

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 206 44 300  
UBA-FB 001180



# Vergleichende Bewertung der Klimarelevanz von Kälteanlagen und -geräten für den Supermarkt

## Zusammenfassung

von

**Jan-Martin Rhiemeier**  
**Dr. Jochen Harnisch**  
**Christian Ters**  
Ecofys Germany GmbH

**Prof. Dr. Michael Kauffeld**  
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

**Dr. André Leisewitz**  
Öko-Recherche GmbH

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Kurzfassung des Abschlussberichts:

**VERGLEICHENDE BEWERTUNG DER KLIMARELEVANZ VON KÄLTEANLAGEN  
UND -GERÄTEN FÜR DEN SUPERMARKT  
(FKZ 206 44 300)**

Nach dem Inkrafttreten der EU-Verordnung 842/2006 und der EU-Richtlinie 2006/40/EG bleiben Kälteanlagen und Kühlgeräte in Supermärkten mittel- bis langfristig in Deutschland das letzte große Einsatzfeld und die stärkste Emissionsquelle der klimaschädlichen teilfluorierten Kohlenwasserstoffe (HFKW).

Im EU-politischen Prozess wurde mit Rücksicht auf bestehende Verbesserungsmöglichkeiten für die bislang eingesetzten Komponenten, Technologien und ihre Handhabungspraktiken durch Handwerk und Anwender zunächst von Verwendungsverboten von HFKW in diesen und anderen stationären Anwendungen abgesehen. Von zentraler Bedeutung für diese Entscheidung war auch, dass für mehrere wichtige Anwendungen nach damaligem Kenntnisstand nicht sicher feststand, dass mit halogenfreien Technologien eine vergleichbare Zuverlässigkeit, Energieeffizienz und Sicherheit zu angemessenen Kosten erreicht werden konnte.

Allerdings wurde in der EU-Verordnung 842/2006 ein differenziertes Auflagenbündel für das Inverkehrbringen, den Betrieb, die Wartung sowie die Stilllegung und Demontage aller größeren Anlagen festgelegt. Mit Blick auf die in den kommenden Jahren anstehende Überprüfung der EU-Verordnung 842/2006 stellt sich die Frage, ob diese Vorgehensweise des so genannten „Containments“, also der Einfassung der HFKW, weiterhin als alleinige Stütze der Bemühungen zur Reduktion von HFKW-Emissionen ausreicht, oder ob Verwendungsverbote dann auf Basis der bis dahin angesammelten Betriebserfahrung mit Alternativtechnologien gerechtfertigt erscheinen.

In weiten Teilen Europas und auch in Deutschland ergibt sich allerdings hier für die Mehrzahl der Arten relevanter Kälteanlagen und -geräte folgende Problematik: Aufgrund bislang weitestgehend fehlender gesetzlicher Vorgaben existiert im stark kostenbewussten Einzelhandel eine oft nur sehr eingeschränkte Erfahrung mit dem Einsatz halogenfreier Kältemittel, sodass eine umfassende und zweifelsfreie Datenbasis zur Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit für Systeme ohne fluorierte

Treibhausgase oft nicht besteht. Diese ist aber wiederum erforderlich, um ggf. eine weitere Verschärfung der Einsatzmöglichkeiten von HFKW politisch zu begründen.

An diesem Punkt setzt die vorliegende Studie mit ihren vier Teilberichten an. Im ersten Teil bietet sie einen umfassenden Überblick der deutschland- und europaweit für Supermarktanwendungen angebotenen und eingesetzten Kälteanlagen und -geräte ohne halogenhaltige Kältemittel. Der zweite Teil „Bilanzierung und Bewertung“ bietet Informationen über die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Systeme im Vergleich zu konventionellen Systemen auf Basis der Methodik zur Berechnung des Total Equivalent Warming Impacts (TEWI). Im dritten Teil „Verbesserungspotentiale und Lösungsansätze werden technische, wirtschaftliche und strukturelle Hemmnisse für die Ausweitung des zukünftigen Einsatzes natürlicher Kältemittel identifiziert. Weiterhin werden Schritte zu kurz- und mittelfristig geeigneten Optionen zur Überwindung von Markteinführungs-Hemmnissen beschrieben und Empfehlungen für die Umsetzung mit Kooperationspartnern unter Nutzung geeigneter Förderprogramme entwickelt.

Der vierte Teil dieses Projektes bestand in der Ausrichtung einer internationalen Konferenz mit dem Namen „CO<sub>2</sub>ol Food - Klimafreundlich Kühlen im Supermarkt“ am 22. und 23. Mai 2007 in Berlin vorbereitet und organisiert. Diese Veranstaltung mit über 140 Teilnehmern und Teilnehmerinnen und ihre Ergebnisse sind nicht Gegenstand dieses Endberichtes. Wichtiges Ergebnis der Konferenz war der deutlich zu erkennende Trend im Einzelhandel und bei Kälteanlagenbauern hin zu klimafreundlichen Kühlsystemen. Weitere Ergebnisse und Vorträge der Konferenz stehen unter <http://www.umweltbundesamt.de/produkte/fckw/co2ol.htm> zum Download zur Verfügung.

### **Marktübersicht**

Der erste Berichtsteil enthält eine Marktübersicht zu vollständig oder teilweise mit halogenfreien Kältemitteln betriebenen Supermarktkälteanlagen und -geräten, inklusive Informationen zu deren aktueller Marktdurchdringung in der EU. Neben der jeweiligen Relevanz der Technologie am Markt wird auch dargestellt, inwieweit mit ihnen einschlägige Betriebserfahrungen vorliegen. In einer detaillierten Datensammlung, den sogenannten Technologiedatenblättern, werden für Modelltechnologien der Kategorien *dezentrale steckerfertige Kühlmöbel, Einzelanlagen mit externem Verflüssigungssatz*

und für *zentrale Verbundanlagen* jeweils 30 Kenndaten angeführt, die Auskunft über Anlagendaten, Kältemittelverlust, Energieverbrauch, Lebenszykluskosten, Marktanteil, Betriebserfahrungen und Bezugsquellen geben

Ferner werden alle gängigen Kältemittel bezüglich Ihrer physikalischen Eigenschaften, mit besonderem Blick auf deren Wirtschaftlichkeit und Klimarelevanz für den Lebensmitteleinzelhandel, beschrieben.

Der Datensammlung liegen sowohl eine umfassende Literaturrecherche von wissenschaftlicher Fachliteratur als auch zahlreiche Interviews mit Herstellern und Lieferanten sowie Einzelhandelsvertretern zu Grunde.

Neben der Beschreibung der Anlagentechnologie selbst bietet das Arbeitspaket 1 auch eine Übersicht über die relevanten Marktformen im Lebensmitteleinzelhandel, in welchen die jeweilige Anlagentechnologie zum Einsatz kommt, umfangreiche Ausführungen zu Energiesparmaßnahmen, eine Zusammenstellung über Leckagen an Supermarktkälteanlagen sowie Beispiele von F-Gas Regelungen in ausgewählten europäischen Ländern.

### **Bilanzierung und Bewertung**

Dieser Teil bietet einen Überblick über die Emissionen kältetechnischer Einrichtungen im Supermarkt und zeigt Vermeidungskosten auf, die bei Umstellung herkömmlicher Anlagen auf neue Anlagen mit natürlichen Kältemitteln auf den Einzelhandel zukommen.

Die Emissionen einer Kälteanlage werden durch den sogenannten Total Equivalent Warming Impact (TEWI) ausgedrückt. Der TEWI-Wert einer Kälteanlage beschreibt gemäß DIN 378-1 die Summe von indirekten Emissionen der Anlage aus ihrem Energieverbrauch und direkten, durch Kältemittelverlust verursachten Emissionen.

Aufgrund der Vielzahl von technischen Möglichkeiten und der heterogenen deutschen Marktlandschaft wurden während zwei Expertentreffen gemeinsam mit Kälteanlagenbauern und Einzelhandelsvertretern die zu untersuchenden Modelltechnologien für die Ladenformate Discounter, Verbrauchermarkt und SB-Warenhaus ausgewählt.

Großer Wert wurde bei der Berechnung der TEWI-Analysen auf eine gesicherte robuste empirische Datenbasis gelegt. Daher wurden Kältemittelbestände und

Energieverbräuche der untersuchten Referenztechnologie in Zusammenarbeit mit mehreren deutschen Einzelhandelsketten ermittelt. Als Referenztechnologie wird für alle drei Ladenformate eine Verbundanlage auf Basis von R 404A definiert, da diese Technologie die momentan am häufigsten eingesetzte im deutschen Lebensmitteleinzelhandel ist.

Aufgrund mehrer Faktoren, wie beispielsweise Witterung, Anlagenstandort, Anlagenalter und Verbraucherverhalten unterliegen vor allem die Energieverbräuche der Anlagen großen Schwankungen. Ebenfalls kann man nicht von der gleichen charakteristischen Füllmenge in jeder Anlage ausgehen. Auch diese unterliegen teilweise erheblichen Schwankungen. Aufgrund dieser Problematik wurde bei der Berechnung der TEWI-Analysen eine detaillierte Unsicherheitsbetrachtung mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt. Deren Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Emissionen der untersuchten Anlagentypen trotz der Unsicherheiten nur in gewissen Bandbreiten variieren, was robuste Vergleiche der jeweiligen Klimabilanzen ermöglicht.

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Berechnung von TEWI-Analysen sind Kältemittelleckagen und -verluste. Kältemittelverluste treten an allen Kälteanlagen auf. Der Umfang der durch Leckagen hervorgerufenen Verluste hängt von der Komplexität der Kälteanlage, den Betriebsbedingungen, der Wartung und vielen weiteren Faktoren ab. Entsprechend groß sind die Unterschiede über berichtete Leckageraten in der Literatur. Um Kältemittelverluste adäquat abzubilden werden die TEWI-Analysen für drei verschiedene Politikszenerarien gerechnet. In den Politikszenerarien werden feste Kältemittelverlustraten angenommen, die je nach politischen Dichtigkeitsvorgaben variieren. In der Praxis können teilweise weit höhere Kältemittelverlustraten auftreten, da es immer wieder zu Havarien kommen kann, bei denen erhebliche Mengen Kältemittel entweichen. Dieser Fall wird in einer Sensitivitätsanalyse gesondert betrachtet.

Anhand der Ergebnisse aus den TEWI-Analysen werden in einem nächsten Schritt spezifische Vermeidungskosten für die ausgewählten Modelltechnologien berechnet. Die berechneten Vermeidungskosten geben die Kosten pro Tonne vermiedenem CO<sub>2</sub>-Äquivalent bezogen auf die Referenztechnologie an. Vermeidungskosten werden ebenfalls für die verschiedenen Politikszenerarien gerechnet, da sowohl Kosten als auch Emissionen für HFKW-haltige Anlagen je nach Dichtigkeitsvorgaben variieren.

Als Ergebnis der TEWI-Analysen wird deutlich, dass neuartige CO<sub>2</sub>-Anlagen in ihrer Klimabilanz der R404A-Referenztechnologie im Rahmen aller berücksichtigten Unsicherheiten für Verbrauchermärkte und SB-Warenhäuser signifikant überlegen sind. Bei Discountern besteht die Signifikanz bei hoher Dichtigkeit (jährlicher Kältemittelverlust von 2,65 %) nicht mehr. Die Vermeidungskostenberechnung zeigt ferner, dass deren Einsatz zur Zeit noch mit teilweise hohen spezifischen Vermeidungskosten realisiert werden kann, diese aber mit zunehmend strengeren Dichtigkeitsvorgaben für herkömmliche Anlagen mit HFKW und Kostendegressionen für Anlagen mit natürlichen Kältemitteln in naher Zukunft deutlich sinken werden. Tabelle 1 fasst die quantitativen Ergebnisse aus TEWI-Analysen und Vermeidungskostenberechnung für alle untersuchten Technologien in übersichtlicher Form zusammen.

Besonders soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass im Falle höherer Kältemittelverluste als hier angenommen HFKW-freie Technologien erheblich größere Emissionseinsparungen bieten. In dieser Situation sinken auch die Vermeidungskosten für alternative Technologie deutlich. Der Einfluss der realen Kältemittelverluste auf Emissionen und Vermeidungskosten wurde daher in einer Sensitivitätsanalyse gesondert betrachtet.

**Tabelle 1: Kombinierte Übersicht zu TEWI-Ergebnissen und Vermeidungskosten für verschiedene Dichtigkeitszenarien und Modelltechnologien**

		<b>Dichtigkeits- szenario 1</b> (11,65 %)	<b>Dichtigkeits- szenario 2</b> (6,15 %)	<b>Dichtigkeits- szenario 3</b> (2,65 %)
<b>Discounter</b>				
<b>I</b>	<b>Referenzanlage*)</b>	B-	B-	B-
<b>II</b>	R134a dir. NK	A+	A+	B+
<b>III</b>	ind. R290 NK	A-	A-	B++
<b>IV</b>	dir. 744 NK	A-	A-	B++
<b>Verbrauchermarkt</b>				
<b>Ia</b>	<b>Referenzanlage*)</b>	B-	B-	B-
<b>Ib</b>	R134a NK+R404A TK	A-	A-	A-
<b>IIa</b>	R404A NK+R744 TK	B-	B-	B-
<b>IIb</b>	R134a NK+R744 TK	A-	A-	A-
<b>III</b>	ind. R717	A-	A-	B-
<b>IVa</b>	R717/R744 NK+TK	A-	A-	A++
<b>IVb</b>	R290/R744 NK+TK	A-	A-	A++
<b>V</b>	dir. R744	A-	A-	A+
<b>SB-Warenhaus</b>				
<b>I</b>	<b>Referenzanlage*)</b>	B-	B-	B-
<b>III</b>	ind. R717	A-	A-	B-
<b>V</b>	dir. R744	A-	A-	A++

\*) einstufige R404A Direktverdampfungsanlage

**Kodierung der Bewertungen**

**Klimabilanz:**

**A:** Signifikant der Referenzanlage überlegen

**B:** Kein signifikanter Unterschied zur Referenzanlage

**C:** Signifikant der Referenzanlage unterlegen

**Kostenwirksamkeit:**

**++:** Negative Vermeidungskosten

**+** : Vermeidungskosten <=50 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> Äquivalent

**-** : Vermeidungskosten >50 Euro pro Tonne bzw. Referenz.

Hier wird deutlich, dass bei der Investition in neue Kälteanlagen für den deutschen Lebensmitteleinzelhandel (LEH) neben der Kostenfrage in Zukunft auch die Frage nach der Wahl des Kältemittels vermehrt von Bedeutung sein wird. Die aktuelle öffentliche Diskussion um den Klimawandel zeigt, dass nachhaltiges und

umweltfreundliches Wirtschaften immer wichtiger wird und auch zunehmend als Verkaufsargument an Bedeutung gewinnt.

Mit dem Einsatz von natürlichen Kältemitteln in neuen Anlagen entscheiden sich schon heute einzelne Einzelhandelsunternehmen für eine umweltfreundliche Kälteerzeugung, weil dadurch doppelte Investitionen, zunächst zur Erfüllung höherer Dichtigkeitsanforderungen und später zur Installation neuer Technologie mit natürlichen Kältemitteln vermieden werden können.

Eine weitere Verschärfung der Auflagen für den Umgang mit fluorierten Treibhausgasen ist deutschland- wie auch europaweit in den nächsten Jahren zu erwarten. Dies spiegelt sich u.a. in dem von der deutschen Bundesregierung im August 2007 in Meseberg beschlossenen Klima- und Energieprogramm wie auch in den Überprüfungsklauseln des Artikels 10 der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase wider.

## **Verbesserungspotentiale und Lösungsansätze**

Hier wird zunächst der Stand der Technik der am Markt verfügbaren Kälteanlagen und Komponenten mit natürlichen Kältemitteln analysiert. Ein besonderer Schwerpunkt ist hier die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Technologie, da Anlagenbauer und Komponentenhersteller bei der Neuentwicklung verstärkt an deren Einführung und Verbesserung arbeiten. Des Weiteren werden wesentliche Hemmnisse aufgezeigt, die den Einsatz neuer HFKW-freier Anlagentechnologie behindern und deren Ausbreitung im Lebensmitteleinzelhandel erschweren. Hier ist zwischen technischen und wirtschaftlichen Hemmnissen zu unterscheiden. Große technische Hemmnisse sind die Verfügbarkeit und der Entwicklungsstand wichtiger Komponenten, vor allem für Anlagen mit Kohlendioxid. Aufgrund der thermodynamischen Eigenschaften von CO<sub>2</sub> müssen beispielsweise Verdichter, Ventile und Wärmeübertrager neu konzipiert werden. Derzeit ist ein großer Teil notwendiger Komponenten noch nicht endgültig ausgereift und nicht in der erforderlichen Breite verfügbar, um eine schnelle Einführung der neuen Technologie im gesamten deutschen Lebensmitteleinzelhandel (LEH) zu vollziehen. Hieraus ergeben sich wiederum wirtschaftliche Hemmnisse, da aufgrund der fehlenden Marktreife einiger Komponenten noch keine Serienproduktion erreicht werden konnte, wodurch der Preis für diese Anlagenteile entsprechend hoch ist. In diesem Kapitel wird aufgezeigt, wie durch eine Steigerung der Nachfrage seitens des LEH sowohl wirtschaftliche als auch technische Hemmnisse in den kommenden Jahren überwunden werden können.

Zur Förderung des Einsatzes natürlicher Kältemittel im LEH werden zwei mögliche Fördermaßnahmen vorgeschlagen. Zur Förderung der Nachfrage neuer Anlagen mit natürlichen Kältemitteln wird eine finanzielle Fördermaßnahme im Rahmen des integrierten Energie- und Klimaprogramms, dem so genannten Meseberg-Papier, der deutschen Bundesregierung vorgeschlagen. Dieses fordert unter Punkt 23 eine Reduktion der fluorierten Treibhausgasemissionen der Bundesrepublik um ca. 8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Zur Umsetzung wird eine Zuschusszahlung zu den Zusatzkosten für kältetechnische Anlagen im Lebensmitteleinzelhandel vorgesehen: Dieser Zuschuss soll nur unter ausschließlicher Verwendung von natürlichen Kältemitteln gezahlt werden und sollte eine Staffelung für Neuanlagen in neuen oder bestehenden Märkten oder den Ersatz einer R22-Altanlage vorsehen. Mit einem entsprechenden Fördervolumen kann mit dem Übergang zur Serienfertigung die Markteinführung von CO<sub>2</sub>-Anlagen wesentlich erleichtert werden.

Bei der zweiten Fördermaßnahme handelt es sich um einen Wettbewerb, der Deutschlands klimafreundlichsten Supermarkt prämiert soll. Im Rahmen des Wettbewerbs sollen neue Kälteanlagen für den Supermarktbereich mit natürlichen Kältemitteln und einem niedrigen TEWI-Wert ausgezeichnet werden. Die Prämierung im Rahmen des Wettbewerbs kann eine Kombination von öffentlichkeitswirksamer Symbolik als Hauptaspekt und (begrenztem) finanziellem Anreiz sein. Dafür sind eine Auszeichnung oder ein Qualitätssiegel, die auch für PR- und Marketingzwecke eingesetzt werden können, und eine Anerkennungsprämie denkbar.

Die Dimension des vorgeschlagenen Förderprogramms ist geeignet, Bewegung in einen Markt zu bringen, dessen Dynamik gegenwärtig noch durch die bei den verschiedenen Akteuren (Komponentenhersteller, Anlagenbau, LEH) bestehenden Kostenschwellen gebremst wird. Der Wettbewerb wiederum schafft es, die Aufmerksamkeit für die Klimarelevanz von Kälteanlagen im LEH zu erhöhen, und die Stärkung der öffentlichen Akzeptanz und „Nachfrage“ nach klimafreundlichen Kälteanlagen sowie deren „Imagefaktor“ zu verbessern.

In einem Exkurs wird zudem eine Betrachtung zum Energieeinsparpotential von Kälteanlagen durch Kühlmöbelabdeckung. Die durchgehende Abdeckung von Kühlmöbeln mit Schiebedeckeln (Truhen) bzw. Türen (Regale) gilt als bedeutende Energieeinsparquelle. Das Einsparpotential wird im Allgemeinen auf bis zu 40 Prozent des Energieverbrauchs der jeweiligen offenen Verbrauchsstelle eingeschätzt. Die Aus- und Nachrüstung von Kühlmöbeln, zuerst von Kühltruhen, mit durchgehender Abdeckung setzte vor etwa zehn Jahren ein. Neben der Energieeinsparung ist die bessere Temperaturnachleistung für das Kühlgut ein entscheidendes Motiv für die Abdeckung von Kühlmöbeln. Um die Bedeutung dieses Potentials besser einschätzen zu können, wurde in AP3 der Stand der Kühlmöbelabdeckung in Deutschland (Mitte 2007) durch Befragung der relevanten Lebensmitteleinzelhändler des Supermarktbereichs erhoben. Durch die Erhebung wird deutlich, dass im Bereich des Tiefkühl (TK)-Mobiliars schon ein recht hoher Grad an Abdeckung erreicht ist (85 %), während bei Truhen für die Normalkühlung (NK) (50 %) und insbesondere bei Kühlregalen (0,2 %) Energieeinsparung durch Verglasung nur eine sehr geringe Rolle spielt. Bei den normalerweise offenen Kühlmöbeln verfügten nach Auskunft des befragten LEH Mitte 2007 etwa 87% zumindest über eine Nachtdeckung.

Vom Handwerk und dem Nachrüstgewerbe wird die durch Abdeckung erreichbare Energieeinsparung mit etwa 40% bei TK-Truhen und ca. 10-15% bei NK-Truhen angegeben (Vergleich offener Truhen ohne Nachtabdeckung gegen geschlossene Truhen). Die Energieeinsparung durch die Ausrüstung von NK-Regalen für Fleisch, Milchprodukte und Gemüse mit Glastüren beträgt etwa 50% (Vergleich Regal mit Türen gegen Regal mit Nachtabdeckung), wobei der Einspareffekt durch Nachtrollos allein (gegenüber Regalen ohne Nachtabdeckung) auf 20-25% veranschlagt wird.