

Kältemittel in der Kühlkette – ganzheitliche Perspektiven*

Hermann Krähling und Christoph Meurer, Hannover

Worum es in diesem Beitrag geht

Die ausgewogene Berücksichtigung von sozialen, umweltbezogenen und wirtschaftlichen Aspekten ist unter dem Begriff Nachhaltigkeit – spätestens seit dem Weltgipfel in Rio de Janeiro von 1992 – ein Orientierungspunkt für zukünftige Politikgestaltung und gleichzeitig Herausforderung für Unternehmen die Geschäftskonzepte so anzupassen und zu entwickeln, daß langfristig die „Lizenz“ zum Produzieren, Verkaufen und Wachsen erhalten bleibt. IPP (integrierte Produktpolitik), EEE (Leitlinien für die zukünftige Entwicklung von elektrischen und elektronischen Geräten) und auch das 6. Umwelt-Aktions-Programm sind auf europäischer Ebene ausdrücklich auf integrierende Ansätze gerichtet. Die Optimierung vollständiger Produktsysteme über ihren gesamten Lebensweg durch die Zusammenarbeit der Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette wird als Managementkonzept vorgestellt, das sowohl Innovationen durch die effiziente Nutzung von Synergien befördert, als auch eine gute Basis für den Dialog mit Interessensgruppen bilden kann. Halogenierte Fluor-Kohlen-Wasserstoffe (H-FKW) für Hochleistungs-Kältetechnologien werden als ein Beispiel für optimierte Umweltleistungen, Herstellung und Lebenswegkosten dargestellt. Für manche unerwartet, kann der verantwortungsbewußte Einsatz von H-FKW (die beim Emittieren zur globalen Erwärmung beitragen) die Gesamtklimawirkung kältetechnischer Systeme sogar verringern.

Zur Einführung in das Thema:
Wie kommt der Fisch von der Nordsee auf unseren Teller? Kälte-Technologien sind eine Notwendigkeit zur Befriedigung von Grundbedürfnissen. Dieses wird entlang einer Nahrungsmittel-Liefer-Kette deutlich: Kühlgeräte an Bord der Schleppnetzfisher, in Kühlhäusern und Lastwagen, Kühl-Container sowie gekühlte Verkaufsauslagen und schließlich Kühlschränke und Gefriertruhen in unserer Küche sind notwendig, um uns mit gesunder und sicherer Nahrung zu versorgen.

Gleichzeitig ist das Bewußtsein in der Gesellschaft gewachsen, daß Ansätze gefunden werden müssen, die es ermöglichen, unsere Bedürfnisse in einer ökologisch verantwortlichen Weise zu erfüllen. In der Vergangenheit konzentrierten sich Umweltbewertungen häufig auf einzelne Produktionsschritte, die Eigenschaften der verwendeten Stoffe und/oder einzelne Emissionen oder Abfälle – und auf der Grundlage solcher Konzepte wurden wichtige Fortschritte auf dem Gebiet des Umweltschutzes erreicht. Heute wissen wir jedoch, daß solche segmentalen Ansätze zu sub-optimalen Kosten-Nutzen-Verhältnisse führen oder die Umweltleistungen komplexer Produktsysteme sogar verschlechtern können. Aus einer segmentalen Perspektive kann es beispielsweise ratsam erscheinen, den Gebrauch von Material, das mit viel Energie

zu den Autoren

Dr. Hermann Krähling,
Umweltmanagement
Produkte und Märkte,
Solvay Deutschland GmbH,
Hannover



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



produziert werden muß, zu unterlassen. Dagegen kann eine Systemperspektive gerade aufzeigen, daß der Gebrauch solcher Materialien zur Herstellung besonders energieeffizienter Produkte führt. – Insgesamt kann Energie dadurch eingespart werden, daß in einer Lebenswegphase etwas mehr Energie aufgewendet wird.

Tatsächlich ist die zu betrachtende Komplexität viel größer: Aus einem unternehmerischen Blickwinkel ist wichtig, daß Produkte nur dann eine Chance für nachhaltigen Markterfolg haben, wenn sie ein konkurrenzfähiges Eigenschaftsprofil und ein attraktives Kosten-

* Gehalten als Vortrag auf der IIR Konferenz „Zero Leaks – Minimum Charges“ des International Institute's of Refrigeration am 27. 8. 2002 in Stockholm

Leistungs-Verhältnis für jeden wirtschaftlichen Teilnehmer der Produktkette, einschließlich dem Endverbraucher, anbieten und von der Gesellschaft angenommen werden. Aus einem gesellschaftspolitischen Blickwinkel bildet die Balance zwischen sozialen-, ökonomischen und Umweltaspekten die Messlatte für nachhaltige Entwicklungen. Beiden Positionen gemeinsam ist die Notwendigkeit zu integrieren, zu optimieren und auszugleichen: d. h. über verschiedene Interessengebiete und entlang der Produkt-Lebenswege letztendlich den Bezug zu den Anforderungen der Verbraucher sicher zu stellen.

Dieser Beitrag will zuerst kurz aktuelle politische Entwicklungen und die sich daraus ergebenden zukünftigen Rahmenbedingungen für Geschäftstätigkeiten diskutieren. Im zentralen Teil soll der von Solvay Fluor entwickelte und den Marktpartner zur Kooperation angebotene Ansatz für das Gebiet der Kälte- und Klimatechnik zur Diskussion gestellt werden.

Integration – ein Grundprinzip für neue Politik

Der Weltgipfel in Rio de Janeiro von 1992 hat nach der überwiegenden Meinung den Rahmen für die zukünftige Entwicklung neu gesetzt. Die Notwendigkeit für Integration und Ausgleich ist eine der Grundregeln, die einerseits auf die Chancen von gegenwärtigen und zukünftigen Generationen und gleichzeitig auf die gleichzeitige Beachtung von sozialen, ökonomischen und umweltbezogenen Aspekten Anwendung finden soll. Das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung, obwohl von einigen als bloßes Schlagwort kritisiert, gilt seit Rio als Referenz für Politiker, wie durch die Beispiele veranschaulicht werden kann:

- Das 6. Umweltaktionsprogramm der EU fordert die Entwicklung nachhaltiger Produkte und Konsummuster. Es hebt die Notwendigkeit hervor, Umweltaspekte in allen relevanten Politikbereichen und besonders in den Marktmechanismen zu integrieren.
- Das EU-Grünbuch für eine integrierte Produktpolitik betont unter anderem die Notwendigkeit, Produkte entlang des kompletten Lebensweges zu optimieren. Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten – einschließlich der Endverbraucher und Interessengruppen – wird als Schlüsselement zur Förderung nachhaltiger Entwicklungen vorgeschlagen.

- Das sogenannte EEE-Papier der Generaldirektion „Unternehmen“ zum Design elektrischer und elektronischer Güter betont wiederum die Bedeutung des Lebenswegedenkens und die Notwendigkeit, integrierende Ansätze bereits in der Designphase der Produkte zu verfolgen. Zusätzlich umreißt es Ideen, wie man politische Rahmen, internationale Normung, freiwillige Vereinbarungen und die Beteiligung von Interessengruppen nutzen kann, um zu einem neuen Konzept für die Produktzulassung („neuer Ansatz“) im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu kommen.

Trotz der berechtigten Kritik bezüglich einzelner Elemente der zuvor genannten politischen Entwicklungen, sollte die Industrie die Chancen solcher Ansätze erkennen: Das Denken in Produktsystemen bietet deutlich größere Freiheit für Innovationen als traditionelle Detail-Regelungen; Die Integration sozialer, ökonomischer und umweltbezogener Aspekte überwindet die Tendenz, Firmen in „grünen Aktivismus“ zu zwingen, der in den meisten Fällen nicht von den globalen Märkten belohnt wird; die Industrie kann ihre Position als ein Partner der Gesellschaft, der Lösungen für Grundbedürfnisse anbietet, verstärken, anstatt hauptsächlich als das zu steuernde Problem gesehen zu werden.

Lebenszyklus-Optimierung

Die Entwicklung von Kältetechnik orientiert sich schon immer an der Energieeffizienz als einem Schlüsselkriterium zur Reduzierung von Lebenswegkosten. Selbst wenn unbeabsichtigt in der Vergangenheit, leisten diese Ansätze einen positiven Beitrag zum Schonen knapper Ressourcen (z. B. fossiler Brennstoffe) und damit zur Verminderung von (klima-relevanten) Emissionen aus Energieumwandlungsprozessen. **Beide Aspekte sind entscheidend für eine nachhaltige Entwicklung.**

Kältemittel spielen eine Schlüsselrolle beim Erreichen eines optimal energieeffizienten, kältetechnischen Systems – zusätzlich zu ihrem Beitrag für die Sicherheit von Arbeitern und Endverbrauchern. Teilhalogenierte Fluor-Kohlen-Wasserstoffe (H-FKW) beeinflussen nicht die Ozonschicht und gehören zu den leistungsfähigsten Kältemitteln, was die

Senkung des Energieverbrauchs betrifft. Wenn H-FKW emittiert werden, sind sie jedoch klimarelevant. Lebenswegbetrachtungen sind ein geeigneter Ansatz, um zu untersuchen, unter welchen Bedingungen die Verwendung von H-FKW als Kältemittel einen Nettoklimanutzen ergeben. In solchen Fällen werden die Klimaeffekte der unvermeidbaren H-FKW-Emissionen durch die Verringerungen der CO₂-Emissionen auf Grund des geringeren Energieverbrauchs überkompensiert. In Lebensweguntersuchungen können zusätzlich das gesamte Energieeinsparpotenzial, aber auch die Gesamt-Lebenswegkosten analysiert werden. Im Folgenden werden alternative Möglichkeiten von Kühlmöbeln bezüglich Kosten- und Umweltprofilen über ihre kompletten Lebenswege untersucht.

Systeme für Supermarkt-Kälteanlagen

Eine Vielzahl von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten, die auf neue Konzepte für supermarktkältetechnische Einrichtungen gerichtet sind, wurden durch ökonomische und Umweltaspekte ausgelöst. Einerseits liegen die Energiekosten für den Betrieb der Kälteanlage eines Supermarktes üblicherweise in der gleichen Größenordnung, wie der erwirtschaftete Profit [1]. Auf der anderen Seite steht die Forderung der Gesellschaft nach umweltverantwortlichen Produktsystemen. Das Design des kältetechnischen Systems ist aus diesem Grund vom ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkt her eine ausschlaggebende Entscheidung. Unterschiedliche Waren, die in Supermärkten verkauft werden, erfordern verschiedene Lagertemperaturen. Die folgende Liste [1] zeigt die Vielzahl der Kühltemperaturen, die in einem typischen Supermarkt benötigt werden:

Tiefkühlware:	– 29 bis – 18 °C
Speiseeis:	– 26 bis – 22 °C
Fisch und Meeresfrüchte:	– 5 bis – 1 °C
Fleisch und Geflügel:	– 1 bis 3 °C
Frischprodukte:	– 3 bis 8 °C
Obst und Gemüse:	7 bis 10 °C

Eine typische Supermarkt-Kälteanlage wird tiefe und mittlere Temperaturabschnitte zwischen Verdampfungstemperaturen von – 35 °C beziehungsweise – 10 °C bedienen.

Direktverdampfungs-Systeme (DX)

Bei direkt verdampfenden Systemen befindet sich der Verdampfer in den Kühlmöbeln. Verflüssiger können in luftgekühlten Maschinenräumen im Gebäude oder außerhalb des Gebäudes angeordnet sein. Rückgewonnene Wärme vom Verflüssiger kann für Raum- oder Wassererwärmung genutzt werden.

Direktverdampfungs-Systeme sind die weltweit dominierende Technologie für Supermärkte. Verwendete Kältemittel sind H-FCKW (R 22), H-FKW wie R 507 und R 404A und im kleineren Ausmaß R 134a für mittlere Temperaturanwendungen. FCKW wie R 502 werden in Entwicklungsländern noch zu einem nicht unerheblichen Maße verwendet. Direktverdampfungs-Systeme werden immer einen kältemittelführenden Teil innerhalb der Verkaufsfläche haben, die der Öffentlichkeit ständig zugänglich ist. Die höchste Sicherheitsklasse (z. B. L1 nach EN-378 [2]) für das Kältemittel ist aus diesem Grund in der Regel notwendig.

Indirekte Systeme

Indirekte Systeme verfügen über einen Sekundärkreis, der die Wärmeenergie von der Kühltruhenanlage zum Verdampfer transportiert. Kältemittelführende Teile können sich in einem gesicherten Maschinenraum befinden, das bedeutet isoliert von öffentlich zugänglichen Bereichen. Die Kältemittelfüllmenge des Primärsystems kann erheblich verringert werden. Indirekte Systeme werden sowohl mit H-FKW Kältemitteln, als auch mit NH₃ oder Kohlenwasserstoffen betrieben. Maschinenräume mit ausreichenden Sicherheitsinstallationen stellen einen zusätzlichen Kostenfaktor dar. Mehr Beachtung findet in letzter Zeit auch das Verwenden von Sekundärfluiden mit Phasenwechsel (Eis-Brei oder CO₂) [3] für Tieftemperaturanforderungen.

Vergleich direkter und indirekter Systeme

Supermarktkälteanlagen mit direkter Verdampfungs-Technologie waren vormals mit verhältnismäßig hohen Leckraten verbunden. Diese Leckraten waren einer der Hauptgründe für das verstärkte Engagement bei indirekten Systemen. Die Literatur liefert hierzu eine Reihe von Erfahrungsberichten. Häufig wird die Entscheidung für ein indirektes System vom Wunsch geleitet, „natürliche“ Kältemittel

wie Kohlenwasserstoffe oder Ammoniak zu verwenden. Die Sicherheitsklassen dieser Kältemittel erfordern normalerweise einen Maschinenraum für die kältemittelführenden Anlagenteile. Für einen aussagekräftigen Vergleich der zwei Systemarten müssen mehrere Aspekte betrachtet werden. Energieeffizienz und Leckraten, die durch direkte und indirekte Emissionen der Treibhausgase ausgedrückt werden, sind ein wichtiger Faktor, der jedoch durch weitere Faktoren ergänzt werden muss wie Lebenszykluskosten, Installationsplatzbedarf, Ausnutzung der natürlichen Rohstoffe und Sicherheitsaspekte, um eine sinnvolle Systemanalyse in bezug auf Nachhaltigkeit einer bestimmten Technologie zu erstellen.

Energieeffizienz

Indirekte Systeme benötigen ein Sekundärfluid. Eine Wärmeübertragung vom Primär- zum Sekundärkreislauf wird erforderlich. Diese Wärmeübertragung ist mit Energieverlusten verbunden. Der Verlust erhöht sich mit abnehmenden Verdampfungstemperaturen. In der Tat scheint die Anwendung eines indirekten Systems für mittlere Temperaturen und die Beibehaltung eines direkten Systems für Tieftemperaturbereiche die meist verbreitetste Anwendungsart bei indirekten Systemen für Supermärkte [4] zu sein. Erforderliche Pumpen zur Beförderung des Sekundärfluids rufen zusätzliche Effizienzverluste hervor. Die Energieeffizienz der indirekten Systeme mit direkten Systemen zu vergleichen, ist nicht einfach und normalerweise einer Vielzahl von Annahmen unterworfen. Die meisten sinnvollen Vergleiche diesbezüglich unterliegen Flottentests für eine Reihe von Systemen beider Arten.

In [5] werden Erfahrungen einer führenden deutschen Supermarktkette zur Verfügung gestellt. Die Autoren analysierten 7 indirekte Systeme, die mit NH₃ und Propylen als Primärkältemittel arbeiteten.

Ihre Ausgangswerte wurden von der kompletten Palette der direkten R 404A-Expansionssysteme abgeleitet. Der Energieverbrauch wurde mit einer Erhöhung von 30 % für die indirekten Systeme angegeben. Die Autoren stellten schon 1998 fest, daß der Betrieb der getesteten indirekten Systeme eine Nettozunahme der Treibhausgasemissionen ergab.

In [6/7] sind zwei indirekte Ammoniak Systeme mit 7 direkten R 404A-Systemen verglichen. Die Analyse beinhaltete kontinuierliche und detaillierte Messungen aller Betriebsparameter für zwei identische 3–4 Monatsperioden innerhalb von 2 Jahren. Die getesteten Systeme hatten durchschnittliche Kälteleistungen von 73 kW (Tieftemperatur) beziehungsweise 194 kW (mittlere Temperatur). Der Energieverbrauch für indirekte Systeme wird hier (1998–99) mit 37 % beziffert.

In [8] stellte eine bedeutende, schweizer Supermarktkette im Jahr 2000 Energieverbrauchsdaten für mehr als 30 unterschiedliche Systemarten von 30 bis 300 kW zur Verfügung. Die Systeme umfaßten alte R 22-DX-Systeme, kombinierte direkte/indirekte Systeme mit verschiedenen unterschiedlichen Primärkältemitteln (R 22, R 134a und R 404A) und komplette indirekte Systeme mit Ammoniak als Primärkältemittel. Die Ergebnisse werden im Bild 1 zusammengefaßt.

Kostenvergleich

Ähnlich zu den Energie-Effizienz-Vergleichen ist der Vergleich der Funktions- und Investitionskosten einer Vielzahl einzelner Parameter wie Energiekosten, Mietkosten des Raumes, Technologie-Anwendbarkeit und Entwicklung, Arbeitslohn, etc. unterworfen. Unter ausführlichen Lebenszyklus-Kosten-Analysen ist die bereits erwähnte Studie von Blindauer und van Riesenbeck [6/7] zu finden, in der 9 unterschiedliche indirekte Systemkonzepte mit einem direkten System, das R 134a für den mittleren Temperaturbereich und R 404A

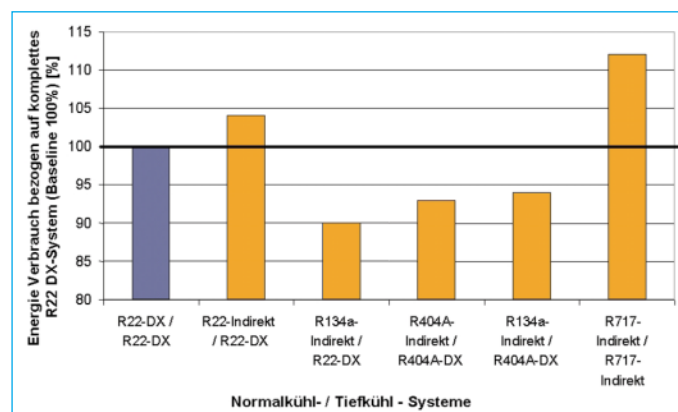


Bild 1 Energieverbrauchsvergleich für verschiedene Supermarktsysteme, bezogen auf ein R 22-DX-System für das mittlere und Tieftemperaturgebiet (Basis = 100 %)

für den Tieftemperaturbereich im System verwendet, verglichen wurde. Die erforderliche Leistung betrug 93 kW bei Tieftemperatur- und 179 kW bei mittleren Temperaturzuständen. Die Investitionskosten indirekter Konzepte waren deutlich höher als die Kosten der direkten Systeme. Indirekte Systeme waren zwischen 230 000 Euro und 330 000 Euro teurer als die direkte Lösung. Einschließlich der Unterschiede bezüglich der Betriebskosten, die hauptsächlich aus Energieverbrauchsunterschieden resultieren, wurden Unterschiede in den Lebenszyklus-Kosten zwischen 330 000 Euro und 360 000 Euro vorhergesagt. Gesamt-Lebenszyklus-Kosten für das Bezugssystem bei einer acht jährigen Laufzeit wurden mit 1 500 000 Euro eingeplant. Die zusätzlichen Gesamt-Lebenszyklus-Kosten wurden folglich für die indirekte Lösung um 22–24 % höher als für das direkte H-FKW-System abgeschätzt. Die tatsächlich installierten indirekten Systeme entsprachen in Bezug auf Energie-Effizienz nicht den Erwartungen, so daß die tatsächlichen Lebenszyklus-Kosten der indirekten Systeme sogar noch höher sein werden.

Eine deutsche Regierungsstudie [9] brachte um 15–30 % höhere Investitionskosten indirekter Systeme beim Vergleich mit standardmäßiger direkter Expansionstechnologie zum Ausdruck. Die oben dargestellten Systemarten mögen für Supermarktanwendungen relativ neu sein, die Technologie als solche ist jedoch bekannt und verbreitet (indirekte Ammoniaksysteme für industrielle Anwendungen). Bedeutende Kostenreduzierungen, verursacht durch Ausreifung der Technologie, wird folglich nicht erwartet. Das trifft auch auf DX-Systeme zu. Die oben aufgeführten Kostenvergleiche werden folglich als sinnvoll betrachtet. Die Lebenszyklus-Kosten sind auch für die Bewertung des Umweltbeitrages ein wichtiger Aspekt, da erzielte System-Energie-Leistungsfähigkeiten eine direkte Funktion der eingesetzten Kosten sein werden.

Kältemittel Emissionen

Kältemittel Emissionen sind ein Kernaspekt bei der ökologischen Bewertung der diskutierten Anlagen. Emissionen aus Leckagen bei Supermarktkälteanlagen waren traditionell im Vergleich immer höher als in anderen Bereichen der Kälte-technik. Diverse Faktoren wie gesteigertes Umweltbewußtsein, aber auch gestiegene Kosten für Kältemittel, haben diese Situation in den letzten Jahren sicherlich

verbessert. Dies kann jedoch kein abgeschlossener Prozess sein. Weitere Reduzierungen von Leckagen sind erforderlich und möglich. Eine niederländische Studie [10] quantifiziert die Leckageraten von modernen zentralen DX Supermarktsystemen auf 3–7 % im Jahr. In einer vom Forschungsrat Kältetechnik begleiteten Studie [11] wurden gewerbliche Verbundanlagen (Füllmengen 60–360 kg) in einem Langzeitversuch bezüglich des Leckageverhaltens untersucht. Die mittlere Verlustrate lag – unter Berücksichtigung eines Totalverlusts unter 19 betrachteten Anlagen – bei 4,1 % pro Jahr.

In [6] und [7], wird ein TEWI Vergleich zwischen indirekten NH₃ Systemen und direkten R 404A Aggregaten erstellt. Die Ergebnisse beruhen auf gemessenen Energieverbräuchen beider Anlagentypen sowie auf Abschätzungen bzgl. der Leckraten (6 % pro Jahr). Die umgerechneten CO₂ Gesamtemissionen sind nach diesen Untersuchungen für beide Anlagentypen mit ca. 910 t CO₂ pro Jahr identisch. Ein ökologischer Vorteil für das indirekte NH₃ System ist aus dieser Untersuchung nicht erkennbar – eine nachhaltige Bewertung würde aufgrund der höheren Kosten einen negativen Effekt ausweisen. In Abbildung 2 werden Kältemittelmmissionen für die TEWI Berechnung variiert, während die anderen Parameter aus obiger Studie konstant gehalten werden. Das indirekte NH₃ System wird als Vergleichsbasis zu 100 % gesetzt. Die absoluten Ergebnisse weichen aufgrund der Verwendung von aktuelleren GWP100 Faktoren geringfügig von der Ergebnissen des Originalbeitrages ab.

In Abbildung 3 wird auf Basis der obigen Ergebnisse der CO₂-Anteil der verschiedenen Stromerzeugungsmixe variiert. Kältemittelleckagen wurden gemäß [11] auf 4,1 % pro Jahr gesetzt. Der dominierende Einfluß der Energieeffizienz auf die ökologische Wettbewerbsfähigkeit der verschiedenen Systeme wird so deutlich.

Optimierungspotential und zukünftige Entwicklungen

Jede der eingangs beschriebenen Systemvarianten zur Bereitstellung von Kälte im Supermarktbereich birgt Optimierungspotentiale. Energieeffizienz und Leistung bei R 404A/R 507 Systemen profitieren beispielsweise vom Einsatz innerer Wärmeaustauscher [13]. Enorme Potentiale sind auch im Bereich der Wärmerückgewinnung erkennbar – unabhängig vom gewählten System. Gerade hier wird deutlich, wie wichtig ein Systemansatz für eine korrekte ökologische Bewertung ist: Um Wärmerückgewinnung nutzbar zu machen, muß ggf. der Verflüssigungsdruck erhöht werden, was den Energieverbrauch der Kälteanlage erhöht. Heizkosten werden reduziert, wovon die Gesamtbilanz für den Supermarkt profitieren kann.

Eine Reduzierung der Kältemittelmmissionen scheint erreichbar über eine Wartungspflicht, aber auch über konstruktive Maßnahmen. Die häufig zitierte „Niederländische Verordnung zur Dichtheit von Anlagen“ [14] macht deutlich, wie viel hier möglich ist: Die durchschnittlichen Emissionen aller Kälte- und Klimaanlage in den Niederlanden wurde innerhalb der letzten 10 Jahre von 30 % auf 6 % pro Jahr reduziert!

Ein vollständiges Energiemanagement führt zu weiteren wichtigen Aspekten für die ökologische Bewertung: Eine hoch-effiziente Kälteanlage nützt wenig, wenn an der Isolierung gespart wird. H-FKW geschäumte Isoliermaterialien bieten nachweislich den höchsten Standard bzgl. der Isolierwirkung. Die Gestaltung der Kühlmöbel (horizontal oder vertikal, mit oder ohne Abdeckung) kann den Energieverbrauch in einem Maße beeinflussen, gegen die in diesem Beitrag zitierten Unterschiede beim Stromverbrauch marginal erscheinen. Dennoch wird gerade die Wahl des Kältemittels am heftigsten diskutiert.

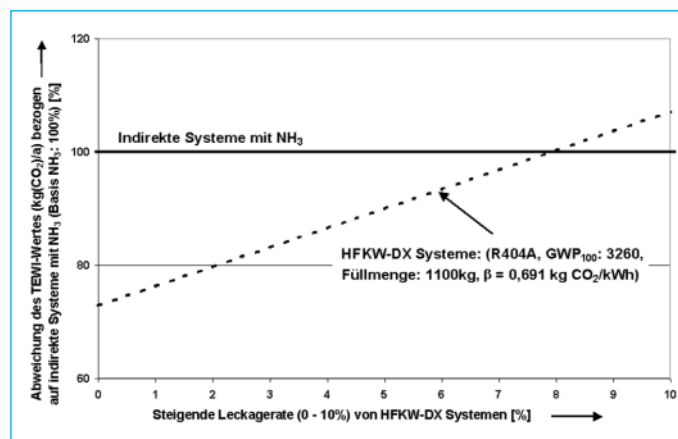


Bild 2 TEWI Vergleich R 404A direkt/NH₃ indirekt basierend auf Anlagenmessungen aus [6] und [7]

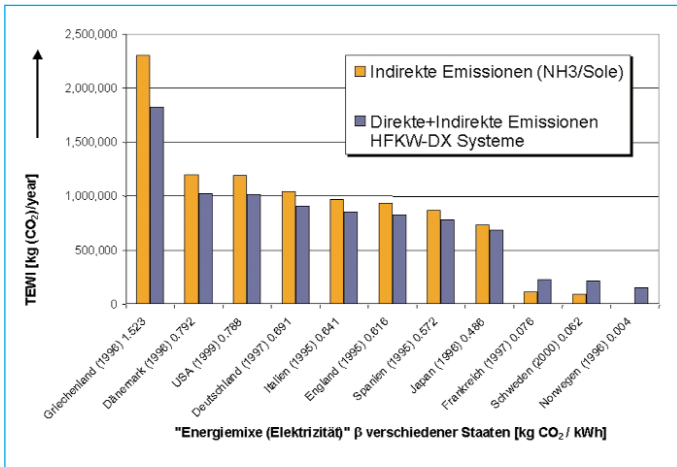


Bild 3 TEWI Vergleich wie Bild 2 mit verschiedenen Stromerzeugungsmixen [12]

Zusammenfassung

Nachhaltige Entwicklung wird mehr und mehr zu einem Leitprinzip für Politikgestaltung. Kernpunkt entsprechender aktueller europäischer Politikvorschläge ist die Forderung nach Integration: Über verschiedene Politikfelder, entlang des Lebensweges von Produkten und zwischen beteiligten Unternehmen einschließlich der Endnutzer der Produkte.

Am Beispiel von Kühlthecken wurde gezeigt, daß eine Bewertung und Optimierung unter Berücksichtigung der Systemperspektive zu neuen und belastbareren Entscheidungen führt, als traditionelle Detailansätze: Trotz des Klimaeffektes von H-FKW Emissionen kann die Gesamtklimawirkung von Hochleistungskälteanlagen unter mit H-FKW als Betriebsmittel reduziert werden und die Lebenswegkosten solcher Systeme zeigen deutliche Vorteile.

Das Denken in Produktsystemen und gesamten Lebenswegen wird deshalb als ein vielversprechender Ansatz vorgeschlagen, um Management- und Innovationsprozesse zu überdenken und ggf. anzupassen. Kooperationen zwischen allen Beteiligten einer Wertschöpfungskette bieten ein beachtliches Synergiepotential für neue Produktsysteme im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung. □

Literatur

- [1] ASHRAE Handbook Refrigeration, SI Edition, 1998
- [2] European Standard: EN 378 „Refrigerating systems and heat pumps, Safety and environmental requirements“, European Committee for Standardization
- [3] H. Kruse, „Current status of natural working fluids in refrigeration, A/C, and heat pump systems“, Institute of refrigeration, University of Hannover, IIR-Conference, Aarhus, 1996
- [4] Arias, J.; Lundqvist P.; „Innovative system design in supermarkets for the 21st century“; 20th Int. Congress of Refrig., IIR/IIF, Sydney, 1999
- [5] Kalter, W., Boergen, K.; UZ Tengelmann „Environmental protection per government regulation vs. operator environmental protection in one's own interest“ Asercom Symposium 1998, IKK Nürnberg
- [6] Blindauer, C.; van Riesenbeck, G. „Planung und Betriebsverfolgung von Ammoniak/Sole-Anlagen in zwei SB-Warenhäusern, DKV Tagung 1998, Band II.2, Würzburg
- [7] Blindauer, C.; van Riesenbeck, G. „Betriebsverfolgung von Ammoniak/Sole Anlagen in zwei SB Warenhäusern, Teil 2; DKV Tagung 1999, Band III, Berlin
- [8] Frischknecht, R. „Ökobilanz für Supermarktkälteanlagen in der Schweiz“, KI Luft- und Kältetechnik 4/2000
- [9] Mahrenholz, P. „Possible emission reduction measures for HFCs in Germany“, Joint IPCC-TEAP Expert Meeting, Petten, 1999
- [10] Van Gerwen, R. J. M.; Verwoerd, M. „Emission reduction of non-CO₂ greenhouse gases used as refrigerant“; NON-CO₂ greenhouse gases, Scientific Understanding; Control and Implementation, 377-384
- [11] FKT-Studie: „Dichtheit von Kälteanlagen“, ILK Dresden, Final Report, Dresden 09/99
- [12] IKP/PE GaBi 3v2 LCA-Datenbank 2001
- [13] Ahnefeld, G., Vollmer, D., Wobst, E.: „Energetische Bewertung von FKW-Gemischen als R 22-Alternativen“, Ki Luft- und Kältetechnik 5/1996
- [14] „The Dutch regulations on leak-free refrigeration equipment“, Koude & Luchtbehandeling, jaargang 88, nr. 6, (Juni 1995)
- [15] Preisegger, E., Meurer, C.: „Responsible Care – Product Stewardship for Refrigerant“
- [16] UNEP, „ODS Disposal Technology Update“ 1995, Montreal Canada