gebiet der natürlichen Kältemittel. In Israel ist, klimatisch bedingt, eine stärkere Nutzung von Klima- und Kälteanlagen zu verzeichnen. Ein Wechsel auf klimafreundliche Kältemittel liegt daher im Interesse Israels. Ein Technologietransfer bedeutet einen Gewinn für Bayern und Israel: Bayerische und israelische Unternehmen, die alternative Kälte- und Klimatechnologien entwickeln und erfolgreich einsetzen, stärken ihre internationale Technologieführerschaft in diesem Sektor.

Die vorliegende Broschüre fasst einige Beispiele aus der Praxis in Bayern zusammen. Sie zeigt, dass sich ein Umstieg auf natürliche Kältemittel umwelttechnisch und energiewirtschaftlich auszahlt.



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Kumutat', written in a cursive style.

Claus Kumutat
Präsident des Bayerischen Landesamtes für Umwelt

Kältetechnik – ein Beitrag zu wachsendem Wohlstand



Die Kälteerzeugung ist eine Schlüsseltechnologie, die breite Anwendung findet, sei es in der Lebensmittelproduktion, beim Klimatisieren von Gebäuden oder bei der Herstellung von Arzneimitteln. Sie trägt erheblich zum steigenden Lebensstandard bei und ermöglicht dem Menschen ein gesundes und komfortables Leben.

Klimaschädliche Gase in Kältemitteln

Die Kältetechnik gewinnt weltweit immer mehr an Bedeutung. Jedoch werden zur Kälteerzeugung oft Chemikalien eingesetzt, die zum Klimawandel beitragen. Zu diesen klimaschädlichen Chemikalien zählen sogenannte F-Gase (fluorierte Gase), die einen wesentlichen Bestandteil der Kältemittel bilden. F-Gase sind teil-(HFKW) oder vollständig fluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), die in verschiedenen chemischen Zusammensetzungen als Kältemittel verwendet werden. Zu den Geräten und Produkten, die F-Gase enthalten, gehören zum Beispiel gewerbliche Kühl- und Kälteanlagen, Gefriertruhen, Klimaanlage in Gebäuden und in Pkws, Wärmepumpen, Kühllastfahrzeuge, elektrische Schaltanlagen, medizinische Aerosole, bestimmte Dämmstoffe und Brandschutzeinrichtungen.

HFKW und FKW sind Ersatzstoffe für fluorierte und chlorierte Kohlenwasserstoffe (Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) sowie teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (HFCKW)). Diese erste Generation der Kältemittel hatte insbesondere technische Vorteile: Sie waren geruchsneutral, nicht korrosiv, nicht brennbar, nicht toxisch und damit sehr sicher bei der Anwendung. Im Laufe der 1970er- und 1980er-Jahre wurde aber nachgewiesen, dass FCKW-haltige Stoffe für den Abbau der Ozonschicht verantwortlich sind. Ihre Produktion und Verwendung wird seither durch das Montrealer Protokoll von 1987 international strikt geregelt. Die Ersatzstoffe HFKW und FKW sind zwar nicht ozonschädlich, tragen aber erheblich zum Treibhauseffekt bei, da einige Stoffe ein sehr hohes Treibhauspotenzial aufweisen. Aufgrund verstärkter Anstrengungen beim Klimaschutz wird der Einsatz von F-Gasen seit 1997 auf internationaler Ebene durch das Kyoto-Protokoll geregelt.



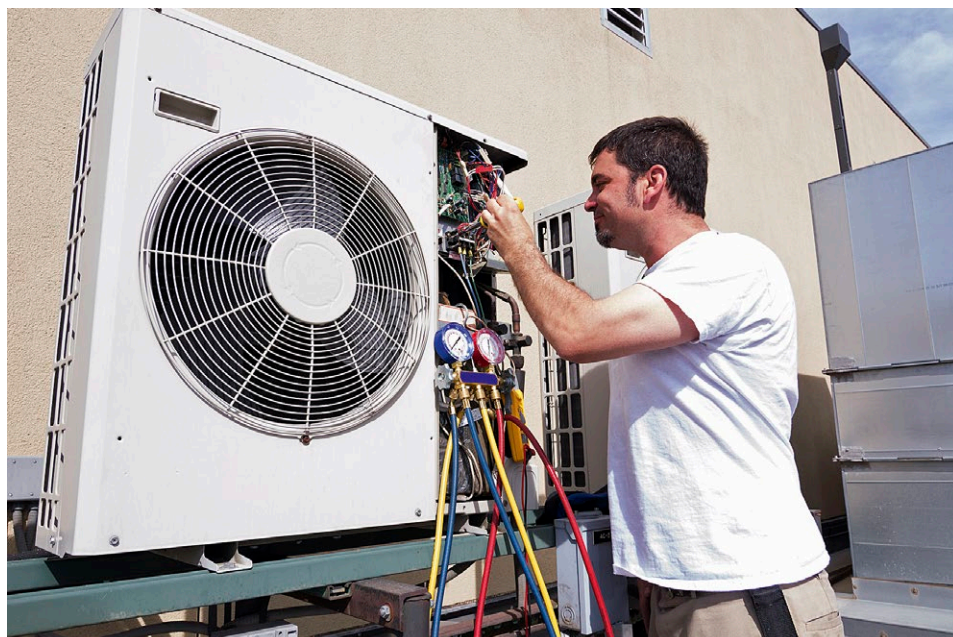
Klima- und Kälteanlagen können klimaschädliche Gase enthalten.

Viele Wirtschaftsbereiche sind auf Kälteerzeugung angewiesen, zum Beispiel Personen- und Güterverkehr, Lebensmittelherstellung und Industrie.



Wenn F-Gas-haltige Kältemittel bei Wartungsarbeiten oder Leckagen während des Betriebs in die Atmosphäre entweichen, tragen sie zum Treibhauseffekt bei, indem sie die Rückstrahlwärme der Erdoberfläche in der Atmosphäre absorbieren. Zudem sind die halogenierten Fluorkohlenwasserstoffe in der Atmosphäre kaum abbaubar und können bis zu 100 Jahre und länger in der Atmosphäre verbleiben. Das Treibhauspotenzial eines Stoffes wird als Global Warming Potential (GWP) oder als CO₂-Äquivalent angegeben, wobei das jeweilige Treibhauspotenzial mit dem von CO₂ verglichen wird. So hat zum Beispiel das F-Gas-haltige Kältemittel R-404A im Vergleich zu CO₂ (Treibhauspotenzial von 1) ein Treibhauspotenzial von 3.922. Das bedeutet, dass ein Kilogramm des Kältemittels R-404A innerhalb der ersten 100 Jahre nach der Freisetzung, 3.922-mal stärker zum Treibhauseffekt beiträgt als ein Kilogramm CO₂.

Das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz und das Bayerische Landesamt für Umwelt unterstützen daher den Umstieg auf natürliche und klimafreundliche Kältemittel. Sie setzen sich für die Reduktion klimaschädlicher F-Gase in Kälte- und Klimaanlage ein und sehen eine große Chance für die Entwicklung von Kältetechnologien auf Basis natürlicher Kältemittel.



Wartung und Instandhaltung von Klima- und Kälteanlagen müssen von zertifiziertem Personal durchgeführt werden.



Projekt zur Reduktion klimaschädlicher F-Gase in Bayern



Die Reduktion von klimaschädlichen Chemikalien in der Kälteerzeugung ist ein wichtiger Beitrag zum internationalen Klimaschutz. Das Thema betrifft zahlreiche Betreiber und Entscheidungsträger in Bayern. Es kann nur durch internationale Zusammenarbeit entscheidend vorangebracht werden. Das Bayerische Landesamt für Umwelt kooperiert mit dem israelischen Umweltministerium und der GIZ Proklima, um die Anwendung natürlicher Kältemittel in Israel voranzutreiben.

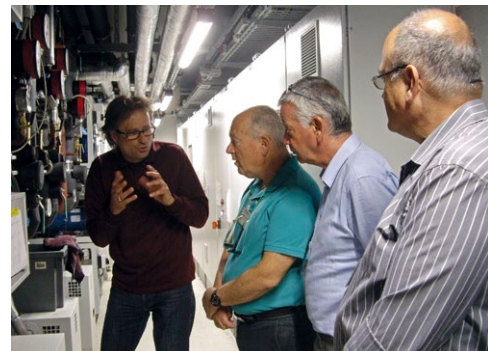
Unterstützung für bayerische Betriebe bei der Umstellung

Klimaschutz steht weit oben auf der Prioritätenliste der Umweltthemen in Bayern. Das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz hat deshalb u. a. das Projekt zur „Reduktion klimaschädlicher F-Gase bei Kälte- und Klimaanlageanlagen in Bayern“ am Bayerischen Landesamt für Umwelt initiiert. In Bayern werden während der Projektlaufzeit vor allem kleine und mittelständische Unternehmen vom Bayerischen Landesamt für Umwelt beim Umstellungsprozess begleitet werden. Hierfür erarbeitet das Bayerische Landesamt für Umwelt Informationsmaterialien und führt Workshops und Diskussionsveranstaltungen für Klima- und Kältetechnikverbände sowie Betreiber von Kälteanlagen durch.

Zusammenarbeit Bayern und Israel

Im Rahmen des Projekts wurde auch eine Kooperation mit dem israelischen Ministerium für Umweltschutz (Israel Ministry of Environmental Protection) gestartet. Ziel ist es, Betreiber von Kälteanlagen in Israel für die Umrüstung auf natürliche Kältemittel zu gewinnen. Partner des Projekts ist die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Der Schwerpunkt der Kooperation mit Israel liegt thematisch bei gewerblichen Kälteanlagen und bei der Durchführung von Schulungen zum Thema „Einsatz von natürlichen Kältemitteln“. Auch das Training zu Sicherheitsaspekten ist ein wesentlicher Bestandteil des Projekts: Israelische Dozentinnen und Dozenten für Kältetechnik werden an der Bundesfachschule für Kälte-Klima-Technik in Maintal ausgebildet, damit sie wiederum als Multiplikatoren agieren und in Israel Schulungen für Kältetechnik durchführen können. In Bayern können die Teilnehmerinnen und Teilnehmer durch Besuche verschiedener Betriebe, die natürliche Kältemittel einsetzen, die Funktionsweise der Technik aus erster Hand erleben. Des Weiteren werden technische Workshops für Klima- und Kältetechnikverbände sowie Entscheidungsträger in Israel durchgeführt, um über Themen wie Energieeffizienz, Risikominimierung und Ausbildung der Techniker zu informieren.

Israelische Dozentinnen und Dozenten für Kälte- und Klimatechnik werden in Deutschland zum Thema „Einsatz von natürlichen Kältemitteln“ geschult.



Israelische Experten für Kältetechnik besuchen einen Betrieb in Bayern.

Selbst ausprobieren gehört zum Schulungskonzept des „Cool Training“ der GIZ Proklima: An der Bundesfachschule für Kälte-Klima-Technik in Maintal arbeiten Teilnehmerinnen und Teilnehmer in der Schulungswerkstatt mit Kupferdraht und machen einen Lötstein.



EU-Beschluss: Phase-Down von F-Gasen



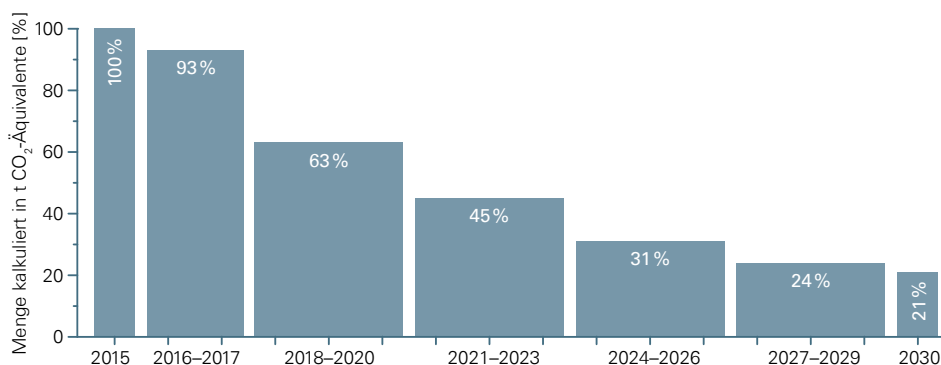
Die EU regelt die Produktion und Verwendung von F-Gasen. Geräte und Anlagen, die mit einem Kältemittel mit hohem Global Warming Potential (GWP) befüllt sind, müssen in Zukunft strengere Auflagen erfüllen. Neben der Reduktion von Emissionen durch F-Gase, zielen die Regelungen der EU auf eine Umstellung auf alternative Kühl- und Kältemittel ab, die weniger klimaschädliche Wirkungen haben als die bislang verwendeten F-Gase.

Schritt für Schritt: Reduktion der Verfügbarkeit von F-Gasen in Europa

Weltweit steigt der Bedarf für künstlich erzeugte Kälte. In Ländern mit sehr hohen Außentemperaturen nimmt besonders in den Sommermonaten die Nachfrage nach Klimaanlage zu. Kühlschränke und Gefriertruhen gehören längst zu den Elektrogeräten, die in nahezu jedem Haushalt vorhanden sind. Den Prognosen nach wird die Nachfrage für Kühlschränke und Klimaanlage besonders in Schwellenländern wie China, Indien und Brasilien zukünftig steigen. Aber auch in Europa wird die Nachfrage nach Kälteerzeugung mit weiter wachsendem Wohlstand stetig ansteigen. Dieser zunehmende Einsatz von Kälteanwendungen kann jedoch die Emissionen treibhauschädlicher Gase aus der Kälteerzeugung erhöhen.



Phase-Down



In der EU werden die am Markt verfügbaren Mengen an HFKW schrittweise reduziert.

Die von den Prognosen erwarteten zunehmenden Emissionen klimaschädlicher Treibhausgase aus der Kälteerzeugung gefährden die im internationalen Kyoto-Protokoll verbindlich festgelegten Emissionsziele der Staaten. Die Europäische Union hat auf die Anforderungen des Kyoto-Protokolls mit Verordnungen reagiert und die Produktion und Nutzung von F-Gas-haltigen Stoffen durch die Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen und die Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase geregelt. Die Umsetzung dieser Vorgaben in nationales Recht wird in Deutschland durch die Chemikalien-Klimaschutzverordnung und die Chemikalien-Ozonschichtverordnung ergänzt.

Gemäß diesen Verordnungen werden F-Gase einem sogenannten „Phase-Down“ unterzogen, ihr Marktanteil also schrittweise reduziert. HFKW sollen bis 2020 und HFKW bis 2030 nur noch in geringen Mengen verfügbar und auf bestimmte Nutzungsarten beschränkt sein.

Bis 2030 sollen die am Markt verfügbaren Mengen an HFKW auf 21 % der Ausgangsmengen von 2015 reduziert werden. Wie bei HFKW, deren Einsatz in der EU bereits seit 2009 geregelt ist, wird es deshalb zu einer künstlichen Verknappung von HFKW und FKW (Verwendung in der EU seit 2014 geregelt) kommen. Dadurch könnte ein erweiterter Markt für natürliche Kältemittel entstehen.

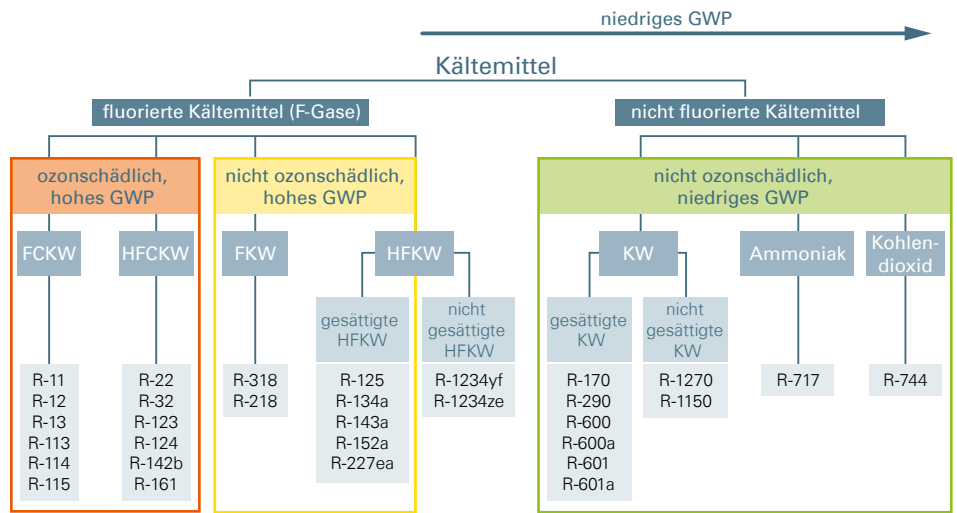
Die Gesamtmengen an F-Gasen in der EU sollen bis 2030 auf ein Fünftel der Mengen von 2014 reduziert werden. Um dieses Ziel zu erreichen, gibt ein „Phase-Down“-Verfahren vor, die Emissionen, die durch F-Gase verursacht werden, stufenweise zu senken.



Eine richtig gekennzeichnete Flasche, befüllt mit dem Kältemittel Propan (R-290)

Natürliche Gase als Ersatz für F-Gase

Zu den natürlichen Alternativen von F-Gasen gehören gesättigte Kohlenwasserstoffe (KW), wie zum Beispiel Propan oder Butan, Ammoniak, Kohlendioxid und Wasser. Diese Kältemittel eignen sich auch für Länder mit hohen Außentemperaturen und der Einsatz dieser Alternativtechnologien ist außerdem mit höherer Energieeffizienz und geringeren Emissionen verbunden. Zudem haben sich durch die Erhöhung der Energieeffizienz Besonderheiten wie Wärmerückgewinnung und Drucklufferzeugung als Standard bei den neuen Anlagen etabliert. Natürliche Kältemittel sind für verschiedene Anwendungen und Kälteleistungen einsetzbar, sei es für Klimaanlage, Gefriertruhen, Gewerbekälte, Wärmepumpen oder zum Schäumen diverser Dämmstoffe. Das Bayerische Landesamt für Umwelt konzentriert sich in seinem Projekt auf die gewerbliche Kühlung im Lebensmitteleinzelhandel.



Natürliche Kältemittel haben ein niedrigeres Global Warming Potential (GWP) als F-Gase, also geringere klimaschädliche Auswirkungen. (verändert nach Dr. Daniel Colbourne, Re-phridge)

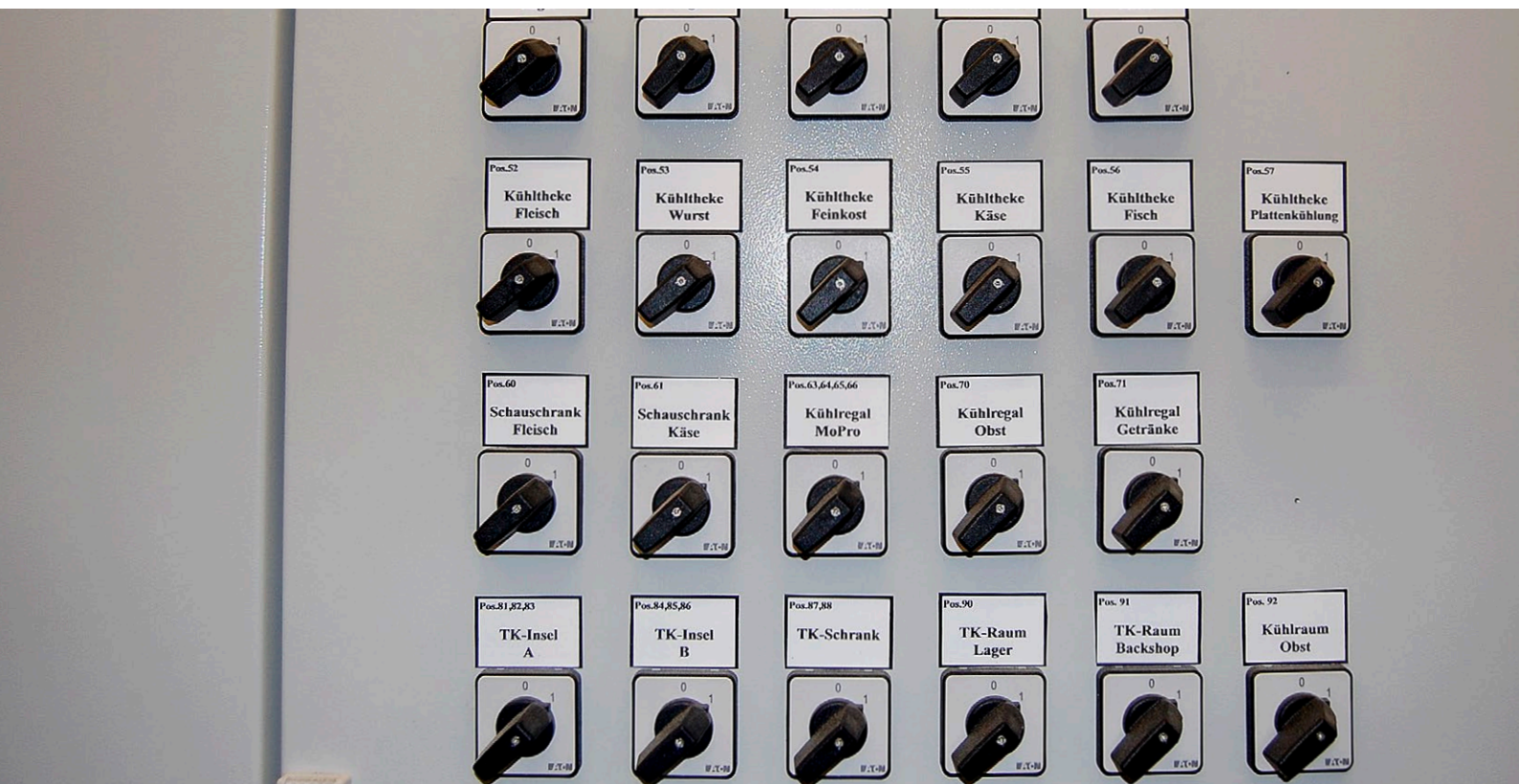


Thema	HFKW und FKW	Natürliche Kältemittel
Kälteleistung	Fluktuationen in Kälteleistung möglich	thermodynamische Eigenschaften oft besser als bei HFKW oder FKW
Wartung und Dichtheitskontrollen	vorgeschriebene Kontrollen (EU-Verordnungen)	keine vorgeschriebenen Dichtheitskontrollen
Leckageraten und Emissionen	<ul style="list-style-type: none"> ■ können höher sein, insbesondere bei älteren Anlagen ■ klimaschädliche Emissionen durch Leckagen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ deutlich geringer ■ Emissionen durch Leckagen nicht oder kaum klimaschädlich
Wirtschaftliche Aspekte	Initialkapital und Betriebskosten hoch	<ul style="list-style-type: none"> ■ Initialkapital hoch ■ Amortisationszeit kurz in Kombination mit Maßnahmen wie Wärmerückgewinnung und Förderung
Kosten für Kältemittel	voraussichtlich Preisanstieg bei Kältemitteln mit hohem GWP durch Verknappung	relativ stabil
Sicherheitsaspekte	meistens keine zusätzlichen Sicherheitsmaßnahmen erforderlich	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kohlenwasserstoffe Propan und Butan (R-290, R-600a): größere Explosionsgefahr, daher Explosionsschutzmaßnahmen nötig ■ Kohlendioxid (R-744) und Ammoniak (R-717): Detektoren und Austrittsmelder erforderlich
Umweltaspekte	<ul style="list-style-type: none"> ■ höheres GWP ■ produzieren persistente Abfälle ■ Herstellung aus einer limitierten Ressource (Flussspat) ■ Recycling und Zerstörung teuer 	<ul style="list-style-type: none"> ■ niedriges oder kein GWP ■ Abfall nicht persistent ■ Herstellung nicht aus limitierten Ressourcen ■ Recycling und Zerstörung einfacher und günstiger
Energieeffizienz	Energieeffizienz stark vom Typ und Alter der Anlage abhängig	Neuanlagen häufig energieeffizienter durch Maßnahmen wie Wärmerückgewinnung und webbasierte Fernüberwachungssysteme

Vergleich der natürlichen Kältemittel mit HFKW- und FKW-basierten Kältemitteln



Höhere Energieeffizienz durch natürliche Kältemittel



Bei Kälte- und Klimaanlageanlagen ist die Energieeffizienz der entscheidende Faktor um die Betriebskosten zu reduzieren. Neuere Anlagen verfügen zum Beispiel über einen zentralen Schaltschrank, von dem aus alle Kühlräume, Kühltheken und Tiefkühlbereiche gesteuert werden können. So können Betriebsstörungen schnell identifiziert und oft mithilfe einer Fernüberwachungssoftware behoben werden. Schnelle Abhilfe bei Betriebsstörungen trägt unter anderem dazu bei, die Energieverluste des Kältesystems zu reduzieren.

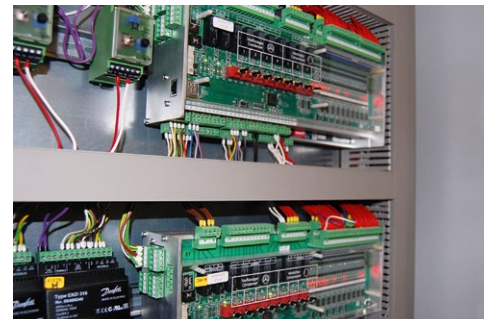
Energieeffizienz einer Kälteanlage: Viele Faktoren spielen eine Rolle

Kälte- und Klimaanlage verursachen weltweit Emissionen von rund 4,8 Gt CO₂-Äquivalente jährlich (1 Gigatonne = 10⁹ t). Prognosen für 2030 liegen bei über 12 Gt CO₂-eq in einem Szenario ohne grundlegende Änderungen (business-as-usual scenario). Ein Drittel dieser Emissionen stammt direkt aus den Anlagen, während zwei Drittel als indirekte Emissionen durch die energetische Nutzung der Kälteanlagen entstehen. Die direkten Emissionen werden durch Kältemittel-Leckagen während der Wartung oder beim Betrieb verursacht. Die indirekten Emissionen sind umso höher, je „schmutziger“ die Quelle des Stroms (z. B. Kohle) ist. Wenn der Strom aus erneuerbaren Energiequellen wie beispielsweise Windkraft, Fotovoltaik oder Wasserkraft bezogen wird, sinken die indirekten Emissionen. Energieeinsparpotenziale und Möglichkeiten zur Emissionsminderung bei Kälte- und Klimaanlage liegen zum Großteil beim Stromverbrauch und im Design des Systems. Kleine Maßnahmen, wie zum Beispiel regelmäßige Dichtheitskontrollen und Wartungen können viel Energie sparen. Im Vergleich zu konventionellen Kältemitteln kann mit natürlichen Kältemitteln die Energieeffizienz um bis zu 50 % oder mehr gesteigert werden.

Die Energieeffizienz von bestehenden Kälte- und Klimaanlage kann durch einige einfache Maßnahmen wie regelmäßige Wartung und Reinigung des Verflüssigers beeinflusst werden. Bei der Neubeschaffung von Klima- und Kälteanlagen und der Umstellung auf natürliche Kältemittel können zusätzlich einige Aspekte im Voraus berücksichtigt werden. Allerdings sind manche dieser Maßnahmen mit höheren Investitionskosten verbunden, die sich jedoch durch den geringeren Energieverbrauch in relativ kurzer Zeit amortisieren.

Verschiedene Faktoren beeinflussen die Energieeffizienz einer Kälte- oder Klimaanlage wie zum Beispiel die Wahl des Kältemittels, die Außentemperaturen in den Sommermonaten und die zu erwartende Kälteleistung. Nachfolgend sind Maßnahmen aufgeführt, die bei der Planung einer Kälteanlage für die Erhöhung der Energieeffizienz von Bedeutung sind:

- korrekte Auslegung von Komponenten
- Wahl der Leitungen und Schaltkreise
- optimale Füllmenge des Kältemittels
- Wahl der Isolierung
- Wahl des Öls
- Wahl des Verdichters
- Einsetzen eines Expansionsventils statt eines Kapillarrohrs
- regelmäßige Wartungsarbeiten und Dichtheitskontrollen
- Vermeidung von Druckverlusten im System
- Minimierung von Verlusten durch die Wahl entsprechender Komponenten (z. B. Pumpen oder Beleuchtung)



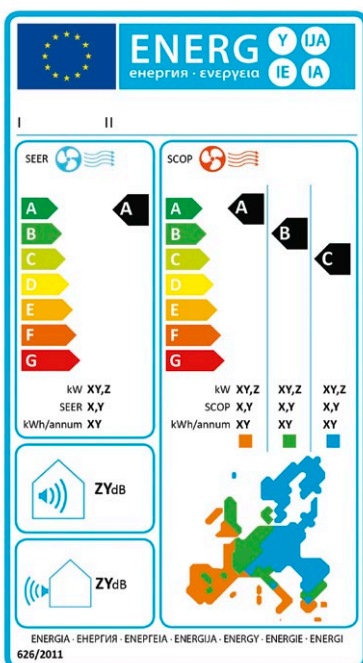
Oben und Mitte: Typischer Schaltschrank einer Kälteanlage
Unten: Hochdruckleitungen einer Kälteanlage

Wärmerückgewinnung

Beim Kühlprozess entsteht Abwärme, die meistens durch den Verflüssiger an die Luft oder an das Kühlwasser abgegeben wird. Die Gewinnung dieser Abwärme für weitere Nutzungen wird als Wärmerückgewinnung aus dem Kühlprozess bezeichnet. Die Wärmerückgewinnung ist für die Energieeffizienz einer Kälteanlage von großer Bedeutung: Je mehr Restwärme aus dem Kältekreis gewonnen werden kann, desto weniger Wärme muss aus externen Quellen zugeführt werden. Die so gewonnene Wärme kann zum Beispiel zum erwärmen von Wasser oder zum beheizen von Räumen und Fußböden eingesetzt werden. Dadurch können Heizkosten gespart und die Gesamtenergieeffizienz der Anlage gesteigert werden.

Umweltgerechte Gestaltung und Energieverbrauchskennzeichnung

Weitere Aspekte für Hersteller und Verbraucher von Klima- und Kälteanlagen sind die Energieverbrauchskennzeichnung und das Produktdesign. Die Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union 2009/125/EG über „die Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an umweltgerechte Gestaltung von energieverbrauchsrelevanter Produkte“ gibt unter anderem vor, dass Produkte so gestaltet werden müssen, dass Treibhausgasemissionen und Umweltauswirkungen über ihren gesamten Lebenszyklus gemindert und Ressourcen geschont werden. Die EU-Richtlinie 2010/30/EU über „die Angabe des Verbrauchs an Energie und anderen Ressourcen durch energieverbrauchsrelevante Produkte mittels einheitlicher Etiketten und Produktinformationen“ und die delegierte Verordnung der europäischen Kommission Nr. 626/2011 über „die Kennzeichnung von Luftkonditionierern in Bezug auf den Energieverbrauch“ regeln die Energieverbrauchskennzeichnung von Klimaanlage. Diese Regelungen fordern, dass der Stromverbrauch von Klimaanlage nachgewiesen und auf der Produktinformation dokumentiert werden muss. Dies umfasst insbesondere die Werte der Arbeitszahl im Kühlbetrieb (SEER) und der Arbeitszahl im Heizbetrieb (SCOP). Auch Stromverbrauch und Geräuschpegel des Gerätes müssen auf dem Produkt angegeben werden. Kunden können durch die Energieverbrauchskennzeichnung eine informierte Wahl treffen und zugleich können Geräte mit geringer Energieeffizienz leichter identifiziert werden.

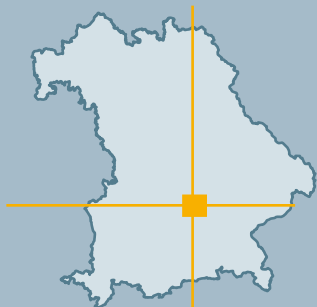


Beispiele aus der Praxis in Bayern



Beispiele aus der Praxis verdeutlichen, dass Kälteanwendungen auf Basis natürlicher Kältemittel wirtschaftlich und energieeffizient angeschafft und betrieben werden können. Alle Betreiber der folgenden neun exemplarisch dargestellten Anlagen sind überzeugt, dass natürliche Kältemittel nachhaltige Lösungen für die Zukunft bieten.

Hallertauer Hopfenveredelung – „Natürliche Kühlung für 7.000 Tonnen Hopfenpellets“



Fakten zur Anlage

Standort:	Hallertauer Hopfenveredelungsgesellschaft m.b.H., 84072 Au in der Hallertau
Beteiligte Kältefirmen:	Fa. Heilmeyer, R. Schiessl GmbH
Ansprechpartner:	Herr Robert Baust, r.baust@schliessl-kaelte.de

Anlage – Nutzung, Kälteleistung, Kältemittel, Füllmenge

Die Kälteanlage der Hopfenveredelungsgesellschaft dient der Produktion von Hopfenpellets aus Rohhopfen. Bei der Anlage handelt es sich um eine Kaskadenkälteanlage mit unterkritischem CO₂ (R-744) und Propan (R-290) für die obere Stufe. Die Anlage ist für einen Solekreislauf ausgelegt mit Kühlung bei –40 °C und rund 130 kW Kälteleistung. Die Füllmenge der Anlage beträgt rund 44 kg R-290 und rund 30 kg R-744.

Anlass der Umstellung auf natürliche Kältemittel

Da die bestehende Anlage zu klein und alt geworden war, musste eine komplette neue Anlage geplant werden. Der Anlagenbetreiber wünschte sich eine innovative Kälteanlage mit umweltfreundlichen Kältemitteln und geringen „life-cycle costs“.



Verflüssiger mit luftgekühltem
Wärmetauscher auf dem Dach des
Unternehmens

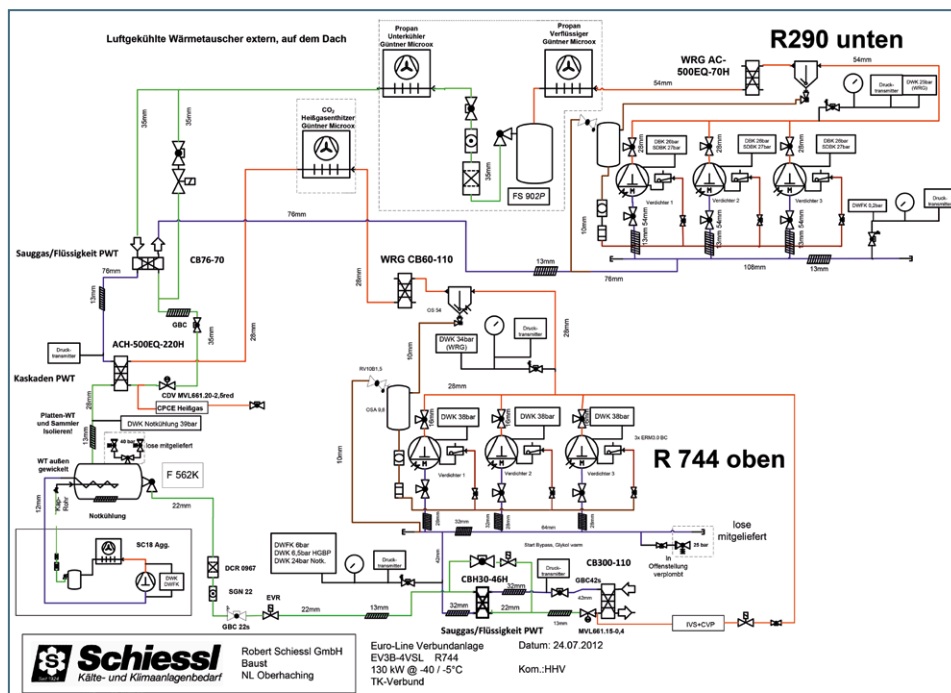
Technische Daten der Anlage

Strombedarf:	48.000 kWh pro Jahr
COP*	
Sommer/Winter:	Bei einer Außentemperatur von 0 °C konnte mit einer Handmessung ein COP von 2,4 rechnerisch ermittelt werden.
Kosten:	Aufgrund der niedrigen Betriebs- und Wartungskosten (im Vergleich zu einer R-404A-Anlage), ist die Wahl auf die CO ₂ -Anlage gefallen.
Herausforderungen:	Außer einer Störung, verursacht durch einen fehlerhaften Regler sind innerhalb der Betriebszeit von drei Jahren keine Probleme aufgetreten.

*Coefficient of Performance

Besonderheiten der Anlage

- Die Anlage ist so konzipiert, dass sie möglichst wenig Strom verbraucht. Dafür sind folgende Maßnahmen umgesetzt worden:
 - Die Führungsverdichter und der Motor des Verflüssigers wurden jeweils mit Frequenzumrichtern ausgestattet.
 - Die Verdampfer wurden mit elektronischen Einspritzventilen ausgestattet.
 - Bei beiden Zyklen, R-290 und R-744, wird Wärmerückgewinnung betrieben.
 - Die Nutzung der Anlage ist optimal dimensioniert um die Hopfenverarbeitung von der Ernte im Herbst bis zum Mai des nächsten Jahres abzuschließen. Die heißen Sommermonate sind für die Überprüfung der Anlage sowie als Reserve eingepplant.
- Die Anlage verfügt über großzügig dimensionierte Wärmetauscher zur Optimierung des Kältekreislaufes. Zudem gibt es einen zentralen Schaltschrank zum Regeln und Überwachen der gesamten Anlage.
- Die Anlage besitzt einen Flüssigkeitsunterkühler für R-290 und eine Heißgasentzündung für R-744.

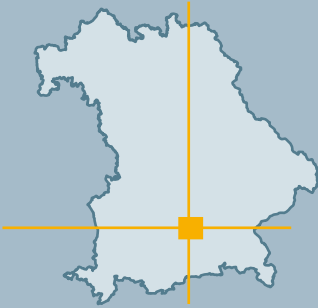


Schematische Darstellung der Kälteanlage

Unten: Verdichter und Schaltschrank
Links: Hopfenmühle für den Mahlprozess bei niedrigen Temperaturen



Großmarkthalle München – „Obst und Gemüse haben es kühl“



Fakten zur Anlage

Standort:	Großmarkthalle München, Schäftlarnstraße 9, 81371 München
Beteiligte Kältefirmen:	Friess Technik Friess GmbH, Günter GmbH & Co. KG, Frigoteam GmbH
Ansprechpartner:	Herr Friess-Becker, c.friess@friess-klima.de, Rappstraße 18, 80687 München
Internet:	www.friess-klima.de



Anlage – Nutzung, Kälteleistung, Kältemittel, Füllmenge

Die Lagerung von Obst und Gemüse erfordert eine gleichmäßig niedrige Temperatur und eine gewisse Luftfeuchtigkeit um die Frische der Ware zu erhalten. Ein Teil der Großmarkthalle in München besteht aus Kühlräumen für diesen Zweck. Die Soleverbund-Kälteanlage für diese Lagerräume ist mit dem Kältemittel Ammoniak-Dimethylether (R-723) befüllt. Die Füllmenge der Anlage, die 2010 in Betrieb genommen wurde, beträgt 120 kg und hat einen warmen und einen kalten Solekreislauf. Die Kälteleistung der Anlage liegt bei 385 kW für die Kühlung von vier Kühlzellen und vier Lagerräumen im Solltemperaturbereich von 2 bis 10 °C. Das Kältemittel R-723 hat einen GWP von 8 und besteht zu 40 % aus Dimethylether und zu 60 % aus Ammoniak.



Anlass der Umstellung auf natürliche Kältemittel

Die Entscheidung für natürliche Kältemittel ist vorrangig aus Umweltgründen getroffen worden. Zusätzlich wollte der Betreiber den langfristigen energieeffizienten Betrieb der Kälteanlage sichern. Die Amortisationszeit war relativ kurz, da die neue Anlage um mehr als 40 % effizienter arbeitet als die alte Anlage. Die Förderungen von Klima- und Kälteanlagen durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle ermöglichten die Finanzierung der Anlage.

Oben: Der Lieferplatz für Obst und Gemüse in der Großmarkthalle München

Unten: Die Kühlräume für die Lagerung der Produkte

Technische Daten der Anlage

Strombedarf: ca. 480 MWh pro Jahr für ein Raumvolumen von 22.500 m³, abhängig von Warenumsatz und Belegung der Lagerhallen

COP*

Sommer/Winter: 2,46

Kosten: Wartungskosten jährlich ca. 4.500 €

Herausforderungen: Eine gute logistische Planung zwischen Bestellung und Lieferung der verschiedenen Komponenten ist erforderlich. Außerdem muss die Koordination zwischen verschiedenen Gewerken, zum Beispiel bei Rohbau, Schalldämmung und Bodenarbeit, gut koordiniert werden.

*Coefficient of Performance

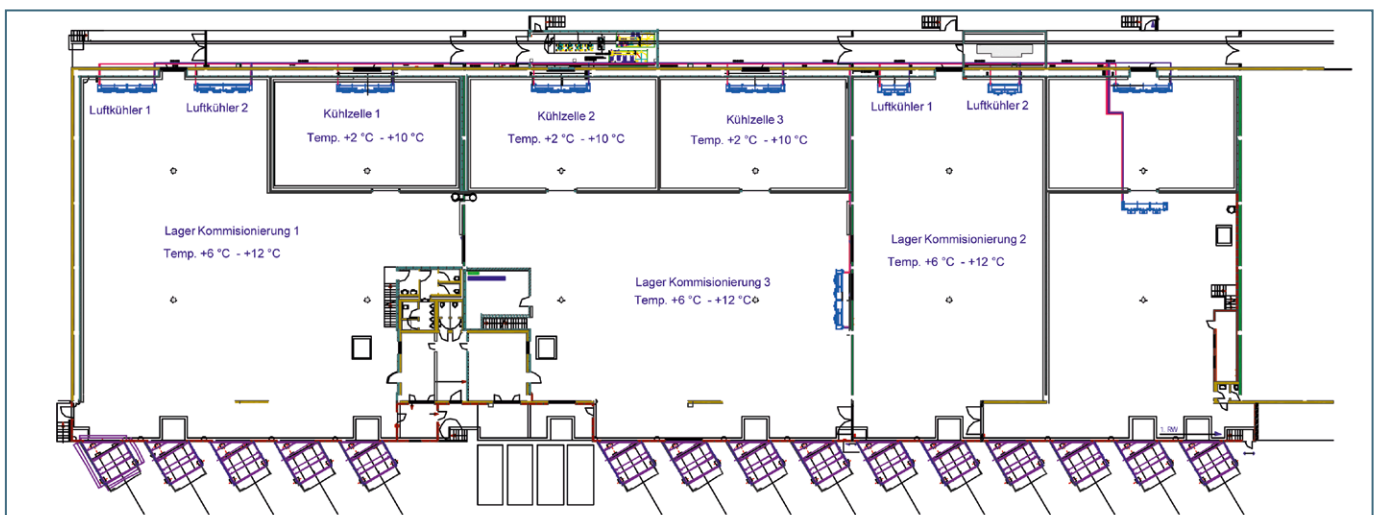
Besonderheiten der Anlage

- Die Energieeffizienz der neuen Anlage ist im Vergleich zur alten Anlage um 35 bis 40 % höher.
- Das größte Energieeinsparpotenzial liegt beim Abtauen der Kühlräume mit 2 °C. Dieses erfolgt durch Warmsole, die durch die Wärmerückgewinnung der Kälteanlage erzeugt wird. Das Abtauen wird über eine Bedarfsabtauregelung eingeleitet. Die Wärmerückgewinnung wird auch zur Beheizung der Kühlräume und zur Warmwasserbereitung für die Kistenwaschanlage genutzt.
- Frequenzumrichter wurden für die Verflüssiger-Lüfter, den Kältekompressor, die Ventilatoren und teilweise auch für die Verdampfer-Lüfter eingebaut.
- In den Kühlräumen wurden Kaltsole-Hochleistungsdeckenluftkühler mit integriertem Klimaregister für den Heizfall unter die Kühlraumdecke montiert. Diese wurden, um die Decken zu entlasten, an einer speziellen Stahlkonstruktion aufgehängt.
- Die Aggregate wurden im schallgedämmten Raum aufgestellt, um das nahe gelegene Wohngebiet vor Lärm zu schützen.

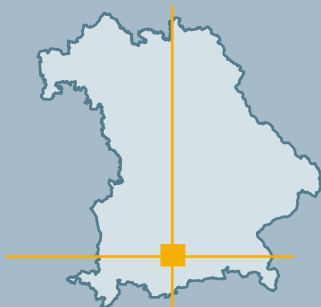
Von links nach rechts: R-723-Anlage, Schaltschrank und Eingangsbereich zu dem schallgedämmten Raum, in dem die Kälteanlage steht



Skizze der Kühlzellen und Lagerräume für Obst und Gemüse in der Großmarkthalle

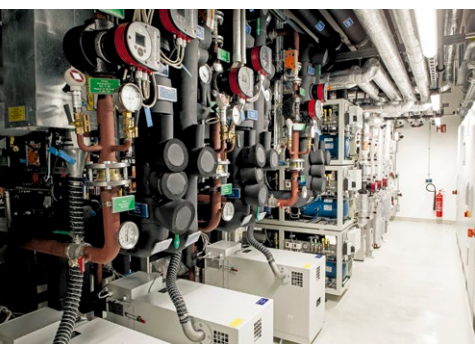


Roche – „Fluorierte Gase für die Kälteerzeugung werden durch natürliche Kältemittel ersetzt“



Fakten zur Anlage

Standort:	Roche Diagnostics GmbH, Nonnenwald 2, 82377 Penzberg
Beteiligte Kältefirma:	Planung: IB Mayer AG Ottobeuren, Kälteanlagenbau: WESKA Kälteanlagen GmbH
Ansprechpartner:	klaus.matschl@roche.com
Internet:	www.roche.de



Oben: Eine Kälteanlage in einem Gebäude bei Roche am Standort Penzberg

Unten: Die Technikzentrale für die Kälteanlagen

Anlage – Nutzung, Kälteleistung, Kältemittel, Füllmenge

Im Mittelpunkt der Aktivitäten des Roche-Konzerns steht die Entdeckung und Entwicklung neuartiger Diagnostika und Medikamente sowie deren Produktion. In Bayern ist Roche in Penzberg präsent und betreibt hier eines der größten Biotechnologie-Zentren Europas. Eine verlässliche Kältetechnik ist unverzichtbar für die Lagerung der Einsatzstoffe für die Produktion sowie die biotechnologisch hergestellten Reagenzien für diagnostische Tests und Wirkstoffe – ausschließlich Proteine – für Medikamente. Nahezu alle Kälteanlagen werden mit natürlichen Kältemitteln betrieben. Mehrere Großkälteanlagen mit einer Kapazität von über 20 MW werden ausschließlich mit dem Kältemittel Ammoniak (R-717) betrieben. Die Temperaturbereiche liegen hier bei 3 °C (Klimakaltwasser) und –15 °C (Kaltsole). Außerdem gibt es mehrere Kälteanlagen im mittleren Leistungsbereich zwischen 3 und 100 kW, die seit 2005 ausschließlich mit Kohlenstoffdioxid (R-744) oder Propan (R-290) betrieben werden. Eine der Anlagen ist hier beispielhaft erwähnt. Die Temperaturen liegen dabei im Bereich von 4 °C, –20 °C und –40 °C. Für Spezialanwendungen im Tieftemperaturbereich (bis –90 °C) werden zusätzlich Kälteanlagen mit dem Kältemittel Methan (R-170) betrieben. Für Sonderfälle stehen Absorptionskälteanlagen bereit.

Technische Daten der Anlage

Strombedarf:	rund 65.000 kWh pro Jahr
Kälteleistung:	28 kW bei Raumtemperatur –40 °C
Kosten:	Die Wartungs- und Betriebskosten sind im Vergleich zu den alten Anlagen mit HFKW als Kältemittel in etwa gleich geblieben.
Herausforderungen:	Es ist wichtig, dass gut ausgebildetes Service-Personal für die Kälteanlagen zur Verfügung steht.

Anlass der Umstellung auf natürliche Kältemittel

Seit 1994 sieht eine Direktive des Konzerns vor, dass alle im Konzern benötigten Substanzen, welche die Ozonschicht schädigen oder das Klima nachhaltig negativ beeinflussen (HFCKW, FCKW, HFKW und FKW), bis 2015 eliminiert werden müssen. Diese Substanzen sind bei Roche insbesondere in Löschanlagen, Kälteanlagen und in der Prozesstechnik zu finden. Das Unternehmen möchte mit der Konzerndirektive einen nachhaltigen Beitrag zum Umweltschutz leisten. Diese Direktive gilt weltweit für alle Roche-Standorte.

Besonderheiten der Anlage

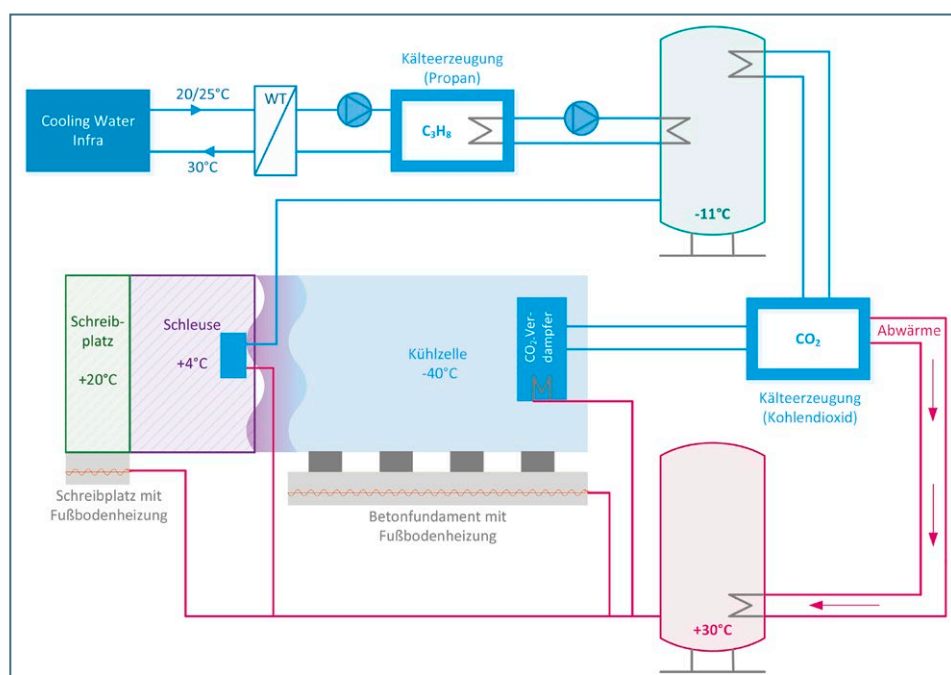
Bei Roche in Penzberg werden Propan (R-290) sowie Kohlenstoffdioxid (R-744) als Kältemittel eingesetzt. Die Anlagen sind meistens in kleine Kompartiments aufgeteilt und mit einem Sekundärkreislauf verbunden. Durch die dichten Kompartiments, die mit Propansensor und Abluft ausgestattet sind, ist eine Explosionszone im Technikraum nicht notwendig.

Die R-744-Anlagen sind besonders für den Tieftemperaturbereich gut geeignet (-5 °C bis -40 °C). Im Vergleich zu Propan ist Kohlenstoffdioxid nicht brennbar und kann somit als direktverdampfendes Kältemittel eingesetzt werden. Aufgrund der erstickenden Wirkung von R-744 wurde, wie gesetzlich vorgeschrieben, eine Gaswarnanlage im Kühl- und im Technikraum eingebaut. Die Anlagen wurden zudem aufgrund der Drucklage von R-744 mit einem Druckausgleichsgefäß oder mit Hochdruckkomponenten ausgestattet. Die Sicherung der Anlage mit Niederdruck führt bei Anlagenabschaltung zum Abblasen des Kältemittels.

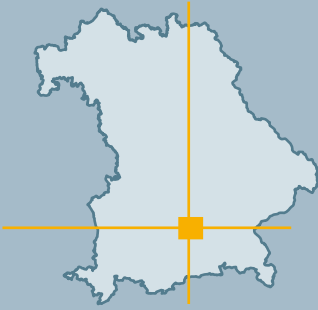
Die Kondensationswärme wird größtenteils zum Abtauen der Verdampfer und für Heizzwecke im Gebäude verwendet. Zusätzlich werden rund 55 % des Strombedarfs der Kälteanlagen von Fotovoltaik-Anlagen am Standort gedeckt. Auch dies ist ein Betrag zur Minimierung des Energieverbrauchs und zur Nachhaltigkeit des Standortes Penzberg.

Unten: Die Direktverdampfung der CO₂-Anlage für die Kühlung des Raums und die kleineren Propan-Module der Kälteanlage

Links: Darstellung des Kältekreislaufs mit Wärme- und Kälteströmen für Kühlzellen bei -40 °C



Efficient Energy – „Eine intelligente, energieeffiziente Anlage mit Wasser als Kältemittel“



Fakten zur Anlage

Standort:	Diverse Feldtest-Standorte in Deutschland
Ansprechpartner:	info@efficient-energy.com
Internet:	www.efficient-energy.com



Blick in die Produktionshalle der Efficient Energy GmbH

Anlage – Nutzung, Kälteleistung, Kältemittel, Füllmenge

Die Efficient Energy GmbH sieht maximale Energieeffizienz als wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz: „Durch neuartige, technisch intelligente Lösungen, die Energie effizienter umwandeln, kann global eine hohe Lebensqualität erzielt und gleichzeitig behutsam mit vorhandenen Ressourcen umgegangen werden.“ Das Produkt des Unternehmens, der „eChiller“, setzt mit einfachem Wasser als Kältemittel in einem Kaltwassersatz mit Turboverdichtern den thermodynamischen Kreisprozess energetisch optimal um. Die Füllmenge des „eChillers“ beträgt weniger als 50 l und die Befüllung ist nur einmal erforderlich. Mit rund 40 kW Kälteleistung lässt sich so der Kühlungsbedarf von Rechenzentren, in der Chemie- und Pharmaindustrie, in der Lebensmittelproduktion und -lagerung sowie in der Gebäudeklimatisierung ökonomisch und ökologisch decken.

Anlass der Umstellung auf natürliche Kältemittel

Der „eChiller“ ist eine kompakte Kompressionskältemaschine, die 50 % Strom gegenüber konventionellen Geräten einsparen kann und bei der ausschließlich umweltfreundliches Wasser (R-718) als Kältemittel zum Einsatz kommt, das als solches nicht von gesetzlichen Umwelt- und Sicherheitsvorschriften betroffen ist.

*Coefficient of Performance

Technische Daten der Anlage

Strombedarf:	Bei einer über das Jahr gemittelten Kälteleistungszahl von über 25, sind im Durchschnitt pro Jahr 1,8 kW elektrische Antriebsleistung erforderlich.
COP*	
Sommer/Winter:	5 bis 75
Kosten:	Durch die hohe Energieeffizienz sowie die Verwendung von Wasser als Kältemittel ergeben sich deutlich geringere Betriebskosten als bei herkömmlichen Geräten. Die Amortisation beträgt etwa drei Jahre.
Herausforderungen:	Die Anlage kann aufgrund der Verwendung von Wasser als Kältemittel keine Temperaturen unter 0 °C zur Verfügung stellen und ist ausschließlich zur frostfreien Aufstellung konzipiert.

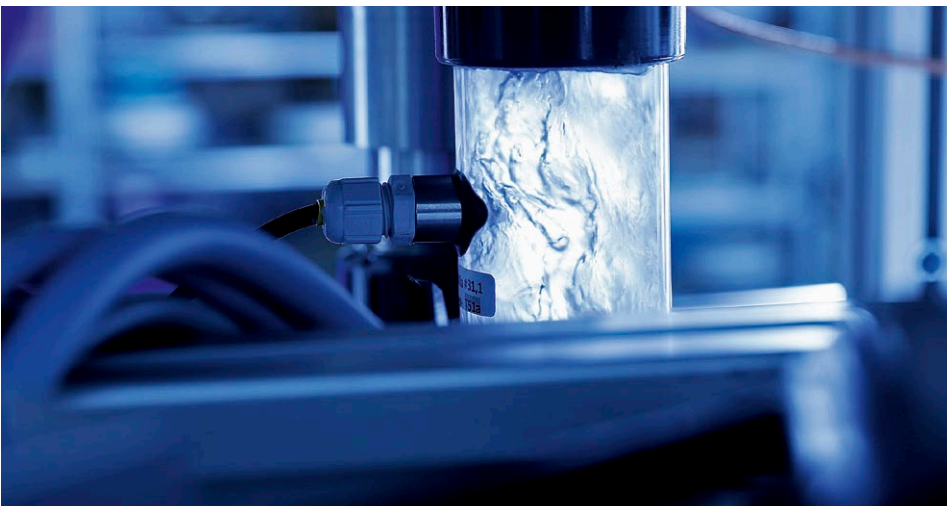


Besonderheiten der Anlage

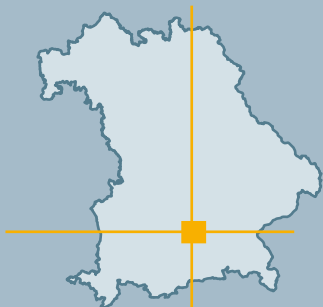
Die Realisierung des Konzeptes stellt eine energetisch vorteilhafte Umsetzung des thermodynamischen Kreisprozesses dar.

Die Herausforderung ist dabei, dass Wasser im relevanten Temperaturbereich einen niedrigen Sättigungsdruck von wenigen mbar hat. Daraus ergibt sich eine geringe Dichte und somit ein großes Volumen der dampfförmigen Phase, was bei der konstruktiven Ausführung der Anlagenkomponenten berücksichtigt werden muss. Daher mussten für den „eChiller“ alle Anlagenkomponenten neu entwickelt und in das Kältemodul „eTin“ integriert werden. Im „eChiller“ werden mehrere „eTins“ intelligent verschaltet und machen so unterschiedliche Betriebszustände möglich. So erlaubt es der modulare Aufbau durch eine parallele und serielle Kombination von „eTins“ in Abhängigkeit der Wärmelast und der Außentemperatur nur die Anlagenteile zu betreiben, die notwendig sind, um die jeweils geforderte Kälteleistung bzw. den Temperaturhub von Wärmequelle zu Wärmesenke zu erzeugen. Die Übergänge sind dabei fließend und reichen vom zwei-stufigen Vollastbetrieb bis zum reinen Freikühlbetrieb. Doch anders als bei herkömmlichen Kältesystemen mit „Free Cooling“ setzt die interne passive Kühlung des „eChillers“ bereits bei höheren Außentemperaturen als die Kaltwassereintrittstemperatur ein.

Der „eChiller“ der Efficient Energy GmbH



Lidl – „Einsatz von natürlichem Propan als Kältemittel auch bei hohen Außentemperaturen“



Fakten zur Anlage

Standort:	Lidl-Filiale, Dachauer Str. 380, 80993 München
Beteiligte Kältefirma:	AHT Cooling Systems GmbH
Ansprechpartner:	Herr Övünc Cinar, oevuenc.cinar@lidl.com, Lidl Stiftung & Co. KG, Stiftsbergstraße 1, 74167 Neckarsulm
Internet:	www.lidl.com



Anlage – Nutzung, Kälteleistung, Kältemittel, Füllmenge

Bei neuen Kälteanlagen des Unternehmens liegt der Fokus verstärkt auf dem Einsatz des natürlichen Kältemittels Propan (R-290). Die Firma Lidl und die Firma AHT haben gemeinsam die neue Kühlregaltechnologie „VENTO Semi-Plug-In“ entwickelt, mit der in der Norm EN 60335-2-89 genannte Grenzwert für R-290 von 150 g pro Kreislauf eingehalten wird. Das System kann ohne Probleme auch in wärmeren Klimaregionen eingesetzt werden, in denen andere natürliche Kältemittel energetisch nicht wirtschaftlich zu betreiben wären. Als Beispiel wird hier die erste Generation dieser Propan-Kälteanlage in einer Lidl-Filiale in München beschrieben. Bei dieser Anlage beträgt die Kältemittelmenge je Kältekreislauf noch 700 g. Die durch den Kälteprozess entstehende Abwärme wird über einen umweltfreundlichen außenluftgekühlten Solekreislauf abgeführt, so dass die gesamte benötigte Kältetechnik nur noch auf das einzelne Kühlregal begrenzt ist. Darüber hinaus ist es möglich, über denselben Kreislauf auch weitere Aggregate in der Filiale solegekühlt zu betreiben, wie zum Beispiel Tiefkühl- und Normalkühlaggregate für Kühlräume. Ein weiterer Vorteil dieser Anlagentechnik besteht darin, eine einfache Wärmerückgewinnungstechnologie zu integrieren, mit der die Filialen sehr effizient beheizt werden können.

Technische Daten der Anlage

Strombedarf:	51.000 kWh/a (inkl. Beleuchtung, 2–4 °C mittlere Warenraumtemperatur / 31,25 lfm Kühlregalstrecke / Displayfläche = 1,55 m x 31,25 m = 48,6 m ²)
COP*	
Sommer/Winter:	Bei Außentemperatur 10 °C = 5,5 / 30 °C = 3,2
Kosten:	Wirtschaftliche Vorteile bei Anschaffungs- und Wartungskosten gegenüber herkömmlichen Kälteanlagen mit zentraler Kältetechnik
Herausforderungen:	Die Kältemittelmenge von 700 g Propan (R-290) erschwert bautechnische Freigaben. Mit einer 150 g-Mehrkreislösung sollen diese in Zukunft vereinfacht werden.
Auszeichnungen :	Lidl-Markt Valby in Dänemark: LEED Platin Auszeichnung

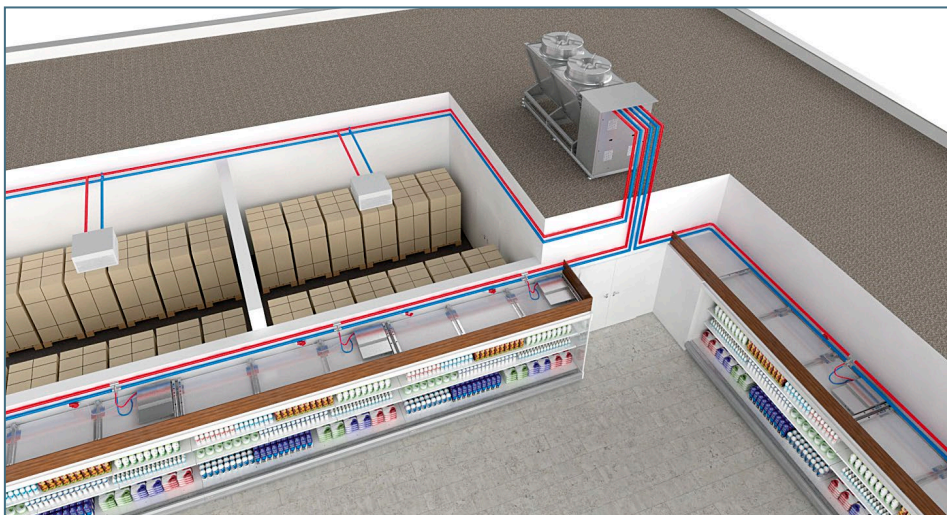
*Coefficient of Performance

Anlass der Umstellung auf natürliche Kältemittel

Der Lebensmitteleinzelhandel ist auf verlässliche und energieeffiziente Kälteanlagen angewiesen. Lidl hat sich daher das Ziel gesetzt, bei der kältetechnischen Ausstattung neuer Filialen und bei der Modernisierung von Bestandsfilialen mittelfristig weltweit ausschließlich natürliche Kältemittel einzusetzen. Ein Grund für die Umstellung auf natürliche Kältemittel war die Lidl-Unternehmensstrategie zum Thema Nachhaltigkeit, die Steigerung der Energieeffizienz und die Reduzierung des CO₂-Ausstoßes (TEWI-Wert).

Besonderheiten der Anlage

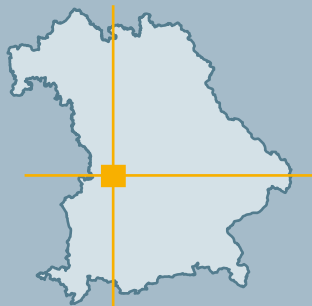
Da der Grenzwert von 150 g pro Kreislauf für Propan überschritten wurde, wurde die Zertifizierung der „VENTO GREEN“-Geräte vom TÜV Nord gesondert durchgeführt. Zudem erfolgte eine Verifizierung durch TÜV-Süd gemäß den Anforderungen der „Druckgeräterichtlinie 97/23/EG“, der „Maschinenrichtlinie 2006/42/EG“ sowie der harmonisierten Norm EN 378-2.



Unten links: Schematische Darstellung
des Supermarkts mit der Kälteanlage
Unten rechts: Die Kälteanlage auf der
Rückseite des Supermarkts



ALDI SÜD – „Energiesparend und klimaneutral kühlen“



Fakten zur Anlage

Standort:	ALDI SÜD Filiale, Erlenweg 5, 86641 Rain/Lech (ALDI SÜD betreibt weitere 500 Filialen mit CO ₂ -Anlagen)
Beteiligte Kältefirma:	Carrier Kältetechnik Deutschland GmbH
Ansprechpartner:	Frau Agnes Schmitter, kaeltetechnik.mg@aldi-sued.de, Technische Beratung: tebeg Würzburg
Internet:	www.aldi-sued.de/kaeltetechnik



Anlage – Nutzung, Kälteleistung, Kältemittel, Füllmenge

Der umweltverträgliche Betrieb der Filialen steht im Fokus des Energiemanagements der Unternehmensgruppe ALDI SÜD. Die Kältetechnik der Gruppe integriert Lösungen für energiesparende Kühlmöbel, klimaverträgliche Kältemittel sowie die permanente Qualitätssicherung der laufenden Kühlsysteme.

Seit 2010 erhalten alle neuen Filialen Kühlregale und Kälteverbundanlagen, die mit dem natürlichen Kältemittel CO₂ (R-744) betrieben werden.

ALDI SÜD betreibt seitdem in über 500 Filialen eine transkritische CO₂-Anlage. Das entspricht 27 % aller Filialen. Zusätzlich werden in den Filialen teilweise auch CO₂-Kaskaden als übergeordnete Stufe einer F-Gas-Anlage eingesetzt. Zudem werden alte Kälteanlagen mit einem Kältemittel mit hohem GWP, wie R-404A, kontinuierlich durch umweltverträgliche und effiziente CO₂-Anlagen ersetzt.

Mit den Lieferanten werden quartalsweise Gespräche zu den Themen Energieverbrauch und Kältemittelverluste durchgeführt. Jede neu in Betrieb genommene Anlage wird darüber hinaus durch einen externen Dienstleister technisch abgenommen.

Die CO₂-Kälteanlage der ALDI SÜD Filiale in Rain am Lech dient hier als Beispiel. Die Anlage hat eine Füllmenge von rund 120 kg und eine Kälteleistung von 48 kW.

Technische Daten der Anlage

Strombedarf:	Die CO ₂ -Anlagen verbrauchen je nach Anlagengröße pro Jahr ca. 55.000 kWh.
COP*	
Sommer/Winter:	Zwischen 1,6 im Sommer und 6 im Winter (ohne Berücksichtigung der rückgewonnenen Nutzwärme)
Kosten:	Die Investitionskosten liegen leicht über denen von F-Gas-Anlagen, die Wartungskosten sind annähernd gleich. Ein Vorteil gegenüber F-Gas-Anlagen ist allerdings, dass die Kosten für das Kältemittel R-744 vergleichsweise gering sind.
Herausforderungen:	Fachpersonal für und Anbieter von transkritischen CO ₂ -Anlagen sind schwerer verfügbar. Durch die innovative Technik ist man auf besonders innovative Anbieter angewiesen.

*Coefficient of Performance

Anlass der Umstellung auf natürliche Kältemittel

Bereits seit 2006 setzt die Unternehmensgruppe ALDI SÜD verstärkt auf den Einsatz des alternativen und natürlichen Kältemittels CO₂ und hat in mehreren Pilotprojekten die technische und ökonomische Effizienz der Anlagen getestet. Im Mittelpunkt standen neben der Steigerung der Energieeffizienz auch die Optimierung der betrieblichen Energie- und Servicekosten.

So konnte ALDI SÜD in den vergangenen Jahren durch Investition in moderne und umweltverträgliche Kühltruhen den Energieverbrauch gegenüber herkömmlichen analog geregelten Systemen um bis zu 50 % reduzieren.

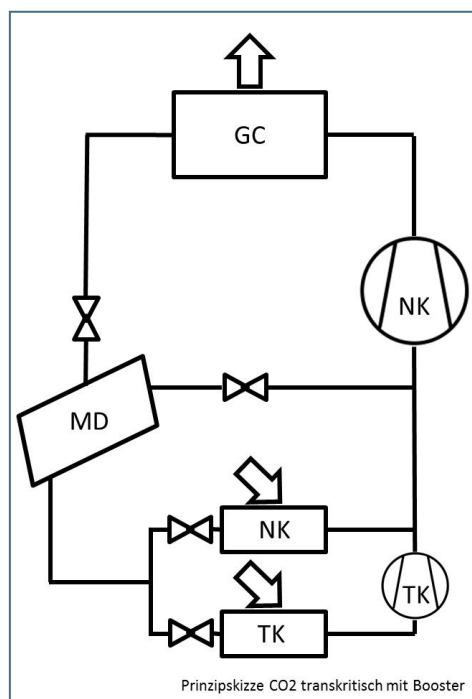
Schon heute werden vier von fünf Truhen bei ALDI SÜD mit dem natürlichen Kältemittel Propan (R-290) betrieben. Das Unternehmen hat sich das Ziel gesetzt, bis zum Ende des Jahres 2015 die restlichen Truhen mit F-Gas-haltigen Kältemitteln durch propanbetriebene Truhen zu ersetzen.

Besonderheiten der Anlage

Die transkritischen CO₂-Anlagen bei ALDI SÜD sind mit einem „TK-Booster-System“ zur Versorgung der Tiefkühlstellen ausgestattet. In Rain besteht die Anlage aus drei Verdichtern für die Normalkühlung, wobei einer davon mittels Frequenzumformer drehzahlregelt ist. Der Tiefkühlverdichter wird in einer weiteren Stufe effizient betrieben, in dem er seine Abwärme in den Kreislauf der Normalkühlung abführt. Dies nennt man „Booster-System“. Zusätzlich wird durch eine lastabhängige Optimierung der Verdampfungstemperatur aller Kühlstellen ein effizienter Betrieb sichergestellt. Alle Gaskühler werden mit energieeffizienten EC-Ventilatoren ausgestattet und sind somit stufenlos drehzahlregelbar. Transkritische CO₂-Anlagen können systembedingt auch bei hohen Außentemperaturen sicher betrieben werden.

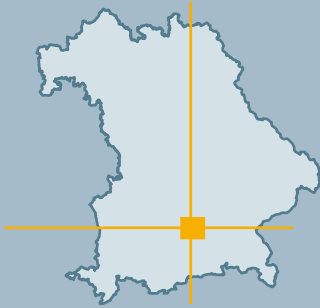


ALDI SÜD kennzeichnet die Kühltruhen und Regale, die mit natürlichen Kältemitteln betrieben werden, mit dem Logo „Nachhaltige Kühlung“.



Links: Prinzipskizze der CO₂-Anlage
Unten: Schaltschrank (Mitte) mit den Verdichtern (rechts)

Kaiser's Tengelmann – „Eine effektive Kombination: CO₂ und Grundwasser“



Fakten zur Anlage

Standort:	Kaiser's Tengelmann-Filiale, Tisin-/ Hubertusstr. 1a, 82041 Oberhaching
Beteiligte Kältefirma:	Erwin Merk GmbH
Ansprechpartner:	bjawoscheck@ktmh.de
Internet:	www.kaisers.de/unternehmen



Anlage – Nutzung, Kälteleistung, Kältemittel, Füllmenge

Die Kälteanlage in der Kaisers's Tengelmann-Filiale in Oberhaching bei München wird mit dem natürlichen Kältemittel CO₂ (R-744) betrieben und nutzt zusätzlich Grundwasser als Gaskühler. Der Supermarkt wird über einen CO₂-Kreislauf zentral mit Kälte versorgt. Die CO₂-Anlage mit einer Füllmenge von 120 kg hat eine Kälteleistung von 50 kW und kühlt 27 Regale und 12 Gefriertruhen in der Filiale. Das System kann durch die Kühlung mit Grundwasser, das mit einer Temperatur von etwa zehn bis elf °C aus 18 Meter Tiefe hochgepumpt wird, entlastet werden, zum Beispiel wenn im Sommer der kritische Punkt von CO₂ (31 °C) erreicht wird. Durch die Nutzung des kühlen Grundwassers müssen nicht alle Kompressoren ganzjährig betrieben werden, um die gewünschten Temperaturen im Supermarkt zu erreichen.



Technische Daten der Anlage

Strombedarf: ca. 80.000 kWh pro Jahr

COP*

Sommer/Winter: 2,24 (Sommer und Winter)

Kosten: Die Anlage war rund 20 % teurer als eine herkömmliche F-Gas-Anlage mit R-404A. Die Wartungskosten bei dieser Anlage sind vergleichbar mit denen einer F-Gas-Anlage: Der Arbeitsaufwand ist zwar geringer, dafür sind derzeit die einzelnen Komponenten teurer als die Ersatzteile für F-Gas-Anlagen.

Herausforderungen: Die hohe Drucklage stellte anfangs eine Herausforderung dar.

*Coefficient of Performance

Anlass der Umstellung auf natürliche Kältemittel

Kaiser's Tengelmann achtet auf den sparsamen Umgang mit Ressourcen und möchte so einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz leisten. Auf dem Gebiet der klimafreundlichen Kühlung ist das Unternehmen seit 2009 tätig. In Deutschland wurden insgesamt 77 Filialen mit Kälteanlagen auf natürliche Kältemittel umgestellt. Alle Kühlregale und Kühltruhen der neuen Filialen sind außerdem mit Türen ausgestattet, um Kälteverluste aus offenen Truhen und Regalen zu vermeiden. Um die Energieeffizienz der Filialen zu optimieren, wird die Kälteerzeugung zudem mit Wärmerückgewinnung verbunden.

Besonderheiten der Anlage

- Der Energieverbrauch ist durch die Echtzeit-Anzeige der angeschlossenen Kühl- und Gefriertruhen immer ablesbar. Schwankungen und Fehlermeldungen können daher bei Bedarf umgehend der Wartungsfirma gemeldet werden. Probleme können oft ferngesteuert identifiziert und gelöst werden: Wenn zum Beispiel die Kühl- oder Tiefkühlraumtür offen gelassen wurde, erkennt die Wartungsfirma dies anhand der Fehlermeldung und kann die Information sofort an den Filialleiter weitergeben.
- Die hocheffiziente Regelungstechnik ermöglicht es, den Sollwert der Temperatur an der Kühlstelle annähernd exakt zu halten. Sie optimiert zudem die Energieeffizienz der Anlage. Zusätzliche Regel- und Sicherheitseinrichtungen dienen der Stabilität der Kälteanlage und ermöglichen so eine störungsfreie Funktionsweise.
- Die Wärmerückgewinnung wird für Warmwasserzubereitung und Heizung in der Filiale genutzt. Dafür wurde ein Rohrbündelwärmetauscher montiert und kältetechnisch primärseitig verrohrt. Der Wärmetauscher wird im Heizbetrieb sekundärseitig durchströmt. Wenn die Abwärme der Kälteanlage für den Heizbetrieb der Filiale nicht ausreicht, wird eine zusätzliche Wärmepumpe zugeschaltet.

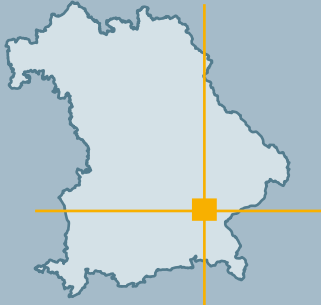


Links oben: Die Fließrichtung des Kältemittels (R-744) ist auf den Rohren markiert.

Rechts oben: Der Technikraum im Supermarkt

Unten: Die Verdichter der Kälteanlage bei Tengelmann

Edeka Lechertshuber & Wimmer – „Natürliche Kühlung für frische Lebensmittel“



Fakten zur Anlage

Standort:	Edeka-Filiale Lechertshuber & Wimmer, Oderstraße 5, 84453 Mühldorf am Inn
Beteiligte Kältefirma:	Fa. Staudinger Elektro- und Kältetechnik, R. Schiessl GmbH
Ansprechpartner:	Herr Josef Wimmer, josef.wimmer@lechertshuber-wimmer.de, Herr Bernhard Staudinger, bernhard@team-staudinger.de
Internet:	www.lebensmittelprofis.eu



Anlage – Nutzung, Kälteleistung, Kältemittel, Füllmenge

Aus Gründen des Umweltschutzes und der Zukunftssicherheit hat sich CO₂ (R-744) als Standardkältemittel bei Neuanlagen für Edeka etabliert. Die Kälteanlage die hier als Beispiel dient, ist für eine Edeka Lechertshuber & Wimmer-Filiale in einem Bestandsgebäude in Mühldorf am Inn geplant worden und seit 2014 in Betrieb. Die Anlage ist eine transkritische CO₂-Anlage für Tief- und Normalkühlung und wird als Boosteranlage ausgeführt. Die Kälteleistung beträgt 68 kW im Pluskühlbereich und 17 kW im Tiefkühlbereich. Die Füllmenge der Anlage beträgt rund 220 kg R-744.



Anlass der Umstellung auf natürliche Kältemittel

Die Lechertshuber und Wimmer GmbH betreibt 16 Edeka-Filialen in Oberbayern und setzt auf energieeffiziente und umweltfreundliche Technologien im Bereich der Kältetechnik. Neben der Frische und Qualität der Lebensmittel achtet das Unternehmen sehr auf den Energieverbrauch. Neue Filialen werden mit Kältetechnologien auf der Basis von CO₂ ausgestattet. Die Kälteanlagen der älteren Filialen werden nach und nach umgerüstet. Bei der Beleuchtung der Kühltruhen und -regale und in den Märkten entschied sich die Firma zum Beispiel ausschließlich für LED-Technik und konnte so die Energiekosten noch weiter senken.

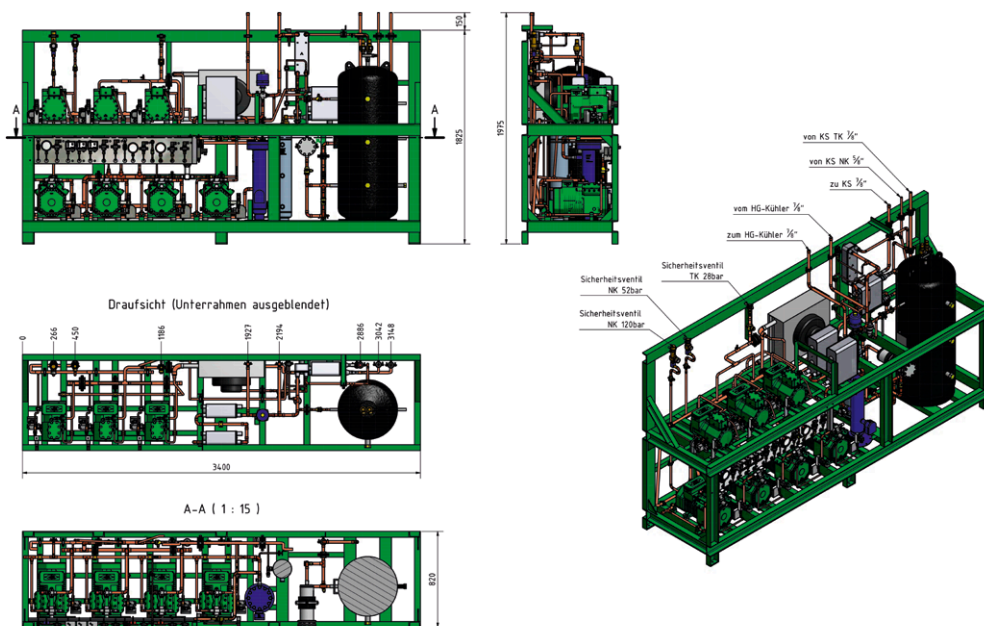
Technische Daten der Anlage

Strombedarf:	ca. 262.000 kWh im ersten Betriebsjahr
COP*	
Sommer/Winter:	COP der Verbundanlage 3,89 im ersten Betriebsjahr
Kosten:	Die Rohrleitungskosten sind geringer ausgefallen. Die Kältemittelkosten bei Leckagen sind im Vergleich zu F-Gas-haltigen Kältemitteln wesentlich geringer. Zusätzlich entfällt bei CO ₂ -Anlagen die kosten- und zeitaufwendige Kältemittelentsorgung.
Herausforderungen:	Bei den ersten sub- und transkritischen Anlagen waren einige Komponenten relativ teuer und nicht kurzfristig lieferbar. Einige Komponenten benötigen eine Freigabe des TÜV vor Ort. Inzwischen sind die Komponenten lieferbar und die Regelungstechnik ist ausgereifter.

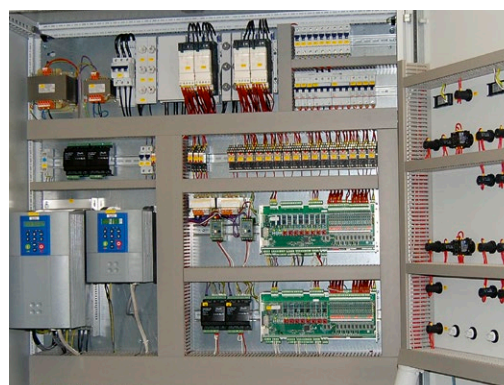
*Coefficient of Performance

Besonderheiten der Anlage

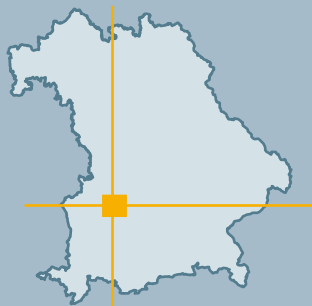
- Die transkritische CO₂-Anlage ist so konzipiert, dass sie möglichst wenig Strom verbraucht. Dafür sind folgende Maßnahmen umgesetzt worden:
 - Die Führungsverdichter wurden jeweils mit Frequenzumrichter ausgestattet.
 - Das Flashgas wird mit einem Parallelverdichter auf dem Druckniveau des Sammlers abgesaugt.
 - Die Verdampfer sind mit elektronischen Einspritzventilen und EC-Motoren ausgestattet. Auch der Heißgaskühler bzw. Verflüssiger ist mit EC-Motoren ausgestattet.
- Durch die Wärmerückgewinnung wird zusätzlich viel Energie gespart und der Kältekreislauf optimiert. Zwei Wärmetauscher wurden für zwei unterschiedliche Temperaturniveaus eingebaut. Die rückgewonnene Wärme wird über eine Lüftungsanlage für die Gebäudebeheizung genutzt.
- Ein zentraler Schaltschrank mit Reglern und Fernwartungssoftware regelt und überwacht die gesamte Anlage. Hierdurch kann jede technische Störung auf einen Blick erkannt und behoben werden. Zusätzlich wird jede Störung im Betrieb dem Kälteanlagentechniker per SMS mitgeteilt. So können Probleme in der Kälteversorgung schnell gelöst werden.



Links: Grafische Darstellung der Kälteanlage
Unten: Verdichter (links), zentraler Schaltschrank (Mitte) und Gerüst, an dem die Verflüssiger montiert sind (rechts)



Brauerei Rapp – „Frisches Bier braucht gute Kälte“



Fakten zur Anlage

Standort:	Brauerei Rapp KG, Augsburg Str. 14, 86500 Kutzenhausen
Beteiligte Kältefirma:	ska GmbH
Ansprechpartner:	Herr Rupert Rapp, rupert.rapp@brauerei-rapp.de
Internet:	www.brauerei-rapp.de



Die Brauerei Rapp liegt in einem Landschaftsschutzgebiet in Kutzenhausen im Landkreis Augsburg.

Anlage – Nutzung, Kälteleistung, Kältemittel, Füllmenge

Die Brauerei produziert verschiedene Biere, Säfte und Erfrischungsgetränke an ihrem Standort in Kutzenhausen im Landkreis Augsburg. Für die Prozesskühlung sowie für die Reifung des Bieres ist eine verlässliche Kältetechnik ausschlaggebend. Für die Kälteversorgung der Brauerei wird eine Ammoniakanlage (R-717) mit einer Kälteleistung von 1.000 kW und einer Füllmenge von 1.600 kg genutzt. Die Anlage verfügt über Luftkühler mit Direktverdampfung und mit einem Glykolkreislauf mit Antifrogen L (Propylenglycol) als Kälteüberträger.

Anlass der Umstellung auf natürliche Kältemittel

Die neue Anlage wurde 2012 in Betrieb genommen und ersetzt vier kleinere R-22-Kälteanlagen. Diese waren energetisch nicht effizient und hatten bereits ein Alter zwischen 20 und 35 Jahren erreicht. Zudem waren aufgrund des Produktionsverbotes von R-22 der Betrieb und die Instandhaltung dieser Kälteanlagen nicht mehr gesichert. Ausschlaggebend für die Wahl des Kältemittels Ammoniak (NH₃) war seine Umweltfreundlichkeit sowie die Energieeffizienz der neuen Anlage.

Technische Daten der Anlage

Strombedarf:	916.500 kWh im Jahr 2014
COP*	
Sommer/Winter:	4,0 im Jahresmittel für die gesamte Anlage
Kosten:	Investitionskosten ca. 1.000.000 Euro, Betriebskosten ca. 150.000 Euro pro Jahr

Herausforderungen: Lange Umbauzeiten: Der Umbau dauerte rund acht Monate, da er parallel zum Betrieb erfolgte und zudem die Umstellung einer Kühlstelle jeweils erst nach Fertigstellung der vorhergehenden vorgenommen werden konnte.
Die Brauerei wählte freiwillig Rohrleitungen aus Edelstahl. Dadurch sind etwas höhere Kosten entstanden.

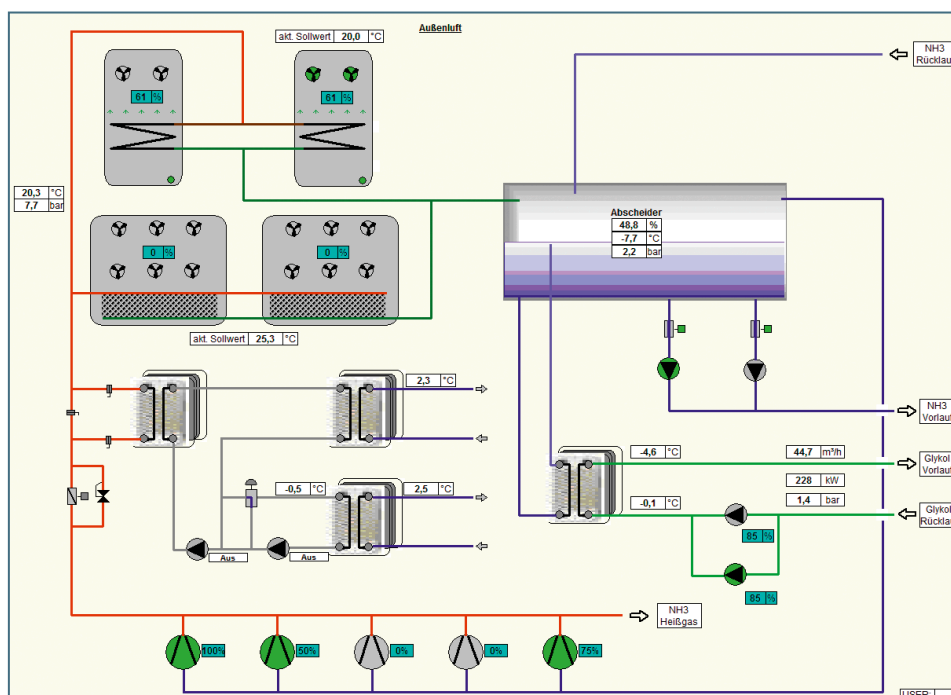
*Coefficient of Performance

Besonderheiten der Anlage

- Verdunstungskondensatoren statt luftgekühlte Verflüssiger: Die Brauerei hat Verdunstungskondensatoren eingesetzt, um die Effizienz der Neuanlage durch eine niedrigere Kondensationstemperatur zu steigern.
- Umbau zu einer zentralen Kälteversorgung mit effizientem Teillastbetrieb: Die fünf Verdichter haben die Leistungsstufen 50, 75 und 100 %, so dass die Kälteleistung im Verbund in 50-kW-Schritten regelbar ist. Diese Leistungsstufen stellen ein effektives Teillastverhalten sicher. Die Verdichter schalten sich nach Bedarf alternierend zu, so dass die Maschine mit der geringsten Zahl an Betriebsstunden über eine Lastwechselschaltung stets zuerst arbeitet. Im Winter ist teilweise eine Maschine zur Bereitstellung der Kälte ausreichend, während im Sommer bis zu vier Kompressoren gleichzeitig laufen.
- Frequenzumformer bei den Verdunstungskondensatoren: Durch den Betrieb der Ventilatoren der Verdunstungskondensatoren über Frequenzumformer wird die Kondensationstemperatur auf den jeweils optimalen Wert geregelt. Durch das Verdunstungsprinzip kann so die Kondensationstemperatur im Sommerbetrieb um durchschnittlich 10 °C gegenüber der Altanlage gesenkt und damit ein wirtschaftlicher Betrieb der Kälteanlage sichergestellt werden.
- Wärmerückgewinnung von 25 % der Kondensationswärme: Die Abwärme von der Hochdruckseite der Verdichter wird für verschiedene Prozesse wie zum Beispiel Abtauen der Luftkühler oder Anwärmung des Lkw-Waschwassers genutzt.
- Fast 50 % CO₂-Einsparung durch die neue Technik: Die neue Anlage stößt innerhalb von 15 Jahren rund 15.800 t CO₂-Äquivalent aus. Bei der alten Anlage betrug der Ausstoß 30.000 t CO₂-Äquivalent im gleichen Zeitraum.



Oben: Rohre mit Markierungen für die Fließrichtung des Kältemittels
Mitte: Verdichter der Kälteanlage
Unten: Blick in eine der Lagerhallen der Brauerei



Schematische Darstellung der Kälteanlage in der Brauerei Rapp

Ausgewählte fluorierte und nicht-fluorierte Kältemittel mit ihren GWP- und ODP-Werten

Kategorie	Kältemitteln	GWP*	ODP**
FCKW (Fluorchlorkohlenwasserstoffe; chlorhaltig)	R-12	10900	1
HFCKW (teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe; chlorhaltig)	R-22	1810	0,005
	R-401A	1182	0,033
	R-401B	1288	0,036
	R-402A	2788	0,019
	R-402B	2416	0,030
	R-408A	3152	0,024
	R-409A	1909	0,046
FKW/HFKW (vollständig oder teilfluorierte Kohlenwasserstoffe; chlorfrei)	R-23	14800	0
	R-32	675	0
	R-134a	1430	0
	R-125	3500	0
	R-143a	4470	0
	R-404A	3920	0
	R-407A	2110	0
	R-507	3990	0

Kategorie	Kältemitteln	GWP*	ODP**
Natürliche Kältemittel	R-170 (Ethan)	3	0
	R-290 (Propan)	3	0
	R-717 (Ammoniak)	0	0
	R-718 (Wasser)	< 1	0
	R-744 (Kohlendioxid)	1	0
	R-600 (Butan)	4	0
	R-600a (Isobutan)	3	0
	R-601 (Pentan)	5	0
	R-601a (Isopentan)	5	0
	R-610 (Ethoxyethan)	4	0
	R-611 (Methylformiat)	25	0
	R-1150 (Ethylen)	4	0
	R-1270 (Propylen)	3	0
	R-723 (DME/NH ₃)	8	0
HFO (teilhalogenierte Fluor-Olefine)	HFO-1234yf	4	0
	HFO-1234z	6	0

* GWP: Global Warming Potential – Werte über einen Zeithorizont von 100 Jahren, aus IPCC IV (2007)

** ODP: Ozone Depletion Potential (Ozonabbaupotential eines Stoffes)

Weiterführende Informationen

Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen:

unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php

Montrealer Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen:

ozone.unep.org/en/treaties-and-decisions/montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer

Wissenschaftliche Berichte über den Klimawandel und Prognosen der Erderwärmung in verschiedenen Regionen der Welt:

ipcc.ch/index.htm

GWP-Werte der Kältemittel, ermittelt vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC):

www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html

Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluoridierte Treibhausgase:

publications.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/530b03fb-dff1-11e3-8cd4-01aa75ed71a1/language-de/format-PDFA1A/source-4454683

Informationen der EU-Kommission zu klimafreundlichen Alternativen zu fluoridierten Treibhausgasen:

ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/alternatives/index_en.htm

Informationen des Umweltbundesamtes zur EU-Verordnung über fluoridierte Treibhausgase:

www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/fluorierte-treibhausgase-fckw/rechtliche-regelungen/eu-verordnung-ueber-fluorierte-treibhausgase

Verordnung zum Schutz des Klimas vor Veränderungen durch den Eintrag bestimmter fluoridierter Treibhausgase (Chemikalien-Klimaschutzverordnung):

www.gesetze-im-internet.de/chemklimaschutzv/BJNR113900008.html

Netzwerk der GIZ Proklima für Interessierte, die auf natürliche Kältemittel umsteigen möchten:

www.green-cooling-initiative.org/ , www.giz.de/fachexpertise/html/3372.html

Bildnachweis

ALDI SÜD: S. 30, S. 31

Robert Baust, Fa. Schiessl: S. 20; S. 21

Bayerisches Landesamt für Umwelt: Titelbild, S. 6; S. 10; S. 11; S. 12; S. 13; S. 14 o. l., u. l., u. r.; S. 16; S. 17; S. 19; S. 32; S. 33; S. 34; S. 35 u.; S. 36; S. 37 o. l., M. l., u. l.

ccvision.de: S. 9

Dandl GmbH, Projektmanagement: S. 25 u. M.

Efficient Energy GmbH: S. 26; S. 27

Firma Staudinger: S. 35 M.

Fotolia:

© RonFullHD – Fotolia.com: S. 7 o. r.;

© spatesphoto – Fotolia.com: S. 8

Friess GmbH: S. 22, S. 23

By Fabian Grunder (Own work) CC-BY-SA-3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>), via Wikimedia Commons: S. 7 u. l.

By Dr. Karl-Heinz Hochhaus (Own work) [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>) or CC BY 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>)], via Wikimedia Commons: S. 7 u. M.

Yves Krier, München: S. 28; S. 29

Roche: S. 24; S. 25

Brauerei Rapp: S. 37 u. M.

By Reinraum (Own work) [Public domain], via Wikimedia Commons: S. 7 u. r.

By Tudokin (Own work) [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)], via Wikimedia Commons: S. 15

