

# Energiekostenreduzierung in Supermärkten

## Einsparpotentiale durch die Kopplung von Gebäude- und Kältetechnik

Die Energiekosten in Supermärkten liegen heute etwa in der gleichen Größenordnung wie die Gewinnmargen der Betreiber. Um wettbewerbsfähig zu bleiben, gewinnt daher eine detaillierte Betrachtung des Energiebedarfs für die einzelnen Supermarktketten immer mehr an Bedeutung. Da die Kältetechnik in Supermärkten einen Großteil des Energieverbrauchs verursacht, werden bisher bei der Suche nach Einsparpotentialen vorrangig die Kälteanlagen betrachtet. Der Lüftungstechnik wird häufig ein untergeordneter Stellenwert beigemessen, sodass sie teilweise sogar ganz vernachlässigt wird.

Durch die Lüftungstechnik werden jedoch die Randbedingungen für den Betrieb der Kältetechnik wesentlich mitbestimmt. Bei Verbundkälteanlagen gibt es zudem in vielen Fällen durch den Einsatz von Wärmerückgewinnungssystemen eine direkte Schnittstelle zwischen Kälte- und Lüftungstechnik. Für eine zuverlässige Quantifizie-

rung der Wechselwirkungen zwischen der Lüftungs- und der Kältetechnik sind dynamische Gebäude- und Anlagensimulationen die geeigneten Werkzeuge. Diese müssen für den jeweiligen Einzelfall mit konkreten Randbedingungen durchgeführt werden. Im Rahmen dieses Beitrags soll beispielhaft für die Wärmerückgewinnung aus der Kältetechnik gezeigt werden, wie sich Kälte- und Lüftungstechnik gegenseitig beeinflussen und was bei der Parametrierung eines solchen Systems zu beachten ist.

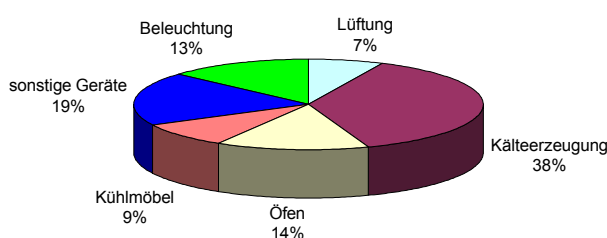


Bild 2: Aufteilung des Strombedarfs für ein Jahr

### Erstellung eines Simulationsmodells

Mit Hilfe der dynamischen Gebäudesimulation kann der Ist-Zustand aller Energieströme einer Liegenschaft detailliert abgebildet werden. Im Allgemeinen wird dabei zunächst die Geometrie des untersuchten Gebäudes mit allen relevanten bauphysikalischen Daten in ein Simulationsprogramm eingegeben. Es wird ein dreidimensionales Modell des Gebäudes erstellt, sodass auch Eigenverschattungen und Fremdverschattungen durch Randbebauungen berücksichtigt werden können. In Abhängigkeit von der Nutzung erfolgt dann eine Zonierung des Gebäudes, wobei für jede Zone separat Randbedingungen definiert werden und die Wechselwirkungen zwischen den Zonen beschrieben werden.

Für das erstellte Gebäudemodell eines bestehenden Supermarktes werden unter Berücksichtigung von stündlichen Wetterdaten, den zu Grunde liegenden Öffnungszeiten mit den entsprechenden inneren Wärmelasten sowie der Regelungsstrategie, den Leistungen aller Komponenten und dem Teillastverhalten der technischen Gebäudeausrüstung sowie Kältetechnik Energiebilanzen für jede Stunde des Jahres errechnet und aufsummiert. Das Ergebnis ist der zeitliche Verlauf sämtlicher Energieströme über ein Jahr.

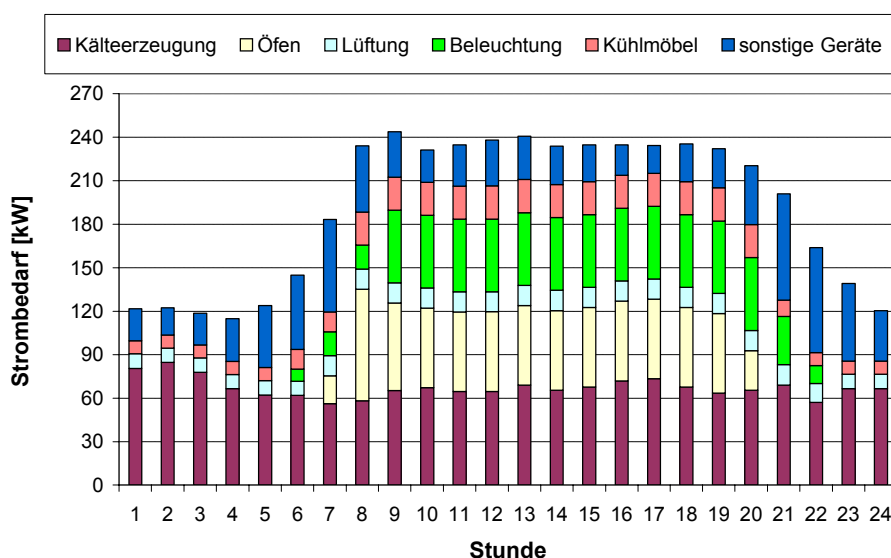


Bild 1: Aufteilung des Strombedarfs für einen typischen Wochentag

In vielen Anwendungsfällen sind insbesondere die inneren Wärmelasten schwierig zu bestimmen. Im Rahmen des Projektes ist hierfür ein iteratives Verfahren auf der Basis des Lastgangs des Strombedarfs entwickelt worden. Dabei werden die bekannten bzw. berechneten Anteile des Strombedarfs (Lüftung, Kälte, Beleuchtung etc.) vom gesamten Lastgang abgezogen und der verbleibende nicht quantifizierbare Anteil als innere Wärmelast angesetzt. Mit dieser Annahme werden die Berechnungen erneut durchgeführt. Dieses Verfahren wird wiederholt, bis sich die Berechnungsergebnisse für den Strombedarf der Lüftungs- und Kältetechnik nicht mehr oder nur noch geringfügig ändern.

In Bild 1 ist beispielhaft für einen bestehenden Supermarkt die resultierende Verteilung des Strombedarfs für Kälteerzeugung und Kühlmöbel, Backöfen, Lüftung, Beleuchtung und sonstige Geräte für einen typischen Wochentag dargestellt.

Der Anteil der sonstigen Geräte entspricht dabei dem nicht quantifizierbaren Anteil des Strombedarfs, der neben den Öfen und der Beleuchtung als innere Wärmelast angesetzt worden ist. Die Validierung des Simulationsmodells erfolgt sowohl anhand von monatlichen als auch anhand von stündlichen Messwerten für verschiedene Medien.

## Auswertung des Simulationsmodells

Im Anschluss an die Modellierung und Validierung des Modells kann die Auswertung erfolgen. In Bild 2 ist beispielhaft die Aufteilung des Strombedarfs für ein Jahr dargestellt. Der Anteil des nicht quantifizierten Strombedarfs beträgt dabei 19 %. Dieser Anteil beinhaltet Verbraucher wie die Außenbeleuchtung, die EDV, Pumpen u. v. m. Die Ergebnisse weisen als größten Einzelverbraucher die Kältetechnik (Kälteerzeugung und Kühlmöbel) mit knapp 50 % aus. In Bild 3 sind die ermittelten stündlichen Empfindungstemperaturen im Verkaufsraum für ein ganzes Jahr (innerhalb der Ladenöffnungszeiten) in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur aufgeführt. Jeder einzelne Betriebszustand ist dabei in Punktform dargestellt. Darüber hinaus ist das Behaglichkeitskennfeld nach DIN 1946 farbig hinterlegt. Aus dieser Darstellung kann beispielsweise

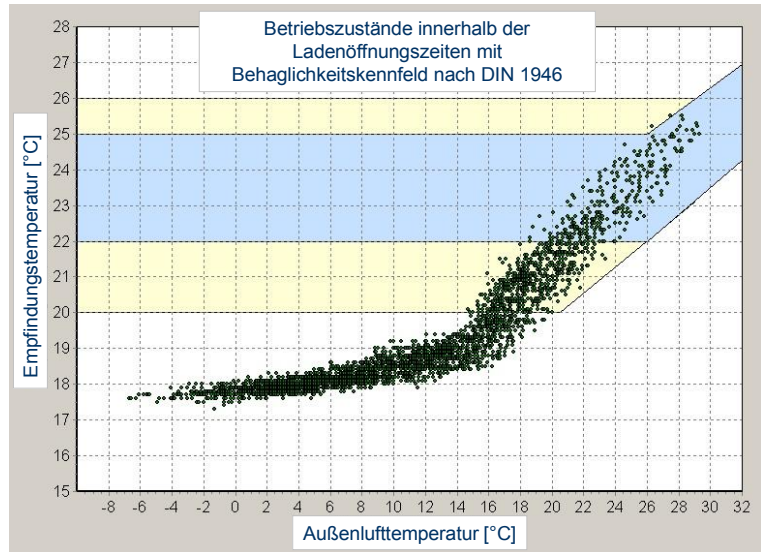


Bild 3: Empfindungstemperaturen im Verkauf während der Öffnungszeiten

abgelesen werden, dass in der Heizperiode die mittleren Empfindungstemperaturen für den gesamten Verkauf deutlich unter den empfohlenen Grenzen für ständige Arbeitsplätze liegen. Hieraus resultiert, dass im Bereich der Kassen zumeist mit zusätzlichen Anlagen eine höhere Temperatur realisiert werden muss.

Darüber hinaus kann festgehalten werden, dass erst ab einer Außenlufttemperatur von etwa 16 °C auf eine Beheizung verzichtet werden kann. Letztlich resultiert hieraus ein überdurchschnittlich hoher Heizenergiebedarf von Supermärkten im Vergleich zu anderen Gebäuden.

## Klassifizierung in „kalte“ und „warme“ Märkte

Je nach Ausstattung der Supermärkte variieren die inneren Wärmelasten in den Verkaufsbereichen erheblich. Gleich bleibend ist jedoch in der Regel, dass außerhalb der Öffnungszeiten dem Verkaufsraum über die Kühlmöbel Wärme entzogen wird, während innerhalb der Öffnungszeiten die inneren Wärmelasten durch Beleuchtung, Öfen etc. diese Wärmeabfuhr übersteigen.

Die Tagessumme der inneren Wärmelasten kann dabei sowohl positive wie auch negative Werte annehmen. Märkte, in denen diese Tagessumme deutlich positive Werte

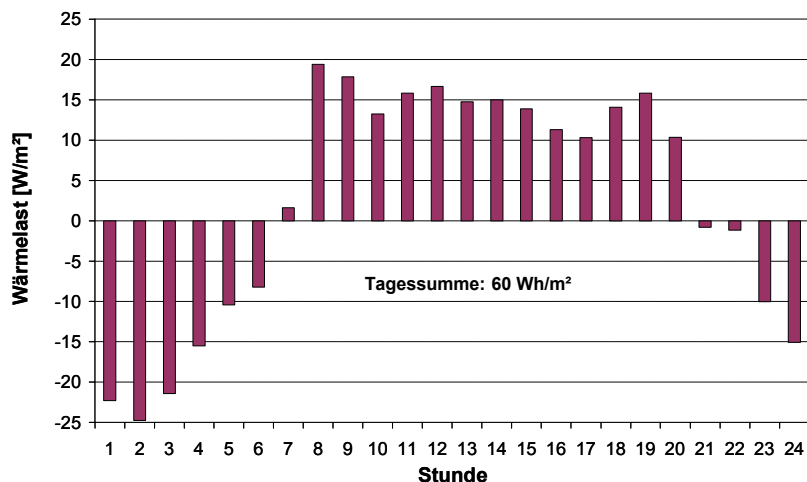
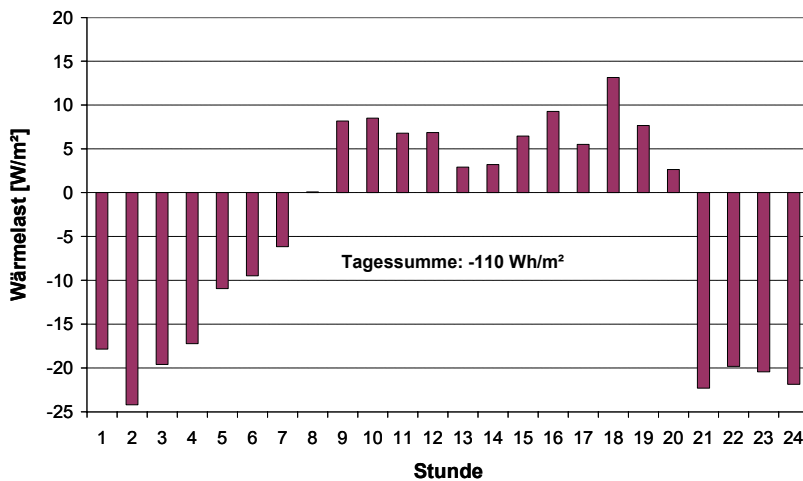


Bild 4: Innere Wärmelasten für einen typischen Wochentag im Verkauf



**Bild 5: Tagesgang der inneren Wärmelasten für einen „kalten“ Markt**

annimmt, sind im Rahmen dieser Untersuchung als „warme“ Märkte definiert worden. Analog wurden Märkte mit negativer Tagessumme als „kalte“ Märkte definiert. In den Bildern 4 und 5 sind Beispiele beider Typen dargestellt. Darin ist zu erkennen, dass sich der prinzipielle zeitliche Verlauf der Wärmelasten ähnelt und sich lediglich andere Tagessummen ergeben. In diesen beiden Fällen resultiert der Unterschied der inneren Wärmelasten im Wesentlichen aus der unterschiedlichen Anzahl an installierten Backöfen im Verkauf.

## Einfluss der Wärmerückgewinnung aus der Kältetechnik

Es wurde ansatzweise gezeigt, welche Analysemöglichkeiten durch die Erstellung von Simulationsmodellen für den Energiebedarf von Supermärkten gegeben sind. Auf der Basis dieser Analysen ist es nun möglich, zielgerichtet Verbesserungsvorschläge zu erarbeiten und zu quantifizieren.

Im Rahmen dieses Beitrags sollen beispielhaft die Möglichkeiten diskutiert werden, die sich durch eine Wärmerückgewinnung aus der Kältetechnik ergeben. Dabei wurde angenommen, dass Abwärme aus der zentralen Kältetechnik über einen separaten Wasserkreislauf in ein Heizregister der zentralen Lüftungsanlage des Verkaufsbereiches eingekoppelt wird. Für die beiden notwendigen Wärmetauscher wurde jeweils eine Grädigkeit von 4 K angenommen.

Die nutzbare Abwärme bzw. der verbleibende Heizwärmebedarf der Lüftungsanlage ist in Bild 6 beispielhaft für einen warmen Markt in Abhängigkeit der Verflüssigungstemperatur als schwarze Linie dargestellt. Mit steigender Verflüssigungstemperatur steigt dabei auch die nutzbare Abwärme an, bis bei etwa 45 °C der Bedarf des Verkaufs vollständig gedeckt ist.

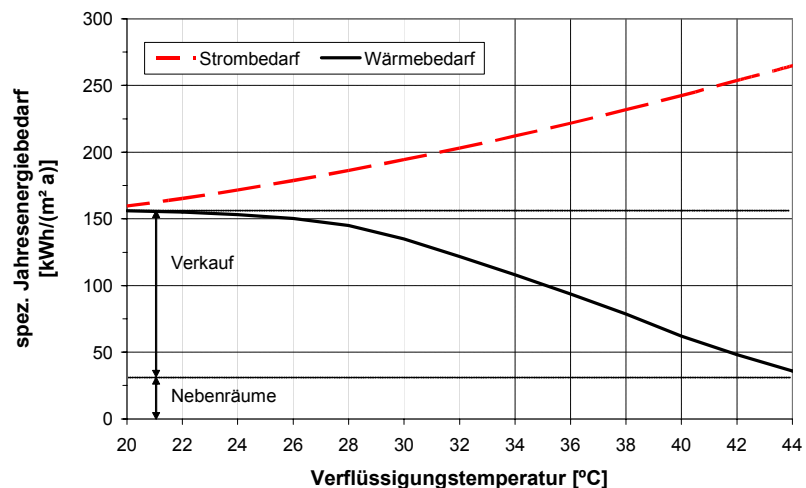
Gleichzeitig ist der Strombedarf für die Kälteerzeugung in Abhängigkeit der Verflüssigungstemperatur als gestrichelte Linie dargestellt. Der Strombedarf steigt mit steigender Verflüssigungstemperatur an, sodass gegenläufige Effekte sichtbar werden. Aus diesen gegenläufigen Effekten resultiert

eine optimale Verflüssigungstemperatur, bei der die Summe der Energiekosten für die Wärmeversorgung des Verkaufs und den Strombedarf der zentralen Kälteerzeugung minimal wird.

Diese Summe ist in Bild 7 für einen warmen Markt und unterschiedliche Kostenverhältnisse von Strom und Wärme dargestellt. Darin ist zu erkennen, dass bei einem Kostenverhältnis von 1:1, also gleichen Arbeitspreisen für Strom und Wärme, eine möglichst hohe Verflüssigungstemperatur gewählt werden sollte.

Bereits bei einem Kostenverhältnis von 1,5:1, was im vorliegenden Fall einem Wärmepreis von 40 €/MWh entspricht, liegt die optimale Verflüssigungstemperatur bei 20 °C. Dieser Fall kann so interpretiert werden, dass hier der Einsatz einer Wärmerückgewinnung nicht mehr sinnvoll ist. In Bild 8 sind die gleichen Abhängigkeiten für einen kalten Markt dargestellt. Hierbei verschieben sich die optimalen Verflüssigungstemperaturen für die verschiedenen Preisverhältnisse etwas zu niedrigeren Werten hin. Es ist zu erkennen, dass bei einem Kostenverhältnis von 1:1 sich eine optimale Verflüssigungstemperatur von ca. 32 °C ergibt. Auch hier kann die Wärmerückgewinnung bei einem Preisverhältnis von 2:1 nicht als sinnvoll bezeichnet werden.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass der Einsatz einer Wärmerückgewinnung aus der zentralen Kältetechnik für die Beheizung des Verkaufs sehr differenziert be-



**Bild 6: Einfluss der Verflüssigungstemperatur auf den Energiebedarf**

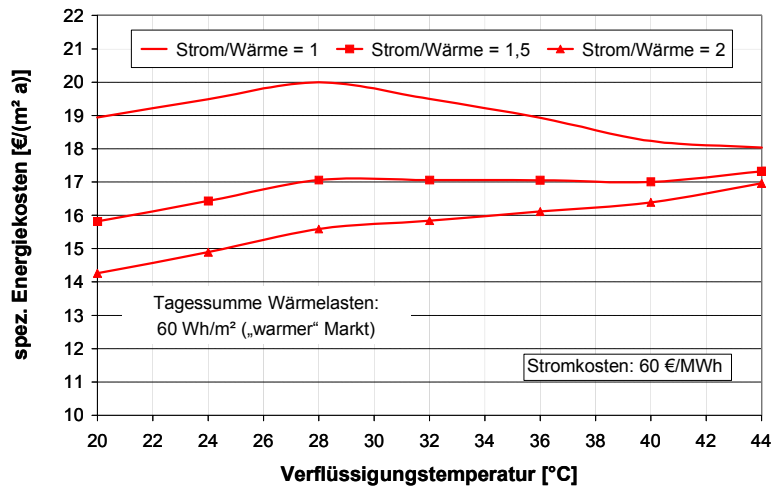


Bild 7: Einfluss der Verflüssigungstemperatur auf die Energiekosten (Summe aus Wärmebedarf + Strombedarf Kältetechnik) für einen warmen Markt

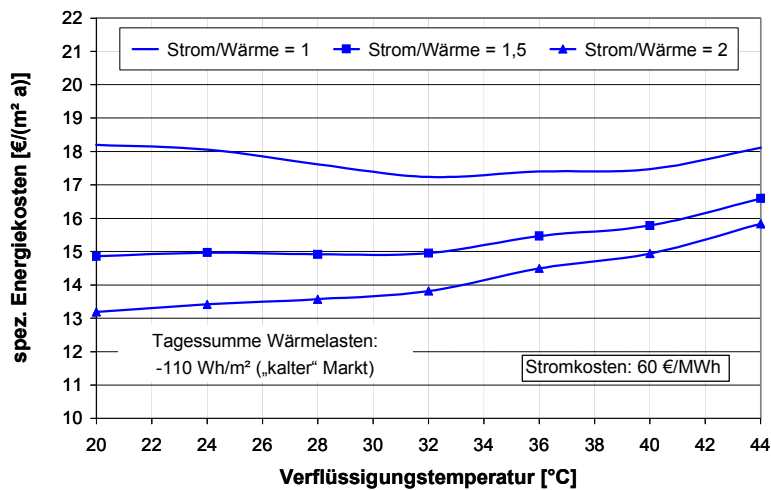


Bild 8: Einfluss der Verflüssigungstemperatur auf die Energiekosten (Summe aus Wärmebedarf + Strombedarf Kältetechnik) für einen kalten Markt

trachtet werden muss. Eine Hilfsgröße, die eine Bewertung erleichtert, kann dabei die Unterteilung in „warme“ und „kalte“ Märkte sein.

## Gezielte Bedarfskontrolle durch Benchmarking

Die beschriebene Unterteilung in „warme“ und „kalte“ Märkte ist zudem ein wesentlicher Indikator, wenn es um die Bewertung des Heizwärmebedarfs eines Supermarktes

geht. Üblicherweise werden Supermärkte anhand der absoluten Werte des flächenbezogenen Heizwärmebedarfs miteinander verglichen.

Dieser flächenbezogene Heizwärmebedarf reicht als Benchmarking-Kenngröße allerdings nur bedingt aus, wie in Bild 9 dargestellt ist. Hier wurde ein Benchmarking für verschiedene Märkte mit einer jeweiligen Verkaufsfläche von ca. 2000 bis 4000 m<sup>2</sup> durchgeführt. Dabei ist die Tagessumme der

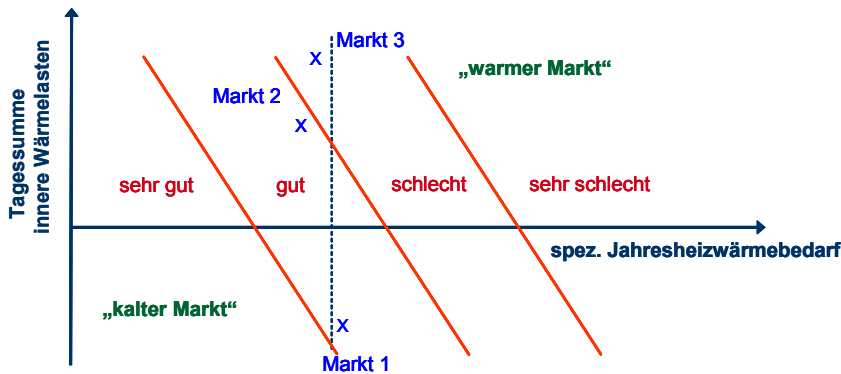


Bild 9: Gezielte Bedarfskontrolle durch Benchmarking

inneren Wärmelasten als zusätzlicher Parameter eingeführt und in einem Bewertungsschema berücksichtigt worden. Mit dieser zusätzlichen Einflussgröße ergeben sich andere Schlussfolgerungen aus dem Heizwärmebedarf eines Marktes. So würde nach dem absoluten Wert des flächenbezogenen Heizwärmebedarfs der größte Handlungsbedarf im Markt I gesehen werden, während das erweiterte Bewertungsschema diesen Markt als „gut“ ausweist. Das Bewertungsschema macht deutlich, dass das größte Einsparpotential in Markt 3 zu finden ist, obwohl dieser einen geringeren spez. Jahresheizwärmebedarf als der Markt I hat.

## Zusammenfassung

Durch den Einsatz einer dynamischen Gebäude- und Anlagensimulation bei der Untersuchung von Supermärkten ist eine sehr detaillierte Analyse des Energiebedarfs möglich. Die Untersuchungen haben beispielsweise ergeben, dass der Einsatz einer Wärmerückgewinnung aus der Kälteerzeugung zur

Einkopplung in die Lüftungstechnik sehr differenziert zu betrachten ist. Der steigende Strombedarf der Kältetechnik bei einer Anhebung der Verflüssigungstemperatur wird nur in besonderen Fällen durch die nutzbare Abwärme wieder ausgeglichen. Wesentliche Einflussgrößen hierbei sind der Verlauf des Wärmebedarfs und das Preisverhältnis zwischen Strom und Wärme. Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Wärmerückgewinnung ist es zudem hilfreich, die betrachteten Supermärkte in „kalte“ und „warme“ Märkte zu unterteilen. Diese Unterteilung wurde auf der Basis der Tagessumme der inneren Wärmelasten eingeführt. Durch den unterschiedlichen Verlauf des Heizwärmebedarfs (kalte Märkte haben längere Heizperioden) ergeben sich unterschiedliche Werte für die optimale Verflüssigungstemperatur. Auch für den Vergleich des Heizwärmebedarfs verschiedener Supermärkte bietet die genannte Unterscheidung in kalte und warme Märkte einen zusätzlichen Nutzen. Die zusätzliche Einflussgröße ergibt ein anderes



Bild 10: Bei Supermärkten muss man zwischen „warmen“ und „kalten“ Märkten unterscheiden

Bewertungsschema als die singuläre Betrachtung des flächenbezogenen Heizwärmebedarfs. Darüber hinaus sind in den untersuchten Märkten unterschiedlich hohe Energiekosteneinsparpotentiale festgestellt worden, die durch nicht oder gering investive Maßnahmen erzielt wurden. Die Größenordnung der Einsparpotentiale war wiederum abhängig von dem eingeführten Bewertungsschema. Die Durchschnittswerte lagen bei etwa:

- 10 % bei „kalten“ Märkten
- 15 % bei „warmen“ Märkten

Insgesamt kann damit gesagt werden, dass die Unterteilung in kalte und warme Märkte auf der Basis der Tagessumme der inneren Wärmelasten einen erheblichen Nutzen bei der detaillierten Betrachtung des Energiebedarfs bietet.

## Dr.-Ing. Stella Schraps,

perpendo Energie- und Verfahrenstechnik GmbH,  
Aachen