

Die Kühlkette „Fisch“ – eine ökologische Terrainsondierung*

Christoph Meurer, Hannover, und Winfried Schwarz, Frankfurt

Worum es in diesem Beitrag geht

Die im Kyoto Protokoll vereinbarte Verminderung anthropogener Treibhausgase hat insbesondere in Europa eine politische Debatte bzgl. der Nachhaltigkeit von HFKW-Kältemitteln angestoßen. Kritische Bewertungen von HFKW-Kältemitteln ergeben sich dabei häufig deshalb, weil ausschließlich die Klimarelevanz von direkten HFKW-Emissionen betrachtet wird – teilweise wird sogar nur mit den theoretischen Treibhauspotentialen solcher Stoffe argumentiert. Solche Sichtweisen verkennen, was Klimaschutz letztlich bewirken soll, nämlich eine Reduktion der gesamten Treibhauswirkung eines Produktsystems über seinen Lebensweg. Für Kälteanlagen bedeutet dies:

- Optimierung der Energieeffizienz zur Reduktion der (indirekten) treibhausrelevanten CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung
- Minimierung der (direkten) Emissionen ggf. eingesetzter klimarelevanter Kältemittel

Die vorliegende Arbeit stellt für unterschiedliche Kältetechnik-Einsatzsegmente der Kühlkette Fisch (Fang bis Endverbraucher) eine erste „Terrainsondierung“ dar. Zunächst werden die jeweils markt gängigen Technologien und ihre jeweilige Marktbedeutung in den einzelnen Segmenten ermittelt und die technischen Abläufe sowie die Auswahlkriterien für die eingesetzte Kältetechnik dargestellt. Wo alternative Technologien im Wettbewerb zueinander stehen, werden diese gegenübergestellt. In allen Bereichen werden Basisdaten zur Bewertung der Umweltparameter Energieverbrauch und Treibhauswirkung (einschließlich möglicher klimarelevanter Kältemittelmmissionen) erfaßt. Des Weiteren werden in einer Dominanzanalyse die Umweltbelastungen der einzelnen Segmente gegenübergestellt.

* Als Vortrag gehalten anlässlich der Deutschen Kälte-Klima-Tagung des DKV am 22. 11. 2002 in Magdeburg

Zur Einführung in das Thema

Vor dem Hintergrund der oben erwähnten Debatte zur Nachhaltigkeit bestimmter Technologien zur Kälteerzeugung sollen im Rahmen dieser Arbeit die ökologisch relevanten Emissionen einer bedeutsamen Kühlkette skizziert werden. Tiefkühlfisch hat mit mehr als 10 % der in Deutschland verzehrten Tiefkühlkost einen erheblichen Anteil [1]. Fast zwei Drittel des in Deutschland verzehrten Tiefkühlfishes ist „Alaska Seelachs“, der im Nordpazifik gefangen wird. Die Kühlkette des Alaska-Seelachses ist somit sowohl signifikant bezüglich ihres Anteils am Gesamtmarkt, als auch komplex bezüglich der eingesetzten kältetechnischen Systeme vom Fang bis zum Endverbraucher. Der Begriff Alaska Seelachs steht hierbei stellvertretend für eine Gruppe von Seefischen, die in der o. g. Region gefischt werden.

Motivation und Zielsetzung

Zielsetzung war es, die Glieder der Kühlkette zunächst in bezug auf die verwendete Technologie, den Energieverbrauch und gegebenenfalls treibhausrelevante Kältemittelmmissionen zu erfassen. Die Sammlung präziser Daten zur logistischen Abfolge der einzelnen Kettenglieder ist jedoch nicht als Selbstzweck gedacht, sondern dient dem übergeordneten Ziel einer ökologischen „Lebenszyklus-Optimierung“, einem wissenschaftlichen Ansatz zur Ermittlung des Potentials zur Einsparung von Ressourcen und zur Reduzierung von CO₂- bzw. CO₂-äquivalenter Emissionen. Ziel der Studie ist es nicht, eine komplette Ökobilanz zu erarbeiten, sondern vorbereitende Schritte dafür zu leisten. Ihr Schwerpunkt liegt auf der Energie, die insgesamt und an den einzelnen Stationen des „Lebenswegs“ für das Gefrieren und Kühlen von Fisch aufgewendet wird.

zu den Autoren

Dipl.-Ing. Christoph Meurer, Leiter Anwendungstechnik Kältemittel, Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover



Dr. Winfried Schwarz, Öko-Recherche, Büro für Umweltforschung und -beratung, Frankfurt/Main



Der kältetechnische Energieverbrauch pro Station wird zunächst auf 1 kg Fisch bezogen, so daß am Ende des Weges vom Fang bis zum Verbraucher ein kumulierter Betrag in kWh und in Gramm CO₂ (äquivalenter)-Emissionen pro kg Fisch steht.

Grundsätzlich werden für jedes Glied entlang der Kühlkette Fisch die kältetechnische Anlage sowie das verwendete Kältemittel dokumentiert – gemäß dem gegenwärtigen Stand der Technik. Neben dem Energieverbrauch des Standardfalls wird zusätzlich nach Technologietrends und Optimierungspotentialen gefragt, die die Umweltbelastungen auf dem Lebensweg senken könnten. Technologien umfassen sowohl das kältetechnische Verfahren, als auch das Kältemittel selbst. Auf diese Weise wird aufgezeigt, wo H-FKW-

Kältemittel einen positiven Beitrag zur Umweltentlastung entlang der Kühlkette leisten können.

Für die Datenqualität und für die externe Akzeptanz ist es entscheidend, daß sich das Projektdesign und die Erkenntnisse auf das Expertenwissen möglichst vieler Akteure abstützen, die direkt als Betreiber oder Ausrüster professionell mit einer oder mehreren Stationen der Kühlkette involviert sind. Im Nachhinein erwies sich die Mitwirkung dieser Praxisexperten im Begleitkreis der Studie als der Hauptschlüssel für die Gewinnung von Informationen, die anders nicht zu erhalten gewesen wären. Dabei ist klarzustellen, daß die Praxisexperten nicht nur Daten aus ihren eigenen Betrieben lieferten, sondern auch aus ihren breiten Erfahrungen in der Branche schöpfen konnten.

Überblick über die 12 Glieder der Kühlkette

Die Kühlkette beginnt auf dem Fangschiff im Nordpazifik, auf dem der Fisch nach Fang und Filetierung zunächst in einem Plattenfroster auf mind. -18 °C gefrostet wird (1), um anschließend im Kühlraum des Schiffes (2) in verpackten 22,5-kg-Blocks gelagert zu werden. Kühlraum und Plattenfroster werden von einer zentralen Kälteanlage versorgt. Die Fangschiffe fahren in der Regel unter Russischer Flagge.

Die Fangschiffe landen an großen zentralen Containerhäfen an, wo die Blocks – evtl. mit einer kurzen Zwischenlagerung in einem Kühlhaus vor Ort – in Kühlcontainer (3) umgelagert werden. Zentraler Umschlagsplatz für Fisch aus dem Nordpazifik ist Pusan in Südkorea.

Auf Containerfrachtern wird die Ware durch den Suezkanal nach Mitteleuropa verschifft. Die Frachter transportieren normalerweise eine Mischladung mit Kühl- und Normalcontainern.

Die nächste Station ist die Fischfabrik mit einer zentralen Großkälteanlage, die die Produktion mit Spiralfrostern (5) sowie je ein Roh- (4) und Fertigwarenlager (6) versorgt. Während der Verarbeitung zu Verkaufseinheiten wird der Fisch teilweise oder vollständig (je nach Endprodukt) aufgetaut, um kurze Zeit später wieder auf $< -18\text{ °C}$ gefrostet zu werden.

Aus dem Fertigwarenlager werden die Verkaufseinheiten in Sattelaufliegern (7) in ein Zentrallager des Herstellers (8) transportiert.

Dem Zentrallager folgt ein weiterer Transport (9) in ein Handelslager (10).

Über einen letzten Transport (11) wird die Ware an den Einzelhandel (12) geliefert.

Analyse der einzelnen Glieder der Kühlkette

Fangschiff

Typische Fabrikschiffe im Nordpazifik sind mit ca. 400 kW Kälteleistung, verteilt auf 2-NH₃-Schraubenverdichter, ausgestattet (seewassergekühlt). Wichtigste Abnehmer an Bord, die knapp 90 % der Kälteleistung abrufen, sind horizontale Plattenfroster in denen 24 Stunden am Tag filetierte Fischmasse tiefgefroren wird. Die restliche Kälteleistung ist für den Laderaum.

Laut Herstellerangaben wird eine Kälteleistungszahl von 1,4 bei -38 °C Verdampfungstemperatur (t_v) und $+30\text{ °C}$ Verflüssigungstemperatur (t_c) erreicht. Pumpenleistungen (Kühlwasser und Kältemittel) sind bei diesen Angaben nicht berücksichtigt. Der Strom wird von Dieselgeneratoren an Bord bereitgestellt.

Optional werden in anderen Gewässern R 507/R 404A Anlagen eingesetzt. Für die Flotten im Nordpazifik spielen diese Systeme gemäß Angaben eines Lieferanten jedoch keine Rolle.

Technologische Optimierungspotentiale werden in erster Linie bei der Isolierung der Kühlräume an Bord gesehen. Das übliche Dämmmaterial ist Mineralwolle. Durch den Einsatz von PU-Schaum könnte der Energieverbrauch für den Bereich der Lagerung um 30 % gesenkt werden. Der Einsatz von NH₃/CO₂-Kaskadenkälteanlagen ist in der Erprobung.

Kühlcontainer

Der betrachtete Standard-Kühlcontainer verfügt über eine luftgekühlte R 134a Kälteanlage mit hermetischem Hubkolbenverdichter. Die angegebene Kälteleistungszahl ist 0,9 bei $t_c = 48\text{ °C}$ und $t_o = -28\text{ °C}$, was einem Temperaturhub von 76 K entspricht. Kältemittelverluste werden für das Standardsystem mit jährlich 5 % der Füllmenge beziffert.

Optimierungen konnten unlängst durch den Einsatz von Scrollverdichtern sowie Verbesserungen bei der Regelung erzielt werden. Der Energieverbrauch gegenüber dem oben erwähnten Standardmodell reduziert sich laut Messungen eines Betreibers um 10 %–15 % gegenüber konventionellen Aggregaten. Moderne Systeme verfügen darüber hinaus über eine deutlich verbesserte Dichtheit.

Produktion und Lager

Die Kälteversorgung für die komplette Fischfabrik, die ein Roh- und Fertigwarenlager einschließt, wird von einer zentralen NH₃-Anlage realisiert. Die Kälteleistungszahl wird bei Temperaturbedingungen von $t_o = -43\text{ °C}$ und $t_c = 25\text{ °C}$ betreiberseitig mit ca. 1,4 angegeben. Pumpenleistungen sind hierbei nicht berücksichtigt.

In der Vergangenheit war NH₃-Technologie in diesem Leistungsbereich praktisch konkurrenzlos. In jüngster Zeit wird jedoch in NH₃/CO₂-Kaskadenanlagen eine vielversprechende Alternative gesehen. Tiefkühlhäuser verfügen grundsätzlich über einen „Unterfrierschutz“ mit dem über ein Heizsystem das Einfrieren des Fundamentes verhindert wird. Durch Speisung dieses Heizsystems aus einer Wärmerückgewinnung der Kälteanlage kann eine energetische Optimierung des Gesamtsystems erreicht werden [2]. Dies wird zur Zeit allerdings in Deutschland aus Kostengründen nicht praktiziert.

Die üblicherweise in den Handelslagern installierte Kältetechnik unterscheidet sich nicht grundsätzlich von der in den oben beschriebenen Lagern der Hersteller. Für kleinere Verteillager an sensiblen Standorten werden auch H-FKW-Kältemittel mit vergleichbaren Leistungszahlen eingesetzt [2, 3].

Straßentransport

Das Kälteaggregat ist außen an der Stirnwand des Transportbehälters montiert. An der Innenseite der Stirnwand sind der Verdampfer und sein Ventilator angebracht.

Standardkältemittel in diesem Bereich ist R 404A. Die Kälteanlage verfügt über einen offenen Hubkolbenverdichter, der über einen Dieselmotor angetrieben wird. Bei Temperaturbedingungen von $t_o = -28\text{ °C}$ und $t_c = 43\text{ °C}$ werden Kälteleistungszahlen von etwa 1 angegeben. Transportkälteanlagen sind traditionell anfällig für Leckagen. Ein Wert von 15 % pro Jahr für konventionelle Systeme wurde von Herstellern als realistisch eingeschätzt. Genaue Langzeituntersuchungen sind hier jedoch nicht verfügbar.

Für die Feinverteilung werden auch alternative Antriebskonzepte über den Fahrzeugmotor anstatt einem separaten Dieselmotor angeboten. Fahrzeugmotoren sind deutlich effizienter und schadstoffärmer als die eingesetzten Dieselmotoren. Das Konzept hat jedoch – insbesondere im Bereich des Fernverkehrs – logistische Nachteile, da die Kälteversorgung nur bei laufendem Motor gewährleistet ist.

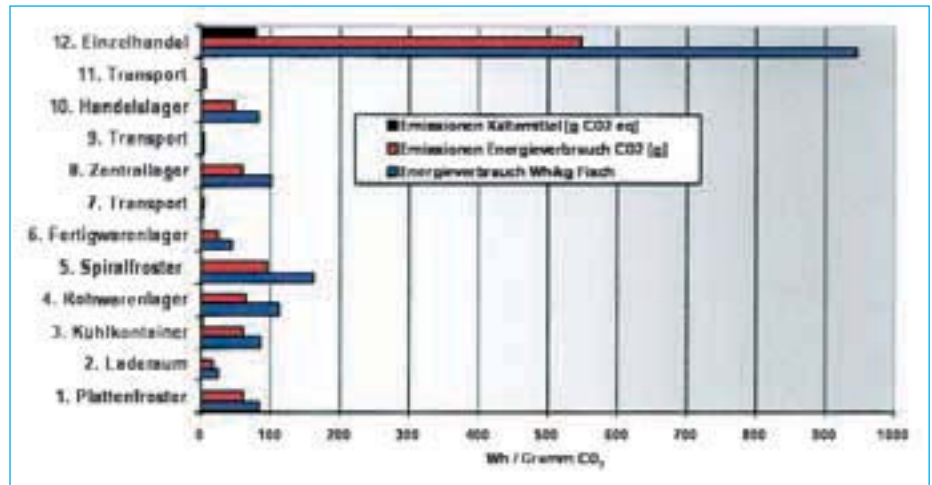


Bild 1 Emissionen und Energieverbrauch für den Standardfall bezogen auf 1 kg Fisch

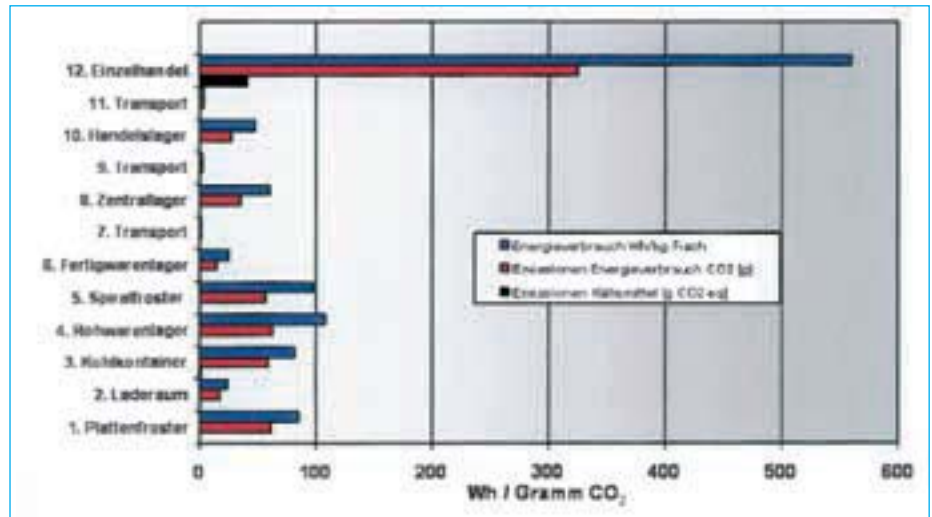


Bild 2 Emissionen und Energieverbrauch für den Standardfall bezogen auf 1 kg Kühlgut (Fisch + Verpackung + Panade)

Neben R 404A wird in geringerem Maße auch R 410A eingesetzt – mit energetischen Vorteilen. Im Bereich der Hermetisierung wird von deutlichen Fortschritten berichtet. So führt eine komplett fabrikgefertigte Einheit, bei der keine Bauteile in den Laderaum ragen, zu deutlichen Verbesserungen. Die Positionierung des Generators in einer Einheit mit dem Kältekreislauf führt zu verstärkten Vibrationen und somit zu Kältemittelverlusten. Eine alternative Anordnung – z. B. im Motorraum – birgt Optimierungspotentiale.

Einzelhandel/Supermarkt

Eine direkt expandierende H-FKW-Anlage mit R 404A oder R 507 stellt den derzeitigen Standard dar. Für die in dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen wird gemäß Herstellerangaben eine Kältelei-

stungszahl von 1,5 bei einer Verdampfungstemperatur von $t_o = -35\text{ °C}$ verwendet. Die mittlere Kondensationstemperatur von $t_c = 30\text{ °C}$ (nicht zu verwechseln mit der Auslegungstemperatur, die üblicherweise bei 40 °C liegt) soll den Einfluß einer schwankenden Außentemperatur über das Jahr, Verdichterschalzeiten oder den Tag-Nachtbetrieb der Anlage berücksichtigen. Die angenommene Leckagerate beträgt 10 % pro Jahr.

Für diesen Bereich können diverse Arbeiten zitiert werden [4–6], die sich mit alternativen Konzepten und ökologischen Bewertungen befassen. Zusammenfassend kann die Aussage getroffen werden, dass indirekte Systeme, die – in einem isolierten Maschinenraum bzw. im Freien aufgestellt – auch mit NH₃ oder Kohlenwasserstoffen als Kältemittel ausgeführt werden können, einen erhöhten Energieaufwand zur Bereitstellung der Kälte verursachen.

Optimierungspotentiale unabhängig vom Kältekreislauf beziehen sich insbesondere auf die Isolierung der TK-Inseln. So ist beispielsweise mit einer Abdeckung durch Glasschiebedeckel auch tagsüber eine 10%ige Reduzierung des Energieverbrauchs laut Herstellerangaben erreichbar.

Besonderes Augenmerk gilt derzeit der Senkung der Kältemittelleckagen. Gemäß [6] werden bei modernen Anlagen Leckraten von 5 % p. a. erreicht. Eine weitere Senkung auf 2 % wird als möglich angesehen.

Ergebnisse

Der in Watt gemessene Energieverbrauch ist ausdrücklich nur auf die Kälteerzeugung für Gefrieren oder Kühlen von Fisch bezogen. So wird vom Fangschiff nur der Energieaufwand für die kältetechnische Einrichtung (Plattenfrost, Laderaum) erfasst, nicht aber der Kraftstoffverbrauch zum Antrieb des Schiffsmotors oder der Fangvorrichtungen.

Zugleich gibt es eine begriffliche Erweiterung: Erfasst wird nicht nur der Energieverbrauch der Verdichter zur Abfuhr der verschiedenen Wärmelasten, sondern darüber hinaus auch der für den Antrieb spezifisch kältetechnischer Zusatzaggregate wie Ventilatoren, Kältemittelpumpen, Abtauheizung, Unterboden-Gefrierschutz etc. Bei den im vorigen Abschnitt zitierten Kälteleistungszahlen ist das teilweise nicht der Fall.

Es gibt aber Grenzfälle, die nicht so einfach liegen. So erzeugt der Gabelstapler im Innern eines Kühlraums Wärme, die den Verdichter fordert und insofern den kältetechnischen Energieverbrauch erhöht. Da der Gabelstapler aber rein logistische Aufgaben hat, ist der Strom zum Aufladen seiner Batterie kein kältetechnischer, sondern eine „logistischer“ Energieverbrauch. Vergleichbares gilt für die Raumbelichtung, die nur durch ihre Abwärme kälteenergetisch relevant wird, nicht durch ihren Betrieb. Glücklicherweise machen solche Grenzfälle zwischen Logistik und Kältetechnik vom gesamten Energieverbrauch nur einen Bruchteil aus, so daß diese Definition hier zwar erwähnt werden muss, aber insgesamt keine großen Fehler erzeugen kann.

Im Rahmen der Informationen, die in erster Linie vom Begleitkreis zu Verfügung gestellt wurden, konnten hinreichend genaue Angaben über den Energieverbrauch und damit über die verursachten Emissionen in den einzelnen Segmenten der Kühlkette gesammelt werden.

Aus Gründen der Vertraulichkeit und um den Umfang des Beitrages im akzeptablen Rahmen zu halten, muß auf eine Darstellung der Rohdaten an dieser Stelle verzichtet werden.

Standardfall

Bild 1 zeigt die berechneten Emissionen und Energieverbräuche bezogen auf 1 kg Fisch vom Fang bis zum Endverbraucher für den im letzten Abschnitt beschriebenen „Standardfall“.

Der Bereich des Einzelhandels hat die höchsten spezifischen Energieverbräuche und CO₂-äquivalenten Emissionen. Zu erwähnen ist jedoch, dass die Leistungszahl der eingesetzten Kältetechnik mindestens vergleichbar, wenn nicht sogar überdurchschnittlich gut ist (Aufgrund der unterschiedlichen Temperaturniveaus

und der Vielfalt der eingesetzten Technologien soll auf eine Gegenüberstellung der Kälteleistungszahlen an dieser Stelle jedoch verzichtet werden). Das Ergebnis relativiert sich darüber hinaus aus den „Sekundärverbrauchern“, wie z. B. den Handlaufheizungen an den TK-Inseln, die in die Berechnungen eingegangen sind. Weiterhin sind ab der Station Fertigwarenlager/Fischfabrik Verpackung und Panade mitzukühlen, was sich für die folgenden Stufen negativ auswirkt, wenn man die Ergebnisse auf 1 kg reinen Fisch bezieht.

Klar ist jedoch, dass nicht ein schlecht ausgelegter Kältekreislauf, sondern vielmehr der Anspruch des „Präsentierens“ und die damit verbundenen thermischen Verluste für den vergleichsweise hohen Beitrag des Bereichs Einzelhandel verantwortlich ist.

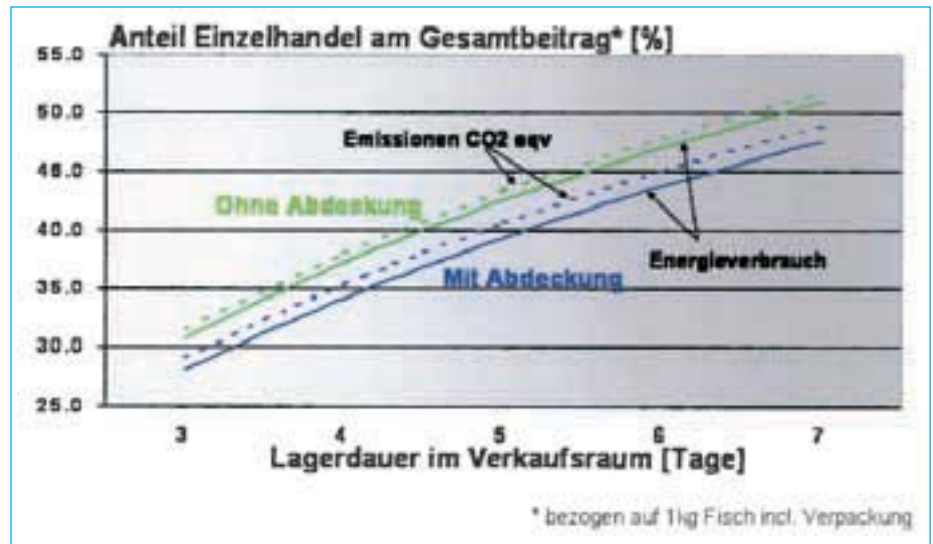


Bild 3 Einfluß von Lagerdauer und Tagabdeckung (Einzelhandel) auf den Beitrag zur Gesamtemission

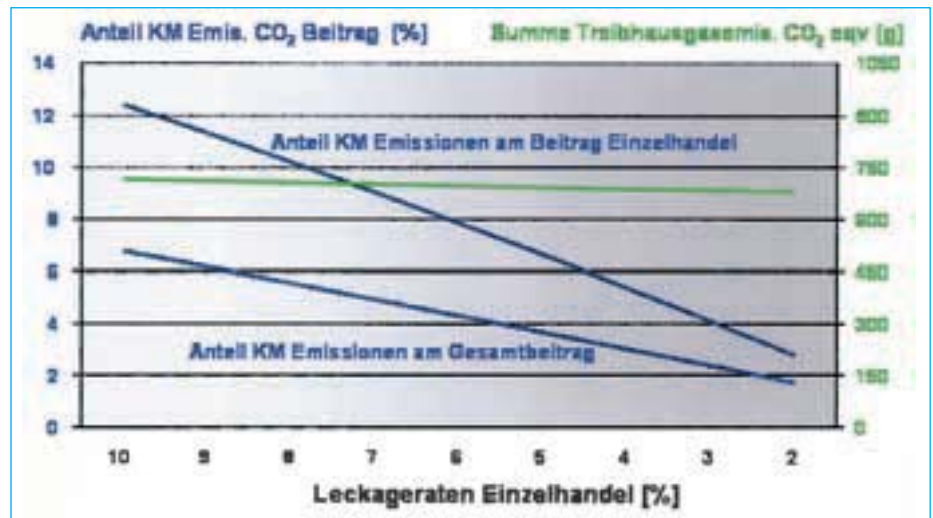


Bild 4 Einfluß variierender Kältemittelleckagen im Einzelhandel auf die Treibhausgasemissionen der Kühlkette

In Bild 2 sind Emissionen und Energieverbrauch bezogen auf 1 kg Kühlgut – also ab Fertigwarenlager auf Fisch inklusive Panade und Verpackung bezogen. Die Beiträge der Glieder 6–12 reduzieren sich hierdurch entsprechend.

Sensitivitätsanalysen

In Bild 3 werden die Lagerdauer im Einzelhandel sowie die Option Tagabdeckung variiert. Bezogen sind die Beiträge auf 1 kg verpackten Fisch (Kühlgut).

Mit der Tagabdeckung der TK-Inseln kann eine 10%ige Einsparung des Energieverbrauches erreicht werden. Reduzierung der Lagerdauer kann zu erheblichen Einsparungen führen. Um den reduzierten Energieverbrauch aus einer reduzierten Lagerdauer nutzbar zu machen, ist die Präsentationsfläche und damit die installierte Kälteleistung entsprechend zu reduzieren, was unter Umständen mit Anforderungen des Verkaufs kollidiert.

Supermarktkälteanlagen verursachen traditionell überdurchschnittlich hohe Kältemittelleckagen. In dem beschriebenen Standardfall wurde von 10 % pro Jahr ausgegangen. Nach neueren Veröffentlichungen [] sind Leckraten von 5 % in modernen Anlagen bereits erreicht. Eine weitere Reduzierung auf 2 % erscheint möglich. Bild 4 variiert die Kältemittelleckagen des Einzelhandels zwischen 10 und 2 % und stellt die daraus resultierenden direkten Beiträge zu den gesamten treibhausrelevanten Emissionen sowie zu denen des Segmentes Einzelhandel dar.

Unumstritten ist die Reduzierung der Kältemittelleckagen ein Potential, was auszuschöpfen ist.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, daß für die einzelnen Glieder der dargestellten Kühlkette jeweils eine etablierte Technologie und auch ein bestimmtes Kältemittel dominiert. Damit soll keineswegs behauptet werden, daß in den beschriebenen Bereichen keine Anstrengungen unternommen werden, Systeme zu optimieren. Neue Verdichtertechnologien und verbesserte Regelkonzepte seien hier nur beispielhaft erwähnt. Dennoch hat sich für jedes der angesprochenen Glieder ein Kältemittel „durchgesetzt“ und zwar in allen Fällen aus plausiblen Gründen und aus dem Ergebnis eines Optimierungsprozesses. Dort, wo große Leistungen in nicht öffentlichen Bereichen installiert werden, dominiert NH_3 -Technologie (NH_3/CO_2 -Kaskaden werden vielfach als vielversprechende Alternative gesehen). Sensible Aufstellungsorte oder kleinere Leistungen werden mit HFKW-Technologie bedient.

Die Kälteleistungszahlen der betrachteten Systeme bewegen sich unabhängig vom Kältemittel in vergleichbaren Größenordnungen. Es sind berechtigte Zweifel angebracht, ob hier noch Quantensprünge zu höheren Energieeffizienzen möglich sind. Betrachtet man jedoch den Energieverbrauch und damit die thermischen Verluste während der Kühlung, ergibt sich ein grundlegend anderes Bild. Beispielhaft sei hier die auf Fangschiffen übliche Isolierung mit Mineralwolle genannt. Die eingangs erwähnte Debatte zur Nachhaltigkeit bestimmter Kältemittelgruppen erscheint vor diesem Hintergrund nicht als entscheidender Aspekt, wenn das Ziel die Reduzierung von Treibhausgasemissionen und damit der Klimaschutz ist.

Vergleicht man die Beiträge der einzelnen Glieder der Kühlkette zu den CO_2 äquivalenten Emissionen, bleibt festzuhalten, daß der Transport eine untergeordnete Rolle spielt. Ein erheblicher Beitrag wird vom letzten Glied der hier betrachteten Kette – dem Verkauf – verursacht. Die Gründe sind allerdings keineswegs in „schlechter“ Kältetechnik zu suchen, sondern erklären sich aus der Tatsache, daß „präsentiert“ bzw. „verkauft“ wird. Dennoch ist das Potential zur Reduzierung von Emissionen in diesem Bereich signifikant. Mögliche Maßnahmen sind Nachtdeckungen, optimierte Glasdeckel, Reduzierung der Lagerdauer und Verbesserung der Dichtheit der Kältekreisläufe, um Kältemittellemissionen zu reduzieren.

Danksagung

Die Autoren danken Frau Katja Schwaab (Umweltbundesamt) und den Herren Josef Huemer (York-Marine), Frank Nachbar (Hapag Lloyd), Lars Reckenhofer (Langnese-Iglo), Guenther Truszkiewicz (VDKL), Dr. Manfred Burke (Frigoblock) und Dr. Reiner Tillner-Roth (BKT) für die kompetente Mitwirkung im Begleitkreis.

Literatur

- [1] Angabe des Deutschen Tiefkühlinstituts, dti
- [2] Ernens, B. G. J.; Weissenborn, P.: „Super-ECO Tiefkühlhaus Stadskanaal“; DIE Kälte & Klimatechnik 10/2002
- [3] Peilnsteiner, J., G. Truszkiewicz (Hrsg.): Handbuch Temperaturgeführte Logistik, Hamburg, 2002.
- [4] Blindauer, C.; van Riesenbeck, G. „Planung und Betriebsverfolgung von Ammoniak/Sole-Anlagen in zwei SB-Warenhäusern, DKV Tagung 1998, Band II.2, Würzburg
- [5] Blindauer, C.; van Riesenbeck, G. „Betriebsverfolgung von Ammoniak/Sole Anlagen in zwei SB Warenhäusern, Teil 2; DKV-Tagung 1999, Band III, Berlin
- [6] Frischknecht, R. „Ökobilanz für Supermarktkälteanlagen in der Schweiz“, KI Luft- und Kältetechnik 4/2000
- [7] Haaf, S.; Heinebokel, B.: „Supermarktkälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln“; DIE KÄLTE & Klimatechnik 9/2002