

## ALDI 2010 - Hocheffizienter Supermarkt mit geothermiegestütztem

### CO<sub>2</sub>-Kälteverbund

Dipl.-Ing. Nicolas Réhault, Dr.-Ing. Doreen Kalz

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg

#### Kurzfassung

ALDI SÜD saniert und baut jährlich ca. 100 Filialen in Deutschland und setzt dabei konsequent auf einen einheitlichen Qualitätsstandard, der sich sowohl in der Architektur als auch in der anlagentechnischen Ausstattung der Märkte wiederfindet. Mit der neuen Filiale in Rastatt sollte die Effizienz deutlich gesteigert werden und beispielgebend für weitere Märkte sein. Ein neuartiges Energiekonzept wurde erarbeitet, das durch die sinnvolle Kombination zahlreicher Einzelmaßnahmen in den Bereichen Kälteerzeugung, Kühlmöbel, Gebäudehülle und Haustechnik den Primärenergiebedarf um 23 Prozent gegenüber einer Standardfiliale reduzieren konnte. Im Kern des Konzepts steht einer geothermisch gestützte CO<sub>2</sub>-Kälteverbund, der mittels Abwärmenutzung alle Energiedienstleistungen im Bereich Wärme und Kälte abdeckt. Der Supermarkt wurde einem zweijährigen intensiven wissenschaftlichen Monitoring unterzogen, das eine detaillierte Auswertung und eine Optimierung des Betriebs und der Effizienz des Konzepts lieferte.

#### Architekturkonzept

Der Neubau ist eine hochwärmegedämmte Betonfertigteilkonstruktion mit Flachdach und weicht daher in der Baukonstruktion von einer Standardfiliale ab. Die Dachkonstruktion besteht aus Brettschichtholzbindern. Auf den Einbau einer abgehängten Decke wurde verzichtet, um die Lichtverteilung im Raum nicht durch Schächte zwischen Oberlicht und Decke zu behindern. Zur Tageslichtnutzung wurden 28 gleichmäßig über

über dem Verkaufsraum verteilte Oberlichter realisiert. Die circa 2 x 2 Meter großen Flachglasöffnungen wurden in 3-fach Verglasung ausgeführt und sind mit Microraster im Scheibenzwischenraum ausgestattet. Die Öffnungen dieser Microraster sind nach Norden gerichtet und lassen das kühle, diffuse Tageslicht fast ungehindert in den Innenraum, die vom Süden auftreffende direkte Sonnenstrahlung dagegen wird reflektiert. Durch den Einsatz dieser Verglasung werden die Waren geschützt und die Aufheizung des Innenraums wirkungsvoll verhindert.



Abb. 1 Außenansicht auf die ALDI SÜD Filiale – Biblisweg 2 in Rastatt

In der Planungsphase wurde eine besondere Aufmerksamkeit der Vermeidung von Wärmebrücken und der Erfüllung der Luftdichtigkeit gewidmet. Zum Beispiel wurde eine neue Konstruktion mit umlaufenden Dichtungen für die Überladebrücke, die eine massive Wärmebrücke darstellt, realisiert. Die Gebäudehülle erreicht Passivhausstandard. Die

gemessene Luftwechselrate liegt mit  $n_{50}=0.47 \text{ h}^{-1}$  unterhalb den Passivhausanforderungen.

## Energie- und Klimakonzept, technologische Innovationen

In diesem Vorhaben verfolgte ALDI SÜD das Ziel der Entwicklung eines zukunftsweisenden Gesamtkonzepts, das sich durch ein Höchstmaß an Energieeffizienz und Nachhaltigkeit auszeichnet. Im Rahmen dieses Projektes sollten die Umweltverträglichkeit und die Energieeffizienz eines ALDI-Supermarkts auf freiem Gelände deutlich gesteigert werden. Dafür wurden Einzelmaßnahmen im Bereich Kälteerzeugung, Kühlmöbel und Haustechnik kombiniert. Die Maßnahmen wurden zunächst auf ihre technische und wirtschaftliche Eignung geprüft, ehe erfolgsversprechende Lösungen in die Ausschreibung übernommen wurden.

Im Kern des Konzepts steht ein geothermiegestützter  $\text{CO}_2$ -Kälteverbund der Fa. Hafner-Muschler, der mittels einer konsequenten Abwärmenutzung alle Energiedienstleistungen im Bereich Wärme und Kälte abdeckt. Dadurch konnten die üblichen Versorgungsanlagen, wie ein Gaskessel zur Beheizung und ein Klimagerät zur Kühlung des Marktes, entfallen.

Ein Schwachpunkt von  $\text{CO}_2$ -Kälteanlagen ist, dass sie im Falle eines außenluftgekühlten Gaskühlers bei hohen Außentemperaturen deutliche Einbußen bei der Leistungszahl aufweisen. Durch die Kombination mit einer Geothermieanlage zur Unterkühlung des Kältemittels konnte dieser Effekt reduziert werden.

Weiter konnte durch eine Effizienzsteigerung der Kühlmöbel, der Nutzung vom Tageslicht, der Verbesserung der Gebäudehülle, sowie durch eine Optimierung bzw. Anpassung der haustechnischen Verteilsysteme eine deutliche Reduzierung des Energiebedarfs erreicht werden.

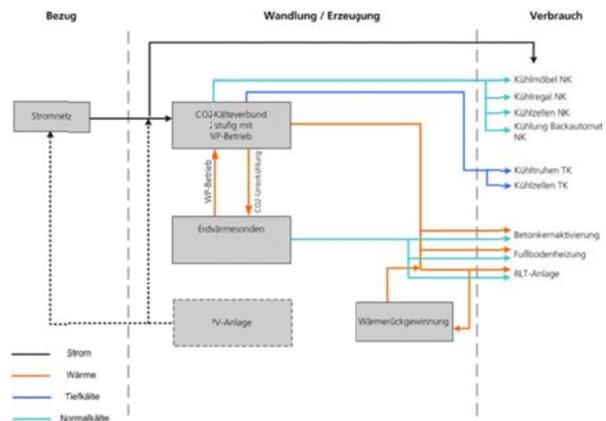


Abb. 2 Energieflussschema im Supermarkt

## Monitoring und Betriebsoptimierung

Während der Monitoringphase wurde der energetische Betrieb der verschiedenen Anlagen kontinuierlich überwacht und ausgewertet. Optimierungspotentiale konnten identifiziert und Energieeinsparmaßnahmen umgesetzt werden. Der energetische Betrieb des Kälteverbunds wurde mit dem Einsatz eines von der Fa. Wurm GmbH entwickelten Regelverfahrens zur Optimierung der Verdampfungstemperaturen in Kühlstellen verbessert. Mit diesem Regelverfahren werden die Verdampfungstemperaturen der Kühlstellen ständig neu berechnet, um die einwandfreie Qualität der Kühlprodukte und einen energiesparsamen Betrieb der Verdichter zu sichern. Es wurde eine außenlufttemperaturabhängige Hochdruckregelung für die subkritische Betriebsweise der Anlage getestet und im Juli 2013 vollständig implementiert. Der Effekt der isolierenden Nachttrollos konnte validiert werden. Mit dieser Maßnahme konnte der Strombedarf der Kühlregale während der Schließzeiten um bis zu 70 % reduziert werden. Der Betrieb der haustechnischen Anlagen wurde verbessert. So wurden z.B. die Zeitpläne der Lüftungs- und Beleuchtungsanlagen optimiert.

## Forschungsfokus

Supermärkte sind stark mit dem Lebensstil moderner Gesellschaften verbunden, insbesondere wegen einer großen Nachfrage für frische und gekühlte Produkte. Andererseits zählen Supermärkte zu den Gebäuden mit dem größten Energieverbrauch, mit spezifischen Primärenergieverbräuchen zwischen 500 und 1300 kWh/m<sup>2</sup>.a [1]. Neben den durch Stromverbrauch verursachten indirekten Emissionen stammt auch ein Großteil der Emissionen von Supermärkten aus den Leckagen von HFKW-haltigen Kältemitteln der Kälteerzeugungssysteme. Laut einer in 2008 veröffentlichten Studie des Umweltbundesamtes 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 Bereich der stationären Kältetechnik“ [2].

Als Hauptziel verfolgte ALDI SÜD mit diesem neuen Filialenkonzept eine Reduzierung des Primärenergieverbrauchs von 29 % gegenüber einer Standardfiliale. Ein weiteres wichtiges Ziel, war das neuartige Kälteerzeugungskonzept mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) als natürlichem Kältemittel, Abwärmennutzung und Kopplung mit Erdreich zu erproben und mit weiteren Konzepten zu vergleichen. Die Energieeinsparziele und die Messwerte für die Gewerke Kälte, Heizung, Klima, Beleuchtung und Lüftung sind in der Abbildung 3 dargestellt. Für den gesamten spezifischen Primärenergieverbrauch wurde ein Zielwert von 357 kWh/m<sup>2</sup>.a definiert. 2012 konnte der Wert von 387 kWh/m<sup>2</sup>.a und somit eine Minderung des Primärenergieverbrauchs von 23 % erreicht werden. Die direkten Treibhausgasemissionen des ALDI Supermarkts konnten durch die Nutzung von CO<sub>2</sub> fast vollständig eliminiert werden. Gegenüber einer Standardfiliale, die z.B. das Kältemittel R404A für die Kälteerzeugung verwenden würde, wurden die direkten und indirekten Treibhausgasemissionen um ca. 40 % reduziert.

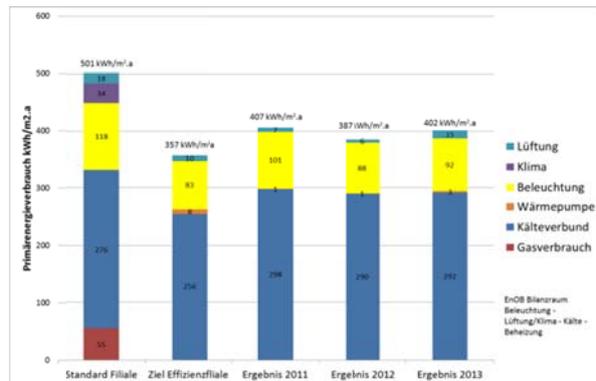


Abb. 3 spezifischer Primärenergieverbrauch  
 - Vergleich der Referenz- und Zielwerte mit Ergebnissen

## Lessons Learnt

Mit diesem Projekt konnte der jährliche Primärenergieverbrauch des 2010 errichteten ALDI Supermarktes in Rastatt gegenüber dem Verbrauch einer Standard-Filiale um 23 % reduziert werden. Das Ziel einer Reduktion um 29% konnte somit nur annähernd erreicht werden. Die Diskrepanz zwischen dem Zielwert und dem erreichten Wert lässt sich hauptsächlich auf den Kälteverbund zurückführen. Aufgrund der suboptimalen Auslegung der Hydraulik konnte die Effizienz des Kälteprozesses durch die Kopplung mit der Geothermieanlage nur um 6 % anstatt der geplanten 15 % gesteigert werden. Zudem ist diese Anlage ein Prototyp, sie ist die erste transkritische CO<sub>2</sub>-Kälteanlage mit Booster-Schaltung, die die Fa. Hafner-Muschler entwickelt und gebaut hat. Zum einen war es notwendig, das Know-How über den Betrieb und die Regelung einer solchen Anlage aufzubauen, zum anderen wurden verschiedene bauliche und regelungstechnische Optimierungspotentiale, die Energieeinsparungen ermöglichen, im Laufe eines intensiven Monitorings identifiziert und in sukzessiven Schritten implementiert, teilweise jedoch erst gegen Ende der Projektlaufzeit. Beispielsweise konnte die außenlufttemperaturabhängige Hochdruckregelung für die subkritische Betriebsweise der Anlage erst im Juli 2013 vollständig und erfolgreich implementiert werden. Verschiedene bauliche Optimierungsmöglichkeiten der Anlage wurden während des

Monitorings vom Kälteanlagenhersteller erkannt und sind in die Weiterentwicklung und die Herstellung des Kälteverbunds eingeflossen. Als wichtigste bauliche Veränderungen sind der Einsatz von kleineren transkritischen Verdichtern, die Nutzung von energetisch optimierten steckerfertigen Tiefkühltruhen mit Propan als Kältemittel und die hydraulische Optimierung der Geothermieanlage zu nennen. Dieser neue Kälteverbund wurde im Herbst 2012 in einer weiteren ALDI SÜD Filiale in Hügelsheim (BW) umgesetzt und in Betrieb genommen. Auswertungen aus dem Jahr 2013 zeigen, dass der Energieverbrauch für die Kälte- und Wärmeerzeugung mit dieser Anlage um weitere 12 % gegenüber der Filiale in Rastatt gesenkt werden konnte. Diese neue Entwicklung zeigt, dass das gesetzte Energiereduktionsziel mit einer Anlage der hier beschriebenen Art erreichbar ist.

Mit dem neuen Tageslichtsystem und der tageslichtabhängigen Kunstlichtregelung konnte der Stromverbrauch für die Beleuchtung des Supermarkts im Rahmen dieses Projekts um 23 % gegenüber dem Stromverbrauch einer Standardfiliale reduziert werden. Seitens des Betreibers bleibt diese Lösung trotz der Einsparungen unwirtschaftlich und wird deshalb nicht weiter verfolgt. Dagegen konnten die neuen Heizungs- und Belüftungskonzepte erfolgreich validiert werden. ALDI SÜD hat diese bereits in den Bau einer neuen Filiale übernommen.

## Förderung

Das diesem Artikel zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 0327894-A gefördert.

## Referenzen

- [1] Benchmarking ALDI SÜD, Fraunhofer ISE, 2008
- [2] Vergleichende Bewertung der Klimarelevanz von Kälteanlagen und –geräten für den Supermarkt, Umweltbundesamt, 2008