



Dr. Steinmaßl

MANAGEMENTBERATUNG

BASIS-STUDIE

KÜHLREGALE IM LEH

LEITFADEN FÜR EINEN EFFIZIENTEN BETRIEB

4 UMRÜSTUNG VORHANDENER KÜHLREGALE 51

4.1 F-Gase-Verordnung.....52

4.1.1 Auswirkungen auf bestehende Kälteanlagen im LEH.....52

4.1.2 Erste Marktreaktionen auf die F-Gase-Verordnung.....53

4.2 Nachrüstung von Türen vor offenen Kühlregalen.....55

4.2.1 Grundlagen.....55

4.2.2 Suche nach Antworten auf der Euroshop 2017.....56

4.2.3 Vergleichsmessung Regale mit und ohne Türen.....56

4.2.4 Erkenntnisse aus unserer Beratungspraxis.....58

4.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse.....59

4.2.6 Türen vor die Kühlregale: Eine Geschichte aus der Praxis.....60

4.3 Konditionierung der Marktluft.....62

4.3.1 Begrifflichkeiten62

4.3.2 Allgemeines zu Lüftungsanlagen in Supermärkten.....63

4.3.3 Kosteneinsparung durch weniger Lüftung?.....64

4.3.4 Einfluss der Luftfeuchte auf den Energiebedarf.....64

4.3.5 Gibt es eine Wechselwirkung zwischen Regal und Raumklima?.....65

4.4 Praxismessung einer Lüftungsanlage im Supermarkt.....67

4.4.1 Ausgangslage.....67

4.4.2 Randbedingungen des Experiments.....68

4.4.3 Beobachtungen und Erkenntnisse aus dem Experiment.....68

4.5 Erfordern nachgerüstete Türen eine Klimaanlage?.....69

4.5.1 Wärmebilanz eines Vollsortimenters im LEH.....70

4.5.2 Wärmebilanz „Discountmarkt“.....72

4.5.3 Wärmebilanz eines Kühlmöbels.....73

4.5.4 Vergleich Wärmebilanz Berechnung und Messung.....74

4.5.5 Welche Kosten verursacht eine zusätzliche Klimaanlage?.....74

4.6 Ist der Wechsel alter Ventilatorlüfter sinnvoll?.....75

4.6.1 Grundlagen Ventilatormotoren.....75

4.6.2 Praxisbeispiel Austausch Lüftermotoren.....77

4.6.3 Allgemeine Annahmen zur Berechnung.....79

4.6.4 Berechnungsergebnisse.....81

4.7 Lohnt sich eine Umrüstung auf LED-Beleuchtung?.....83

4.7.1 Verbesserung von Lichtausbeute und Leuchteffizienz.....84

4.7.2 Eingesetzte Beleuchtungstechnik.....86

4.7.3 Variante 1: Umstellung TK-Regal T8 KVG zu LED.....86

4.7.4 Variante 2: Umstellung TK-Regal T8 EVG zu LED.....88

4.7.5 Variante 3: Umstellung NK-Regal T8 EVG zu LED.....89

4.7.6 Variante 4: Umstellung Kühlregal T5 zu LED.....89

4.7.7 LED: Wohin geht die Reise?.....90

5 Informationen über energieeffiziente Geräte 91

ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....94

TABELLENVERZEICHNIS.....95

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....96



Ressourceneffizienz

Das Beratungsportfolio der Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG erstreckt sich über vier Geschäftsfelder:

- Betriebswirtschaftliche Beratung (Strategieentwicklung, Kostensenkung)
- Coaching (falls Sie sich persönlich weiterentwickeln möchten)
- Wirtschaftsmediation (als kostengünstige Konfliktlösung)
- Ressourceneffizienzberatung (Ihre Versicherung gegen Kostensteigerungen)

Unser Unternehmen führt jedes Jahr deutschlandweit zahlreiche Energieeffizienzberatungen durch und weist damit die meisten positiven Referenzen in der KfW-Beraterdatenbank auf.

Im Rahmen der Ressourceneffizienzberatung verfolgt die Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG einen ganzheitlichen Ansatz. Dabei werden fünf Bereiche, nämlich



Rohstoffeffizienz



Personalaufwand und bezogene Leistungen



Energieeffizienz



Wertstoff- und Entsorgungsmanagement



verantwortungsvolle Wassernutzung

nach ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten untersucht. Daraufhin werden praxisorientierte Maßnahmen und Konzepte zur Effizienzsteigerung erarbeitet und auf Wunsch zusammen mit unseren Mandanten umgesetzt.

Die vorliegende Studie ist in eine Zusammenfassung, die Kernstudie und einen Anhang gegliedert. Für den eiligen Leser reicht es, die Zusammenfassung zu studieren. Alle wichtigen Ergebnisse sind darin aufgeführt. Auf welcher Basis unsere Erkenntnisse entstanden, sind der Kernstudie zu entnehmen. Dem Kreis der technisch interessierten Personen sei auch der Anhang empfohlen, der im Vergleich zu anderen Studien die Materie tiefer beleuchtet.

Wann sollte ein altes Kühlregal ausgetauscht werden?

- Ab einem Strombedarf von 4.650 kWh/lfm•a (LEH) und 5.150 kWh/lfm•a (Discounter) ist ein Austausch der Kühlregale besonders lukrativ. Bei einem Zeithorizont von 15 Jahren und 20 laufenden Metern Kühlregal liegt der Kapitalwert der Investition bei 83.000 EUR und darüber. Kapitalkraft, die im harten Wettbewerb ansonsten fehlt.
- Ein Austausch bestehender Kühlregale ohne vorherige Messung des tatsächlichen Strombedarfs würde in rund 15 % der Fälle zu einer Fehlentscheidung führen¹ und in weiteren 40 % unter einer Kapitalverzinsung von 15 % liegen.
- Da die Bandbreite des Strombedarfes außerordentlich hoch ist, lohnt es sich bereits bei einem Strombedarf ab ca. 4.000 kWh/lfm•a auf Basis eines konkreten Angebotes genau nachzurechnen.
- Rund 45 % der Regal-Altbestände sollten aus wirtschaftlicher Sicht umgehend ausgetauscht werden.²
- Neuere Kühlregale weisen tendenziell einen geringeren Strombedarf auf als die älteren Generationen.
- Die Spreizung beim Strombedarf von neuen Kühlregalen ist noch immer hoch. Das bedeutet: vor dem Kauf die Augen offen halten, Angaben kritisch hinterfragen und die Strombedarfe miteinander vergleichen.

Sollen neue Kühlregale verglast sein und falls ja, welche Türen gilt es anzubringen?

- Nach unserer Erfahrung sind im Normalfall keine Umsatzeinbußen durch Türen vor Kühlregalen zu erwarten. Tendenziell ist das Gegenteil zu erwarten.
- Durch Türen vor den Kühlregalen herrscht ein angenehmeres Raumklima im Markt (offene Kühlregale entfeuchten die Raumluft).
- Die NK-Kälteanlage (Kompressor) kann deutlich kleiner ausgelegt werden.
- Wirtschaftlich rechnen sich Regale mit Türen.
- Falls das neue Ladenkonzept keine Teilklimaanlage vorsieht, kann eine konsequente Kühlregalverglasung dazu führen, dass doch eine Teilklimaanlage installiert werden muss. Dies muss gesondert geprüft werden und kann die wirtschaftliche Umsetzung verhindern.
- Drehtüren sind bei ausreichendem Platz Schiebetüren immer vorzuziehen.

Worauf gilt es, bei Beleuchtung und Design zu achten?

- Licht verkauft! Dementsprechend müssen eine hohe Farbbrillanz und gleichmäßige Warenbeleuchtung gewährleistet sein.
- LEDs benötigen für dieselbe Helligkeit im Vergleich zu konventionellen T5- oder T8-Leuchtstoffröhren weniger Strom, haben bei niedrigen Temperaturen einen höheren Wirkungsgrad und vermeiden ein Vergrauen der Ware, da Infrarot- und UV-Lichtanteile weitgehend fehlen.

¹ Bei den 200 von uns untersuchten Märkten lagen 15 % der Kühlregale bei einem Strombedarf über 3.500 kWh/lfm•a.

² Von den rund 40.000 deutschen LEH-Unternehmen hat die Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG lediglich rund 3 % erfasst. Die 200 zufällig ausgewählten Märkte mit Kälteanlagen und Kühlregalen aus 2010 und älter können damit kein repräsentativer Querschnitt des deutschen LEH sein. Die Auswertungen sind allerdings umfangreich genug, um sich einen ersten Überblick, eine tendenzielle Auskunft zum Energiebedarf von Kühlregalen zu verschaffen.



- In jedem Fall muss auf die Wirtschaftlichkeit geachtet werden, da in neuen Kühlregalen häufig der Posten „Beleuchtung“ nicht beachtet wird und von Kühlmöbelherstellern gerne überhöhte Preise angesetzt werden.
- Neue Kühlregale sollten, bei angemessenen Preisen, ohne Ausnahme mit LED-Beleuchtung bestückt werden.
- Zum bewussten Einsatz verglaster Kühlmöbel wurde bereits ausführlich in unserer Basis-Studie zu steckerfertigen Kühlmöbeln im LEH Stellung bezogen. Die Studie kann kostenlos unter: <https://steinmaszl.com/publikationen/studien> auf den eigenen Rechner geladen werden.
- Egal für welche Designvariante Sie sich entscheiden, die optimale Präsentation der Verkaufsware muss im Vordergrund stehen.

Kälteverbund oder Einzelanlagen und Wahl des Kältemittels

- Der Kauf einer neuen Kälteanlage ist eine komplexe Angelegenheit. Unabhängiger Expertenrat sollte vor einer Entscheidung in jedem Fall eingeholt werden.
- Pauschale Aussagen können ohne gründliche Einzelfallprüfung nicht getroffen werden.
- Zwei Szenarien sollten im Rahmen einer Nutzwertanalyse immer abgebildet werden: einerseits eine Einzelanlagenlösung, d. h. Kühlregale mit wassergekühltem Verflüssiger (steckerfertig, Kältemittel Propan [R290], in der Regel auch am energieeffizientesten), andererseits eine Verbundlösung mit CO₂.
- Bei kleinen Kälteanlagen ist der Einsatz von CO₂-Anlagen völlig unwirtschaftlich. Hier gilt es in jedem Fall, die Einzelanlagenlösung zu wählen, d. h. geschlossene Wandkühlregale mit Wasseranschluss.

Wichtiges zur F-Gase-Verordnung

- Für Neuanlagen sollten natürliche Kältemittel vorrangig berücksichtigt und ernsthaft geprüft werden.
- Die F-Gase-Verordnung hat drastische Auswirkungen auf den LEH, sofern noch Kälteanlagen mit dem Kältemittel R404A/R507/R134a betrieben werden.
- Die signifikanten Preissteigerungen bei den Kältemitteln haben bereits 2017 begonnen. Die Umstellung auf Ersatzkältemittel (z. B. R407F) wird dringend empfohlen.

Sollen offene Kühlregale mit Türen nachgerüstet werden?

- Alle Erhebungen, sowohl unsere eigenen als auch die am Markt befindlichen Studien, bestätigen eine Stromeinsparung.
- Je kälter das Kühlregal eingestellt und je wärmer sowie feuchter die Luft im Verkaufsraum ist, desto höher ist der Energieaufwand zur Kälteerzeugung und damit auch das Stromeinsparpotential.
- Das Nachrüsten von Türen ohne gesonderte Überprüfung der Gegebenheiten (Belüftung) vor Ort kommt einem betriebswirtschaftlichen Blindflug gleich.
- Wir gehen davon aus, dass rund 30% der bisher in den Märkten nachgerüsteten Türen wirtschaftlich nicht vertretbar sind oder sich im Grenzbereich, d. h. um den Break-even-Point bewegen.

Auf welches Kältemittel soll ich setzen?

- Wo immer möglich, sollte auf natürliche Kältemittel gesetzt werden.
- Vor einer Entscheidung, welches Kältemittel bevorzugt wird, sollten in jedem Fall die oftmals energieeffizienteren Alternativen mit R290 (Propan) geprüft werden.

Wechselwirkungen zwischen Regal und Raumklima

- Je kälter das Kühlregal eingestellt und je wärmer sowie feuchter die Luft im Verkaufsraum ist, desto höher ist der Energieaufwand zur Kälteerzeugung und damit auch das Stromesparpotential.

Wie kann ich den Energiebedarf offener Kühlregale signifikant absenken?

- Eine über den Besucherstrom angepasste Lüftungsanlage kann den Strombedarf offener Kühlregale maßgeblich beeinflussen, da der Energiebedarf der Regale primär von der Feuchte der eindringenden Umgebungsluft bestimmt wird. Diese muss vom Regal gekühlt und entfeuchtet werden. Für die Modernisierung der raumluftechnischen Anlage gibt es bis zu 30 % Zuschuss vom BAFA.
- Je wärmer sowie feuchter die Luft im Verkaufsraum, desto höher ist der Energieaufwand zur Kälteerzeugung und damit der Energiebedarf des offenen Kühlregals.
- Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse ist die bei Messungen vorgefundene extreme Bandbreite im Strombedarf von offenen Kühlregalen keine Überraschung mehr.

Resümee zur Frage: Wann wird eine Klimaanlage notwendig?

- Sind die Temperaturen an warmen Sommertagen in einem Markt tendenziell bereits sehr hoch, verstärken nachgerüstete Türen vor Kühlregalen dieses Problem. Eine nachträgliche Raumklimatisierung wird in diesem Fall kaum zu umgehen sein.
- Ein in der Vergangenheit bei sommerlichen Temperaturen unkritischer Markt wird sich auch bei nachgerüsteten Türen sehr wahrscheinlich unkritisch verhalten, sofern Beleuchtung und Lüftung ebenfalls eine Nachrüstung auf den Stand der Technik erfahren haben.
- In allen anderen Fällen gilt es, eine sorgfältige Energiebilanz zu erstellen. Die Kosten einer aufwendigen Gebäudesimulation sind in diesem Fall unternehmerisch gegen die möglicherweise unnötigen Investitionskosten einer Klimaanlage abzuwägen.

Lohnt sich ein Wechsel der Ventilatorlüfter bei älteren Kühlregalen?

- Wir haben hier eine sehr pragmatische Ansicht: Wenn das Kühlregal voraussichtlich noch sechs Jahre und länger genutzt wird (vgl. Zahlungsplan), sollte ein Wechsel der Ventilatorlüfter in jedem Fall erfolgen. Voraussetzung ist auch hier ein faires Angebot des Kältedienstleisters.
- Bei einer Nutzungsdauer von 10 Jahren liegt die Rendite in einer Größenordnung von 36 % bis zu 50 % p. a.
- Sollte die 30%-Förderung des BAFA in Anspruch genommen werden, sinkt die Amortisationszeit auf zwei Jahre.
- Bei Reparaturen sollten ausnahmslos energiesparende EC-Motoren eingesetzt werden.

Lohnt sich ein Beleuchtungswechsel bei alten Kühlregalen?

- Was ist die Motivation? In der Regel ist nicht das ökologische Gewissen, sondern sind allein wirtschaftliche Überlegungen die treibende Kraft.
- Moderne LEDs können auf allen Gebieten punkten.
- Wichtig ist, dass innerhalb der Garantiezeit der Break-even erreicht wird.
- Fünf Hauptkriterien sind für die Wirtschaftlichkeit eines Beleuchtungswechsels von Bedeutung:
 - die System-Leistungsaufnahme der Leuchte (T8/T5/EVG/VVG/KVG)
 - die jährliche Brenndauer der Leuchtmittel
 - die Kosten für die Ersatzinvestition
 - die Abschreibungsmöglichkeiten
 - die Restnutzungsdauer des Regals im Markt



- Der Austausch von T8-Leuchtmitteln weist interne Verzinsungen von 50 % und mehr auf und ist hochlukrativ.
- Der Austausch von T5-Leuchtmitteln amortisiert sich in der Regel nicht innerhalb der Gewährleistungsfrist und sollte besonders kritisch hinterfragt werden.
- LED-Leuchtmittel, die nicht über Qualitätszertifikate wie VDE oder ENEC verfügen, sollten ohne triftige Gründe nicht verbaut werden.

Wer sich herstellerunabhängig über energieeffiziente Geräte informieren möchte, dem sei die Webseite <http://www.topten.eu> empfohlen.

Rückblick

Im Jahr 2014 haben wir unsere erste Basis-Studie³ über steckerfertige Kühlmöbel im Lebensmitteleinzelhandel veröffentlicht und dabei unter anderem extreme Energieschleudern identifiziert. Seither erfolgten etwas mehr als 30.000 Downloads der Studie von unserer Webseite. Vielen Dank für Ihr Interesse. Unsere damalige Zielsetzung, ein in der Branche vorherrschendes Informationsdefizit über den Strombedarf steckerfertiger Kühlmöbel deutlich zu reduzieren, ist uns damit gelungen.

Branchenexpertise

Die Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG hat im Jahr 2008 ihre Aktivitäten in der Energieeffizienzberatung aufgrund einer dynamischen Auftragsentwicklung in einem eigenen Geschäftsbereich gebündelt. Vor dem Hintergrund des Megatrends „Digitalisierung“ wurde 2016 ein Online-Tool entwickelt, das Energiemengen und -kosten übersichtlich darstellt, vergleicht und Potentiale aufzeigt. Unsere Mandanten haben das Tool sehr positiv beurteilt, sodass in einem weiteren Schritt zusätzliche Ressourcenkosten wie zum Beispiel Wasser/Abwasser, Wertstoffe und Entsorgung, Reinigung oder Schädlingsbekämpfung aufgenommen wurden. Seit Anfang 2018 ist SteinReCs (Steinmaßl-Ressourceneffizienz-Controllingsystem) für den Lebensmitteleinzelhandel, aber auch für weitere ausgewählte Branchen, in vollem Funktionsumfang verfügbar. Auf dieser Basis waren umfangreiche Auswertungen möglich, die dieser Studie zugrunde liegen.

Zielsetzung

Die Welt wurde komplexer. Durch neue Technologien wird das besonders sichtbar. Diese Entwicklung hat in vielen Bereichen deutlich an Geschwindigkeit zugenommen. Dadurch kann es auch für den Einzelnen kompliziert werden. So treten mittlerweile zahlreiche Fragestellungen bei vergleichsweise einfachen Vorgängen wie dem Kauf neuer Kühlregale auf. Obwohl Wissensdefizite in der Branche vorliegen, bleibt die Forschung allgemeinverständliche Antworten schuldig. Auch branchennahe Unternehmen scheinen sich, im Gegensatz zu früher, deutlich seltener zuständig zu fühlen, wenn es um kostenfreie Dienstleistungen wie Untersuchungen und belegende Messungen geht.

Unsere neue Studie möchte folgende Fragen beantworten:

Kauf neuer Kühlregale

- Wann sollte ein altes Kühlregal ausgetauscht werden?
- Soll ich bei neuen Kühlregalen eine offene oder geschlossene Variante wählen?
- Bei geschlossenen neuen Kühlregalen, wähle ich die Drehtüren- oder Schiebetürenvariante?
- Welche Beleuchtung soll ich wählen?
- Welches Design (Glasanteil) ist besonders energieeffizient?
- Setze ich bei mehreren Regalen auf einen Kälteverbund oder besser auf Einzelanlagen?
- Auf welches Kühlmittel soll ich setzen, um in Zukunft auf der sicheren Seite zu sein (F-Gase-Verordnung, was ist wichtig)?

³ Unter einer Basis-Studie verstehen wir das Schaffen eines grundlegenden Verständnisses zu einer bestimmten Fragestellung. In der vorliegenden Studie werden aktuelle Fragestellungen zu Kühlregalen von Grund auf beschrieben und praxisnahe Antworten geliefert.



Umrüstung vorhandener Kühlregale

- Muss ich bei meinen vorhandenen Kühlregalen hinsichtlich der Kältemittel besorgt sein?
- Soll ich bei meinen vorhandenen offenen Kühlregalen Türen nachrüsten?
- Lohnt es sich, die alten Ventilatorlüfter auszuwechseln?
- Wann lohnt sich die Umrüstung auf LED?

Zum Anfertigen dieser Studie waren rund 140 Stunden für Messungen und 300 Stunden für konzeptionelle und Recherchearbeiten notwendig. Das Schreiben schließlich hat ca. 220 Stunden gedauert. Diese Arbeit stellen wir allen interessierten Lesern pro bono zur Verfügung.

Durch unsere zweite Basis-Studie beabsichtigen wir, die Lebensmitteleinzelhändler praxisorientiert zu unterstützen. Einerseits möchten wir dazu beitragen, den Energiebedarf zu reduzieren und andererseits die Wettbewerbsfähigkeit des LEH nachhaltig zu stärken.

Die Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG betrachtet diese freiwillig geleistete, professionelle Arbeit ohne Bezahlung als weiteren Beitrag zum aktiven Klima- und Umweltschutz.

Grenzen

Wenn Sie erwarten, auf den folgenden Seiten Pauschalantworten auf all Ihre Fragen zu erhalten, müssen wir Sie enttäuschen. Es kommt durchaus vor, dass es nicht DIE richtige Antwort auf eine Fragestellung gibt, sondern die äußeren Umstände berücksichtigt werden müssen.

Bitte beachten Sie, dass diese Studie geistiges Eigentum der Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG ist. Die unveränderte Weitergabe der Studie an Dritte ist Ihnen ausdrücklich erlaubt. Sie dürfen uns gerne zitieren, wir erwarten in diesem Fall, dass Sie uns als Urheber der Quelle nennen.

This study is divided into a summary, the study proper and an addendum. For readers in a hurry, it will suffice to read the summary, which contains all important findings. The basis on which these findings were made can be found in detail in the study proper. Technically inclined readers may also find the addendum interesting, which delves more deeply into the subject matter compared to similar studies.

When should old refrigerated shelves be replaced?

- The replacement of old refrigerated shelf units is particularly lucrative if their electrical power requirements exceed 4,650 kWh/m per year (food retail) or 5,150 kWh/m per year (discount store). Assuming a usage period of 15 years and 20 metres of refrigerated shelves, the capital value of the investment amounts to 83,000 EUR or more.
- Exchanging existing refrigerated shelves without prior measurement of their actual power consumption would lead to a wrong decision in around 15 % of cases¹ and produce a return on capital of less than 15 % in a further 40 % of cases.
- As the bandwidth of power consumption is extremely high, it generally pays off to perform financial calculations on the basis of a concrete offer starting at power requirements of around 4,000 kWh/m per year.
- Around 45 % of all existing refrigerated shelves should be replaced as soon as possible from an economic point of view.²
- Newer refrigerated shelves generally have lower power requirements than older-generation units.
- The spread in power requirements among new refrigerated shelf models is still considerable. This means that potential purchasers should keep their eyes open, ask critical questions and compare the power requirements of different models.

Should new refrigerated shelves have glass doors, and if yes, what kind of doors should be mounted?

- In our experience, no loss of revenue is to be expected from using refrigerated shelves with doors. In fact, there appears to be an opposite trend.
- Refrigerated shelves with doors improve the indoor climate in the store (open shelves dehumidify the air).
- The refrigeration equipment (compressor) can be dimensioned significantly smaller.
- Shelves with doors pay off economically.
- If the original store concept does not include partial air climate control, fully glazed refrigerated shelves can lead to the need to install a partial climate control system. This needs to be evaluated separately and may preclude economic feasibility.
- If there is enough space, swinging doors should be chosen over sliding doors.

What should be considered in regard to lighting and design?

- Light sells! Accordingly, high colour intensity and consistent illumination of the merchandise should be ensured.
- LEDs require less electricity to deliver the same brightness compared to conventional T5 or T8 fluorescent lamps, provide higher efficiency at lower temperatures and prevent greying of the merchandise since they produce little infrared and UV light.

¹ In the 200 stores examined for this study, 15 % of all refrigerated shelves had power requirements of more than 3,500 kWh/m per year.

² Of the around 40,000 food retail businesses in Germany, Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG only registered around 3 %. The randomly selected 200 stores with refrigeration systems and refrigerated shelves installed in 2010 or earlier can therefore not be viewed as a representative sample for the entire German food retail industry. The analyses are comprehensive enough, however, to obtain a good overview and recognize trends in regard to the energy requirements of refrigerated shelves.



- Buyers should always consider the lighting's economic efficiency, as the factor "lighting" is frequently ignored in modern refrigerated shelves and excessive prices are thus often charged.
- If the price is reasonable, new refrigerated shelves should always be equipped with LED lighting.
- The conscious use of glazed refrigeration appliances was discussed in detail in our base study on plug-in refrigeration equipment in food retail. This study can be downloaded for free at <https://steinmaszl.com/publikationen/studien>.
- Regardless of which design variant you choose, optimal presentation of your merchandise should be your top priority.

Refrigeration systems vs. individual units, refrigerant selection

- The purchase of a new refrigeration system is a complex procedure. We recommend obtaining independent consultancy prior to making a decision in every case.
- Blanket statements without thorough analysis of the individual case cannot be made.
- Two scenarios should always be considered in the course of a cost-effectiveness analysis: a solution with individual units, i.e. separate refrigerated shelf units with water-cooled condensers (ready to plug in, refrigerant propane (R290), usually the most energy-efficient option) on the one hand, and an integrated system using CO₂ on the other.
- In the case of small refrigeration systems, the use of integrated CO₂ systems is uneconomical. Individual self-contained shelves with water connections should be used in such scenarios.

Important information concerning the F-gas regulation

- For new systems, natural refrigerants should be given serious consideration and priority.
- The F-gas regulation has dramatic consequences for the food retail industry wherever refrigeration systems using the refrigerants R404A/R507/R134a are still in use.
- Dramatic price increases for refrigerants already began in 2017. Migration to alternate refrigerants (e.g. R407F) is urgently recommended.

Should open refrigerated shelves be retrofitted with doors?

- Our own as well as other available studies on the market confirm the reduction in power consumption.
- The colder the temperature the respective shelf unit is set to and the warmer and moister the air inside the salesroom, the more energy is required for refrigeration and the higher the potential for energy savings.
- Retrofitting of doors without prior evaluation of the specific circumstances (ventilation) on site amounts to economic blind flight.
- We assume that around 30 % of doors hitherto retrofitted in stores are economically not sensible or at least very close to the break-even point.

Which refrigerant should I use?

- Natural refrigerants should be used wherever possible.
- Prior to any decision for a particular refrigerant, the often more energy efficient alternatives using R290 (propane) should always be evaluated.

Interdependencies between refrigerated shelves and salesroom climate

- The colder the temperature the respective shelf unit is set to and the warmer and moister the air inside the salesroom, the more energy is required for refrigeration and the higher the potential for energy savings.

How can I significantly lower the energy consumption of open shelves?

- A ventilation system controlled in relation to the number of store visitors significantly lowers the energy requirements of open refrigerated shelves, since the energy consumption of the shelves is primarily influenced by the moistness of the air surrounding them. This air must be cooled and dehumidified by the shelf units.
- The warmer and moister the air in the salesroom, the higher the energy requirement for refrigeration, and thus the higher the power consumption of any open refrigerated shelves.
- Considering these circumstances, the extreme bandwidth of power requirements encountered in measurements taken on open refrigerated shelves is not surprising.

Summary on the question: When is a climate control system necessary?

- If the temperatures in a given store are already quite high on warm summer days, retrofitted doors on refrigerated shelves will increase the problem. Additional salesroom climate control will likely be necessary in such cases.
- A store that was hitherto uncritical during hot summer temperatures will most likely continue to be uncritical after the retrofitting of doors on the refrigerated shelves as long as ventilation and lighting are likewise upgraded to the state of the art.
- In all other cases, a comprehensive energy balance should be drawn. In this case, the costs of an elaborate building simulation should be weighed economically against the potentially pointless investment costs for a climate control system.

Is it economically sensible to replace the fans on older refrigerated shelves?

- Our answer to this question is a very practical one: If the shelf is likely to be used for another six years or more (cf. the respective payment plan), then the fans should be replaced in any case – assuming a fair offer by the HVAC service provider.
- For a usage period of 10 years, the return amounts to between 36 % and 50 % p. a. (usage of capital investment grant).
- Should the 30 % financial aid by the BAFA be claimed, the amortization time is reduced to two years.
- Energy-saving EC motors should be installed in the case of necessary repairs.

Is it economically sensible to replace the lighting on older refrigerated shelves?

- What is the motivation? In general, it is not the ecological “conscience”, but purely economic consideration that fuel such decisions.
- Modern LEDs are superior in all aspects.
- The important thing is to reach the break-even point during the warranty period.
- Five key criteria are important for the economic viability of a lighting change:
 - the power consumption of the lamps (T8/T5/EVG/VVG/KVG)
 - the annual duration of operation of the lamps
 - the investment costs for the replacement
 - the possibilities of writing off the investment
 - the remaining useful life of the shelf unit and/or the store
- Replacement of T8 lamps offers returns of 50 % and more and is therefore highly lucrative.
- Replacement of T5 lamps will generally not amortize within the warranty period and should thus be viewed with a critical eye.
- LED lamps that do not possess quality certificates like VDE or ENEC should not be installed without good cause.

For manufacturer-independent information on energy-efficient devices we recommend the website <http://www.topten.eu>.



Retrospect

In the year 2014 we published our first base study³ on plug-in refrigeration appliances in food retail, and in doing so identified a number of extreme energy wasting devices, among others. Since then, the study has been downloaded more than 30,000 times from our website. Thank you for your interest. Our goal at the time, namely to significantly reduce a prevailing information deficit on the power requirements of plug-in refrigeration appliances in the food retail industry, was thus achieved.

Industry expertise

Due to a noticeable increase in assignments in this area, Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG concentrated its activities in energy efficiency consulting in a separate business division in 2008. Against the background of the “digitalisation” megatrend, an online tool was developed in 2016, that presented energy amounts and costs comprehensively while comparing them and pointing out potentials. Our customers reviewed this tool very positively, leading us to include further resource costs including water/sewage, recyclables and disposal, cleaning, and pest control in a subsequent step. SteinReCs (Steinmaßl Resource Efficiency Controlling System) has been available with full functionality since early 2018 for the food retail industry as well as for selected other industries. This was the basis for extensive analysis that provided the core information for this study.

Goal

The world has become more complex, and this circumstance is made particularly visible by modern technologies. Development has gained in speed significantly in many areas, and this can make things complicated for individuals. Various questions now appear even in comparably simple processes like the purchase of new refrigerated shelves. Although a knowledge deficit exists within the industry, research has not been able to provide easily understandable and generally applicable answers. Even companies with a closeness to the industry seem less inclined to provide free services like studies and documenting measurements than they used to.

Our new study intends to answer the following questions:

Purchase of new refrigerated shelves

- When should an old refrigerated shelf be replaced?
- Should I choose an open or closed variant when purchasing new refrigerated shelves?
- If I go with a closed variant, do I choose swinging doors or sliding doors?
- What kind of lighting should I choose?
- What design (in terms of the share of glass) is particularly energy efficient?
- In the case of multiple shelf units, do I choose an integrated refrigeration system or are individual plug-in shelves better?
- Which refrigerant should I choose so as to be on the safe side for the future (F-gas regulation, what is important)?

Retrofitting of existing refrigerated shelves

- Do I need to worry about the refrigerants in my existing shelves?
- Should I have my existing refrigerated shelves retrofitted with doors?
- Does it make sense to replace the old cooling fans?
- When is a retrofitting with LEDs economically sensible?

³ To us, the term “base study” means the establishment of a fundamental understanding concerning a particular question. In this study, current questions concerning refrigerated shelves are discussed from the ground up and practical answers are provided.

Around 140 hours of measurements and 300 hours of concept and research work were required to prepare this study. The actual writing took a further 220 hours. We are happy to provide this work to our interested readers pro bono.

With our second base study, we intend to provide practical support to food retail companies. We want to contribute to reducing energy requirements on the one hand and to improving the competitiveness of the food retail industry on the other.

Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG views its voluntary professional work without remuneration as a further contribution to active protection of our climate and environment.

Constraints

Should you expect to find across-the-board answers to all your questions on the following pages, you will be disappointed. It is often the case that there is no SINGLE correct answer to complex questions; instead, the various accompanying circumstances must be taken into consideration.

Please note that this study is the intellectual property of Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG. Sharing of the unmodified study with third parties is explicitly permitted. You are welcome to quote us, but when you do, we expect you to mention us as the author of the information.

1

UNTERSUCHUNGSMETHODE

1.1 Informationen zur Datenerfassung | 18

1.2 Problematik der Strombedarfsermittlung | 19



1.1 Informationen zur Datenerfassung

1.1.1 Messungen, Übersicht

Folgende Leistungsmessgeräte und Stromzähler kamen zum Einsatz:



Abbildung 1. Messgerät PCE⁴

PCE-PA 8000

Mit diesem Messgerät ist es möglich, die Leistung in einem ein- und dreiphasigen Stromkreis zu messen und aufzuzeichnen. Mit dem Datenlogger können Langzeitmessungen durchgeführt werden. Die Messdaten speichert das Messgerät auf einer einsteckbaren SD-Karte im XLS-Format. Die Messgenauigkeit beträgt $\pm 2\% + 0,008 \text{ MWh}$. Gemessen wurde der Lastverlauf über eine Kalenderwoche.



Abbildung 2. Fluke 1735⁵

Fluke 1735

Eigenfehler Leistungsmessung:
 $\pm 0,7\% \text{ Messwert} + 15 \text{ Digit}$

Betriebsfehler Leistungsmessung:
 $\pm 1,5\% \text{ Messwert} + 20 \text{ Digit}$



Abbildung 3. Kyoritsu 6305⁶

EVO Kyoritsu 6305

Genauigkeit: $\pm 0,3\% \text{ v. M.} \pm 0,2 \text{ v. ME} + \text{Genauigkeit des Stromaufnehmers (Leistungsfaktor 1, Sinuswelle 45...65 Hz)} + 1\% \text{ v. ME. im kleinsten Bereich}$



Abbildung 4. Drehstromzähler⁷

Easycount 3 (Leistungsmesser Easycount-3-32-A)

Es handelt sich um einen Energiezähler, eingebaut in ein spritzwassergeschütztes und schlagfestes Gehäuse, für Drehstrom bis 400 V. Es ist lediglich ein Unterzähler ohne Lastgangaufzeichnung.

- Strombelastbarkeit: 32 A
- Frequenz: 50 HZ
- Eigenverbrauch: $< 0,5 \text{ W}$
- Mindestlast: 6 W
- Anzeige: 6+1 Rollenzählwerk
- Auflösung: 0,1 kWh

Aktuelle Kalibrierzertifikate liegen vor.

⁴ Bildnachweis: PCE Deutschland GmbH Prüfgeräte, www.pce-instruments.com

⁵ Bildnachweis: Fluke Deutschland GmbH, www.fluke.com

⁶ Bildnachweis: KOMETEC Karl Oelkers e.K., www.kometec.de

⁷ Bildnachweis: Zwischenzählerstecker, www.zwischensteckerzähler.de

**E-Logger 4000**

Lastmessung von Verbrauchern am Wechselstromnetz.

- Leistung: 1,5 – 3500 W
- Anzeige: Wirkleistungsfaktor und Lasttyp
- Datenlogger: integriert

Die Messgenauigkeit der E-Logger 4000 wurde mithilfe geeichter Leistungsmessgeräte überprüft.

Abbildung 5. E-Logger 4000⁸

1.1.2 Kritische Betrachtung der Messergebnisse

Gemessen wurde der Strombedarf von Kühlregalen im Winter 2017. Es wurden keine Permantmessungen durchgeführt, sondern lediglich Kurzzeitmessungen über rund zwei Kalenderwochen. Auf Basis der mobilen Messungen musste der Strombedarf auf ein Jahr hochgerechnet werden. Es ist anzunehmen, dass die gemessenen Intervalle nicht in jedem Fall einen repräsentativen Jahresdurchschnitt darstellen. Da die Mehrheit der Messungen in einer Zeit winterlicher Außentemperaturen lag, kann davon ausgegangen werden, dass der tatsächliche Jahres-Strombedarf höher als der hochgerechnete liegt. Das bedeutet, die Werte liegen auf der sicheren Seite.

1.2 Problematik der Strombedarfsermittlung

In der Praxis sind im Lebensmitteleinzelhandel mehrheitlich TK- und NK-Verbundanlagen installiert, das bedeutet, der NK-Verbund bedient sowohl die in dieser Studie näher zu untersuchenden Kühlregale als auch die Kühltheken und häufig auch die Kühlräume mit Kälte. Aus einem Kälteverbund mit mehreren Abnahmestellen die Kühlregale herauszurechnen, war nur mithilfe eines Simulationsmodells möglich, das mit Messungen von Kälte-Einzelanlagen abgeglichen wurde.

⁸ Bildnachweis: Conrad Electronic, www.conrad.biz

2

GRUNDLAGEN ZU KÜHLREGALEN

2.1 Wärmebilanz | 22

2.2 Kühlregale: Kein statisches System | 23

2.3 Einflussfaktoren auf den Energiebedarf | 24



2.1 Wärmebilanz

Kühlregale dienen dem Verkauf gekühlter Ware, daher ist eine attraktive Präsentation besonders wichtig.

Ventilatoren blasen Luft zur Abkühlung über den Verdampfer und anschließend in den Bereich der gekühlten Ware. Ein Teil der Kaltluft dient als Schleier (Kaltluftschleier, Luftvorhang) vor der Kühlzone und reduziert dadurch den Wärmeaustausch zwischen der warmen Ladenumgebung und der Kaltluftzone im Kühlregal. Eine Nachtdeckung (Nachttrollo) verhindert den Wärmeeintrag ins Regal außerhalb der Ladenöffnungszeiten signifikant.

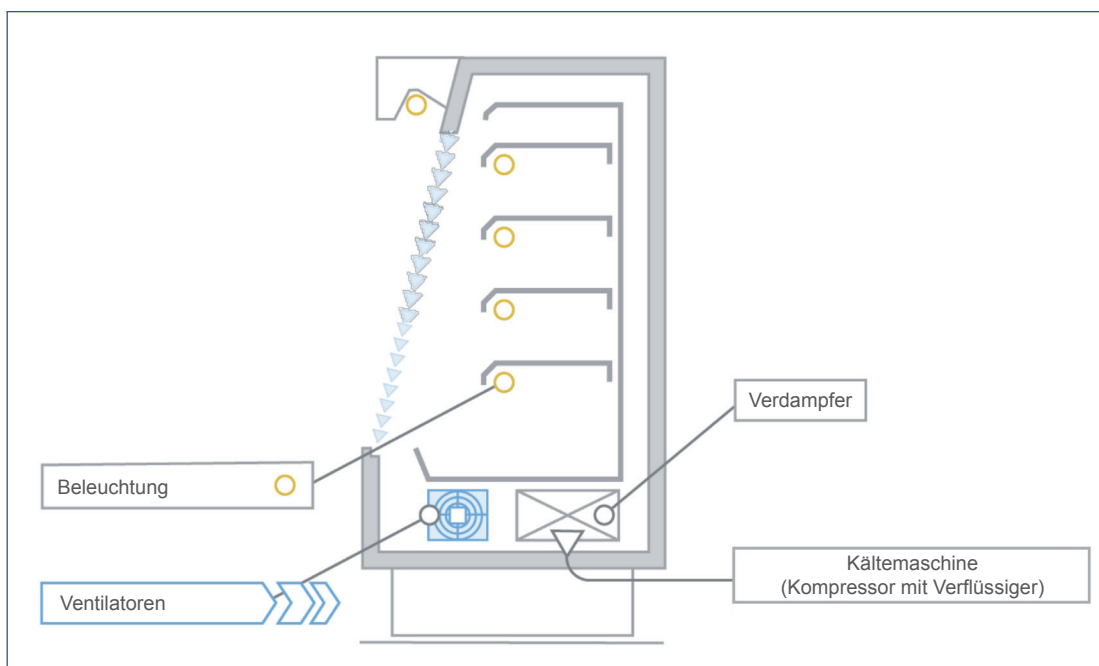


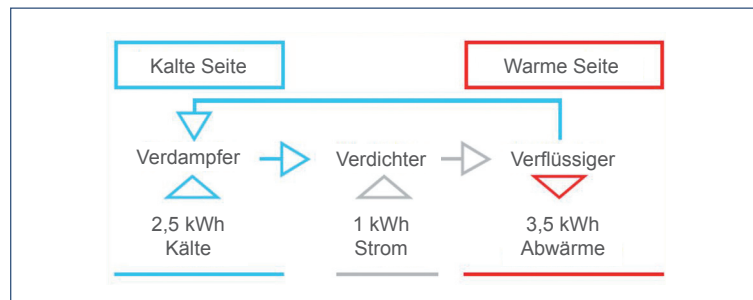
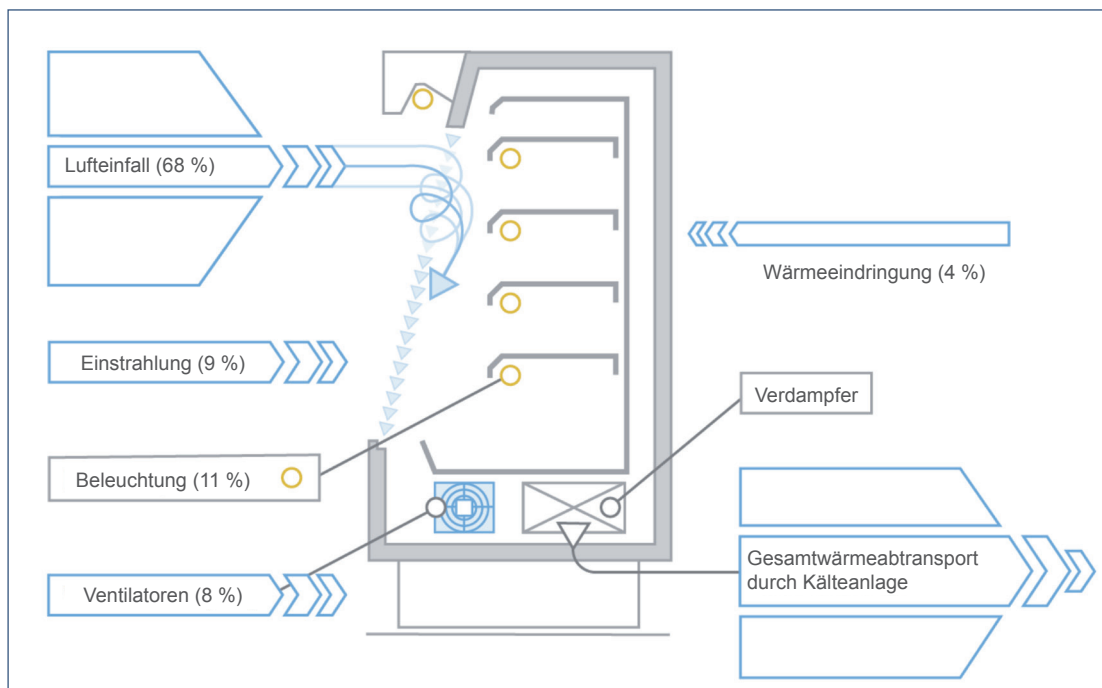
Abbildung 6. Energierelevante Komponenten eines Kühlregals⁹

Kühlregale enthalten verschiedene wärmeerzeugende Komponenten, wie Leuchtmittel, Ventilatormotoren und Rahmen- und Scheibenheizungen bei verglasten Modellen sowie die Abtauheizung am Verdampfer bei TK-Regalen. Es sollte immer bedacht werden, dass pro Kilowattstunde eingebrachter Wärme ein proportionaler Anteil an elektrischer Energie beim Verdichter aufgebracht werden muss.

Anmerkung:

Die Leistungszahl „ ϵ “, bekannt auch unter der englischen Bezeichnung Coefficient of Performance (COP), ist das Verhältnis von nutzbarer Kälteleistung zu eingesetzter Leistung. Die Leistungszahl ist vor allem von den Temperaturen der Wärmetauscher, vom Kältemittel und den Druckverlusten in den Rohrleitungen abhängig.

⁹ Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): Klima schützen – Kosten senken. Energie sparen bei Kälteanlagen im Lebensmittelhandel, Augsburg 2006.

Abbildung 7. Leistungszahl 2,5, Energiebilanz eines Wandkühlregals¹⁰Abbildung 8. Wärmebilanz eines älteren Kühlregals¹¹

2.2 Kühlregale: Kein statisches System

Kühlregale mit Kaltluftschleier weisen im Regelfall keine homogenen, einheitlichen Temperaturzonen auf. Die folgenden Beispiele zeigen Echtfarben- und die dazugehörigen Wärmebilder. Es ist deutlich zu sehen, dass eine Temperaturspreizung von 10 °K und darüber möglich ist, vor allem wenn der Kaltluftschleier durch vorstehende Produkte durchbrochen wird.

¹⁰ Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): Klima schützen – Kosten senken. Energie sparen bei Kälteanlagen im Lebensmittelhandel, Augsburg 2006, S. 4.

¹¹ Vgl. ebd., S. 5.



Abbildung 9. Echtfarbenbild Kühlregal



Abbildung 10. Wärmebild Kühlregal



Abbildung 11. Echtfarbenbild Eck-Kühlregal

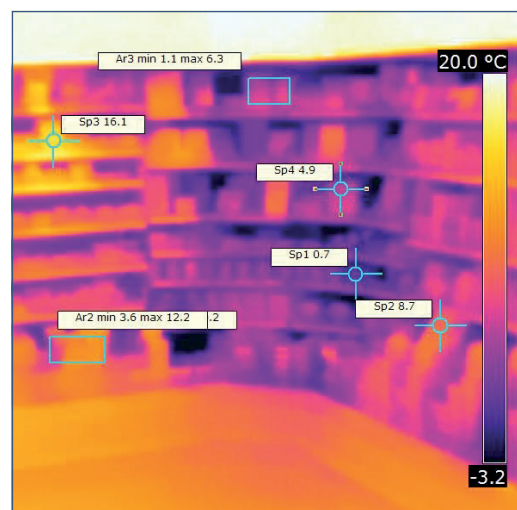


Abbildung 12. Wärmebild Eck-Kühlregal

2.3 Einflussfaktoren auf den Energiebedarf

Der Strombedarf von Kühlregalen hängt von zahlreichen Einflussfaktoren ab, die eine Vergleichbarkeit einzelner Regale erschweren:

- klimatische Zufälligkeiten am Standort
- Raumklima im Markt (Luftfeuchtigkeit, Temperatur)
- offene oder geschlossene Kühlregale (Türen)
- Zugriffsfrequenz auf die Produkte in den Regalen
- verbaute Technik bei der Kälteanlage
- Leuchtentechnik (LED oder bei konventioneller Beleuchtung Leuchtmittel und Typ des Vorschaltgerätes)
- Lüfertechnik (hocheffizient oder konventionell)
- Größe und Öffnungszeiten des Marktes
- vorübergehende technische Störungen wie z. B. defekte Nachtrollos



DER KAUF NEUER KÜHLREGALE

- 3.1 Grundlagen | 26
- 3.2 Tausch Alt gegen Neu | 27
- 3.3 Glaubenskrieg: Türen vor Regalen | 35
- 3.4 Dreh- oder Schiebetüren? | 38
- 3.5 Beleuchtung und Design | 38
- 3.6 Verbundlösung oder Einzelanlagen? | 40
- 3.7 Die Wahl des richtigen Kältemittels | 43
- 3.8 Checklisten zum Kauf neuer Kühlmöbel | 48



3.1 Grundlagen

Grundsätzlich kommen im Lebensmitteleinzelhandel drei Techniken in Betracht:

- **steckerfertige Kühlregale**
- **Kühlregale mit wassergekühltem Verflüssiger** (steckerfertig, mit Wasserzufluss und Wasserabfluss)
- Kühlregale, angeschlossen an eine **zentrale Kälteanlage** (Einzel- und Verbundkälteanlagen)

Zweifellos ist die F-Gase-Verordnung derzeit eines der zentralen Themen im Einzelhandel. Aus diesem Grund wird bereits bei der Grundlagenbeschreibung wie auch im weiteren Textverlauf, wo immer nötig und sinnvoll, auf die Bestimmungen der F-Gase-Verordnung eingegangen.

3.1.1 Steckerfertige Kühlregale für die gewerbliche Anwendung

Wer **steckerfertige** Kühl- und Gefriergeräte für gewerbliche Anwendung in der F-Gase-Verordnung sucht, wird nicht fündig. Das Wort „**steckerfertig**“ ist keine offizielle Definition der F-Gase-Verordnung. Dort werden diese Geräte als Kühl- oder Gefriergeräte für gewerbliche Anwendung in „**hermetisch geschlossener**“ Ausführung gekennzeichnet. Dies bedeutet, dass die Geräte ab Werk so gut wie kein Kältemittel¹² verlieren können. Dies muss durch den Hersteller entsprechend gekennzeichnet werden. Es kann sich dabei neben Kühlschränken und Gefriertruhen daher auch um größere Geräte wie z. B. Wandkühlregale mit intern geschlossenem Kältekreislauf handeln.

Die in der F-Gase-Verordnung genannten Verbote und Einschränkungen für neue Geräte dieser Klasse haben in der Praxis keine Auswirkungen mehr. Bei dieser Geräteklasse ist die Umstellung auf sogenannte „natürliche“ Kältemittel inzwischen so gut wie abgeschlossen. Achten Sie darauf, keine veralteten steckerfertigen Möbel mit konventionellem Kältemittel (z. B. R404A oder R134a) mehr anzuschaffen.

Bis auf sehr wenige Ausnahmen mit extrem hoher Kälteleistung (z. B. Servicecounter für Eiscreme mit CO₂-Kältekreislauf) werden diese Geräte mit brennbaren Kältemitteln wie z. B. **Propan** (R290) oder **Butan** (R600a) mit einem GWP¹³ < 150 betrieben. Aufgrund der Brand- und Explosionsgefahr beträgt die Füllmenge pro Kältekreislauf maximal 150 g. Soweit notwendig werden die Geräte aus Sicherheitsgründen mit mehreren Kältekreisläufen mit maximal je 150 g Füllmenge ausgeführt.

3.1.2 Kühlregale mit wassergekühltem Verflüssiger

Auch diese Geräteklasse fällt in der Praxis unter die Definition „hermetisch geschlossen“ und „gewerbliche Anwendung“. Sie sind daher ebenfalls mit einem oder mehreren Kältekreisläufen – meist mit Propan (R290) oder Isobutan (R600a) – ausgeführt. Ihr Vorteil ist, dass in nördlichen Breiten kühleres Klima den Energiebedarf senkt. Gleichzeitig verbleibt die Abwärme nicht im Raum der Aufstellung. Diese Geräte können sehr energieeffizient ausgeführt werden. Anstatt einer externen Kälteanlage benötigen diese Geräte einen Rückkühler mit Solekreislauf¹⁴. In un-

¹² Genaue Definition der Begriffsbestimmung der F-Gase-Verordnung. EU Nr. 517/2014

¹³ GWP := Global Warming Potential, d. h. Treibhauspotential.

¹⁴ Dem „Wasserkreislauf“ ist ein Frostschutz zugefügt.

serer Beratungspraxis sind wir auf mehrere Kühlregale dieser Kategorie gestoßen und sie wiesen ausnahmslos die geringsten Energiebedarfe auf, die wir messtechnisch erfassen konnten.

Wir sind überzeugt davon, dass diese Geräteklasse aufgrund der ausgezeichneten Energieeffizienz zukünftig eine größere Bedeutung erlangen wird. Bei einigen Herstellern wird diese Geräteklasse auch als **Semi-Plug-in** bezeichnet. Es ist zu erwarten, dass zukünftig neben den klassischen Wandkühlregalen auch Tiefkühlinseln und Tiefkühlschränke vermehrt mit dieser Technologie angeboten werden. Sobald alle im Markt vorkommenden Kühlstellen in dieser Technologie angeboten werden, kann diese Technik die klassische Verbundanlage für NK und TK vollständig ersetzen.

Ein weiterer Vorteil der Kühlmöbel mit wassergekühltem Verflüssiger im Vergleich zu einer neuen zentralen CO₂-Kühlanlage ist, dass neben der besseren Energieeffizienz nicht alle Geräte komplett auf einmal ausgetauscht werden müssen. Es genügt, den Rückkühler auf „Zuwachs“ auszulegen.

Die Vorteile der Wasser-Systeme im Überblick

- Es handelt sich um ein sehr einfaches und robustes System.
- Das System der dezentralen Kühlung verhindert den Ausfall einer gesamten Regalreihe.
- Die unabhängigen Systemkomponenten ermöglichen eine im Vergleich zu üblichen Verbundanlagen einfache Installation und Parametrisierung.
- Im Vergleich zu Verbundanlagen weisen die Semi-Plug-in-Lösungen einen minimalen Wartungsaufwand auf.
- Da diese Systeme modular aufgebaut sind, ist eine Erweiterung sehr einfach möglich.

3.1.3 Stationäre Einzel- und Verbundkälteanlagen in Supermärkten

Diese Kälteanlagen werden vor Ort montiert und fallen daher nicht unter das Kriterium „**hermetisch geschlossen**“. Damit beginnen zahlreiche Probleme für den Einzelhändler, z. B. sprunghaft ansteigende Wartungskosten.

3.2 Tausch Alt gegen Neu

Eines vorweg: Moderne, d. h. neu auf dem Markt befindliche Kühlregale sind nicht per se nachhaltig im Sinne von langlebig, sparsam oder umweltfreundlich. In unserer täglichen Beratungspraxis blicken wir immer wieder in die erstaunten Gesichter von Lebensmitteleinzelhändlern, die besonders ineffiziente Kühlmöbel betreiben und uns berichten: „Die haben wir doch erst vor einem oder zwei Jahren gekauft, wie kann das sein?“

Um böse Überraschungen zu vermeiden, sollten Herstellerangaben vorher miteinander verglichen werden. Die Herstellerzusicherungen müssen selbstverständlich Teil des Angebotes sein. Eine kritische Bewertung des geplanten Kühlmöbels vor dem Kauf ist im wahrsten Sinne des Wortes Gold wert. Die Frage, wann ein vorhandenes, in die Jahre gekommenes Kühlregal ausgetauscht werden sollte, wurde von zwei Seiten beleuchtet: Zum einen auf Basis des mittleren Verbrauchs von 200 Ganzjahresuntersuchungen¹⁵ aus unserer Beratungspraxis,

¹⁵ Bei diesen Untersuchungen wurde in fast allen Fällen eine zentrale Kälteanlage in ihrer Gesamtheit untersucht. Über ein Rechenmodell wurden der Anteil und spezifische Strombedarf der tagsüber offenen Kühlregale ermittelt. Es ist daher wichtig, diese Messungen im Vergleich zu gezielten Messungen an einzelnen Regalen zu beurteilen.

zum anderen wurden bei älteren Anlagen Kurzzeitmessungen durchgeführt und die Ergebnisse ausgewertet. Zum Vergleich wurden neue Anlagen gemessen und der Energiebedarf miteinander verglichen.

3.2.1 Kurzzeitmessungen von Einzelanlagen

Ort	Strombedarf [kWh/m•a]	Einzelmessungen an Anlagen konnten mit einem vertretbaren Aufwand nur über zwei Wochen durchgeführt werden. Die Ergebnisse wurden auf einen Regal-Laufmeter normiert. Der Jahres-Strombedarf wurde mithilfe von zwei Korrekturfaktoren, dem Jahrestemperaturverlauf sowie der variablen Luftfeuchte (im Winter, während der Messungen ist die Luft trockener als im Sommer) ermittelt. Das Baujahr der Anlagen lag zwischen 1979 und 2005.
Aindling I	3.815	
Aindling II	2.674	
Aindling IV	4.109	
Waldkraiburg	3.110	
Nürnberg I	4.675	
Nürnberg II	3.898	
Würzburg I	4.697	
Würzburg II	3.427	
Würzburg III	4.380	
Würzburg IV	3.464	
Mittelwert	3.825	

Tabelle 1. Ergebnis Verbrauchsmessung älterer Kühlregale



Abbildung 13. Typischer Messaufbau in älteren Unterverteilungen¹⁶

Die Bandbreite des Strombedarfs bei den Einzelmessungen lag zwischen 2.674 kWh pro laufendem Regalmeter und Jahr und 4.697 kWh/lfm•a. Das entspricht dem Faktor 1,8.

¹⁶ Messung in 2017

3.2.2 Langzeitmessungen von Verbundanlagen

Aus einer Auswertung von 100 Märkten mit Volls Sortiment und 100 Discountern mit Kälteanlagen aus 2010 und älter ergab sich ein mittlerer Verbrauchswert auf Basis von Ganzjahresauswertungen von **4.575 kWh** pro Regalmeter und Jahr. Dieser Wert liegt deutlich über den Werten unserer Einzelmessungen.

Aus der Trendgeraden ist ablesbar, dass bei den von uns erfassten 200 Kälteanlagen mit Baujahr zwischen 1985 und 2010 kein eindeutiger Trend zu geringeren Strombedarfen feststellbar ist. Die Bandbreite der Streuung über die Jahre ist enorm. Bei den Kühlregalen aus 2010 lag der spezifische Strombedarf beispielsweise zwischen 2.363 kWh/lfm•a und 6.735 kWh/lfm•a. Das entspricht nahezu dem **Faktor 3** und stützt die Ergebnisse aus unserer ersten Basisstudie „Steckerfertige Kühlmöbel im LEH“. Damals betrug der Faktor von offenen steckerfertigen Kühlregalen zwischen den energieeffizientesten und den „energiehungrigsten“ Kühlmöbeln 4,5. Bei den geschlossenen Kühlregalen lag er bei 2,2. Das zeigt: Ein kritischer Blick auf den Strombedarf der eigenen Anlagen kann sich lohnen.

Bei neueren Anlagen (Baujahr 2015 und jünger) haben wir erst wenige Vergleichswerte. Eine Tendenz zu sinkenden Strombedarfen neuer Anlagen scheint vorhanden zu sein und auch die Spreizung geht nach unserer Erfahrung zurück, bleibt aber auf hohem Niveau.

Dazu ein Beispiel: Einerseits haben wir ein hocheffizientes, offenes Kühlregal Baujahr 2015, Propan (R290) als Kältemittel, mit einem Strombedarf von 1.702 kWh/lfm•a gemessen, andererseits haben wir in 2017 Messungen an einer CO₂-Anlage (R744), Baujahr ebenfalls 2015, durchgeführt, bei der die Kühlregale einen Strombedarf von 2.964 kWh/lfm•a aufwiesen. Das entspricht immerhin noch dem Faktor 1,7! Bei 20 m Kühlregallänge und einer Verbrauchsdifferenz von 1.262 kWh entspricht das Mehrkosten von rund 4.800 EUR pro Jahr. Zweifellos werden auch neue Anlagen mit noch höherem Strombedarf in Betrieb sein.

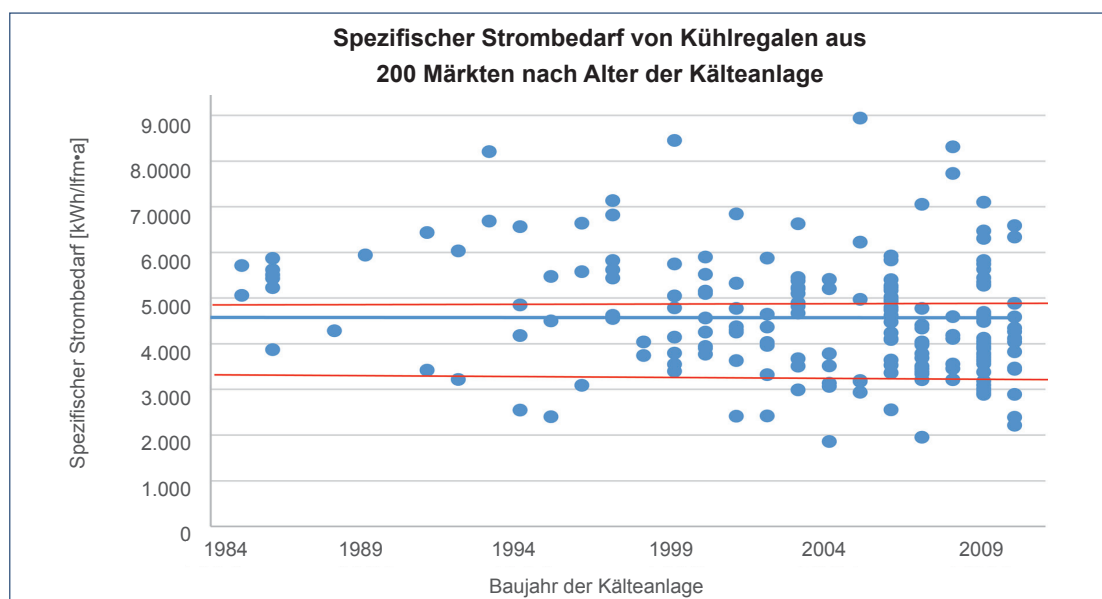


Abbildung 14. Strombedarf Kühlregale nach Auswertung von 200 Märkten¹⁷

¹⁷ Es wurde gezielt der Strombedarf älterer Kühlregale untersucht, um ein Verbrauchsprofil erstellen und ggf. generelle Aussagen über den „Energiehunger“ treffen zu können.

3.2.3 Vollsortimenter: Ausstattung mit Kühlmöbeln

In den folgenden Kapiteln wird regelmäßig auf einen Beispielmarkt mit 20 m Kühlregalen eingegangen. Der Hintergrund liegt in den von uns untersuchten Märkten. Bei einer Verkaufsfläche von 1.000 m² verfügen die Verkaufsstellen im Mittel über 22 m NK-Regale.

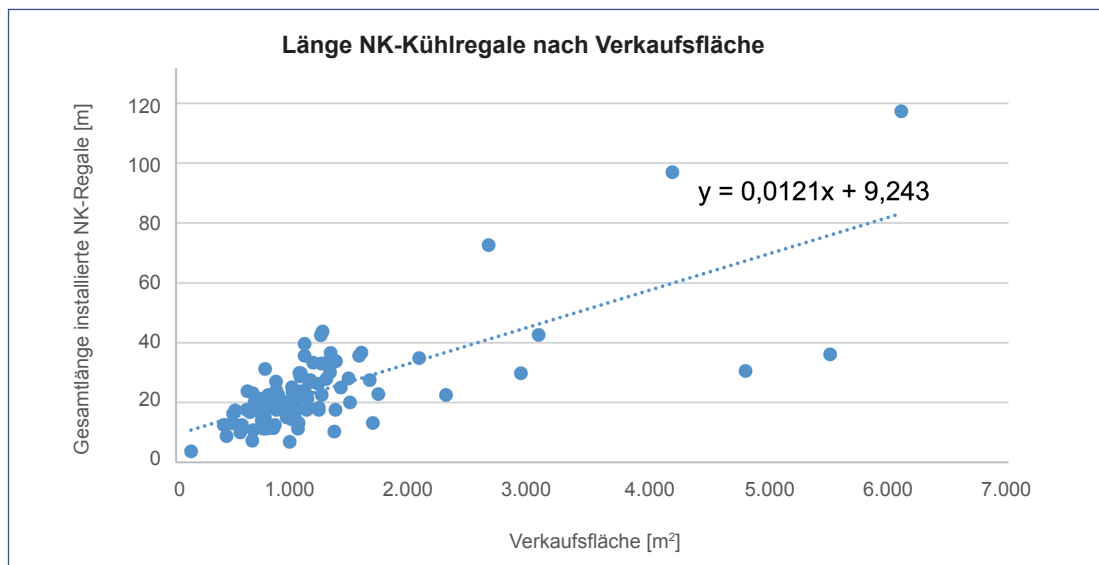


Abbildung 15. Ausstattung Vollsortimenter mit NK-Regalen

3.2.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Bei neueren, hocheffizienten Kühlregalen, Baujahr 2012 und jünger, lag der Strombedarf (Jahresmessungen mit realistischem Marktklima im Bereich von 21 °C und ca. 50 % relativer Luftfeuchte) zwischen 1.702 kWh/lfm•a und 1.840 kWh/lfm•a. Das energieeffizienteste Kühlregal war ein steckerfertiges Mopro-Sole-Kühlregal mit R290 (Propan) als natürliches Kältemittel ohne Türen, aber mit Nachtrollos.

Für sorgfältig konzipierte Neuanlagen halten wir einen Strombedarf um 2.000 kWh/lfm•a für realistisch. Mehr dazu im Kapitel 3.8 „Checkliste zum Kauf neuer Kühlmöbel“. Die nachfolgenden Überlegungen basieren daher auf einem Strombedarf von 2.000 kWh/lfm•a.

Die Kosten für ein neues Wandkühlregal von **3,75 m** Länge mit externem Verflüssiger, Steuerung und Montage liegen bei rund **3.200 EUR** pro Regalmeter.

Spannend ist die Frage, ab welchem Strombedarf ein Austausch rentabel wird, d. h., wann der Break-even-Point¹⁸ erreicht ist. Dazu müssen einige Annahmen getroffen werden:

- Nutzungsdauer des Kühlregals: • 15 Jahre im LEH
• 10 Jahre bei Discountern
- Kalkulatorischer Zinssatz: 2 %
- Strompreis, netto: 0,19 EUR/kWh

¹⁸Die Gewinnschwelle, auch Nutzenschwelle (engl. break-even point), ist in der Wirtschaftswissenschaft der Punkt, an dem Erlös und Kosten einer Produktion (oder eines Produktes) gleich hoch sind und somit weder Verlust noch Gewinn erwirtschaftet werden.

- Investitionssumme: 3.200 EUR (Die Kosten für ein neues hocheffizientes Wandkühlregal von 3,75 m Länge, steckerfertige Lösung, liegen bei etwa 3.000 bis 3.200 EUR pro Regalmeter. In der Wirtschaftlichkeitsberechnung wird ein Regalmeter betrachtet.)
- Energiekosten pro Jahr bei einem energieeffizienten Kühlregal:
2.000 kWh • 0,19 EUR/kWh = 380 EUR
- Strompreissteigerung pro Jahr: 2 %

Annahmen	ALT	NEU
Startjahr	2019	
Nutzungsdauer ND [Jahre] ¹⁹	15/10	15/10
Kalkulatorischer Zinssatz [%]	2,00	2,00
Nettoinvestition [€]	0,-	3.200,-
Energiekosten [€ pro Jahr] LEH	598,-	380,-
Discounter	707,-	
Steigerung der Stromkosten [%/Jahr] ²⁰	2	2
Amortisation, dynamisch [Jahre] LEH	15,0	100 % v. ND ²¹
Discounter	10,0	

Tabelle 2. Annahmen zum Erreichen der Gewinnschwelle

Bei 598 EUR Energiekosten pro Regalmeter ist der Break-even-Point im LEH erreicht. Das entspricht rund 3.150 kWh/lfm•a. Bei Discountern liegt der Break-even-Point bei 3.535 kWh/lfm•a. Nur die Gewinnschwelle zu erreichen, ist kein Investitionsgrund. Eine interne Verzinsung des eingesetzten Kapitals von 15 % hingegen ist sicher eine lohnenswerte Investition. Als weitere Voraussetzung wird festgelegt:

- interne Verzinsung des eingesetzten Kapitals von 15 %.

Dieses Kriterium wird bei Energiekosten von vorhandenen, alten Kühlregalen im LEH ab 880 EUR pro Regalmeter erreicht. Der Strombedarf liegt damit bei 4.650 kWh/lfm•a (das liegt etwas über dem Mittelwert der Regale in 200 Lebensmitteleinzelhandelsmärkten von 4.575 kWh/lfm•a).

Bei Discountern liegt dieser Wert bei 975 EUR bzw. 5.150 kWh/lfm•a.

¹⁹ Angesetzt wurde die wirtschaftliche Nutzungsdauer und nicht die technische (ist länger) oder die Abschreibungsdauer lt. AfA-Tabelle (ist kürzer). Im LEH wurden 15 Jahre und bei Discountern 10 Jahre als Berechnungsgrundlage verwendet.

²⁰ Im Szenario wird von einer jährlichen Strompreissteigerung von 2 % ausgegangen. Die letzten 15 Jahre betrug die Preissteigerung pro Jahr rund 3,7 %. Die EU geht davon aus, dass die Strompreise noch weitere 20 Jahre deutlich steigen werden. Die IHK geht von einer Preissteigerung von 5 % p. a. aus. Die angesetzten 2 % stellen somit ein optimistisches Szenario dar.

²¹ ND := Nutzungsdauer

Annahmen	ALT	NEU
Startjahr	2019	
Nutzungsdauer ND [Jahre]	15	15
Kalkulatorischer Zinssatz [%]	2,00	2,00
Nettoinvestition [€]	0,-	4.000,-
Energiekosten [€ pro Jahr] LEH	880,-	380,-
sonstige Kosten ²²	---	---
Steigerung der Stromkosten [%/Jahr]	2	2
Steigerung der sonstigen Kosten p. a.	---	---

Tabelle 3. Annahmen Investitionsrechnung Break-even im LEH

Ergebnisse		
Amortisation, statisch [Jahre]	6,4	43 % v. ND
Amortisation, dynamisch, 1,7% [Jahre]	6,5	44 % v. ND
Kapitalwert 2,0 % [EUR]	4.153,-	
interne Verzinsung [%]	15,1	
jährliche Kosten inkl. annuierter Investition [EUR/Jahr]	ALT: 1.007,-	NEU: 784,-
jährliche Mehrkosten [EUR/Jahr]		323,-

Tabelle 4. Ergebnisse Investitionsrechnung Break-even im LEH

Zu berücksichtigen ist, dass sich das Berechnungsbeispiel auf einen Meter laufendes Kühlregal bezieht. Das bedeutet, bei 20 Meter Kühlregal und 15 Jahren Nutzungsdauer entziehen energetisch nicht optimierte Kühlregale dem Einzelhändler mindestens eine Liquidität von rund 83.000 EUR²³ und mehr.

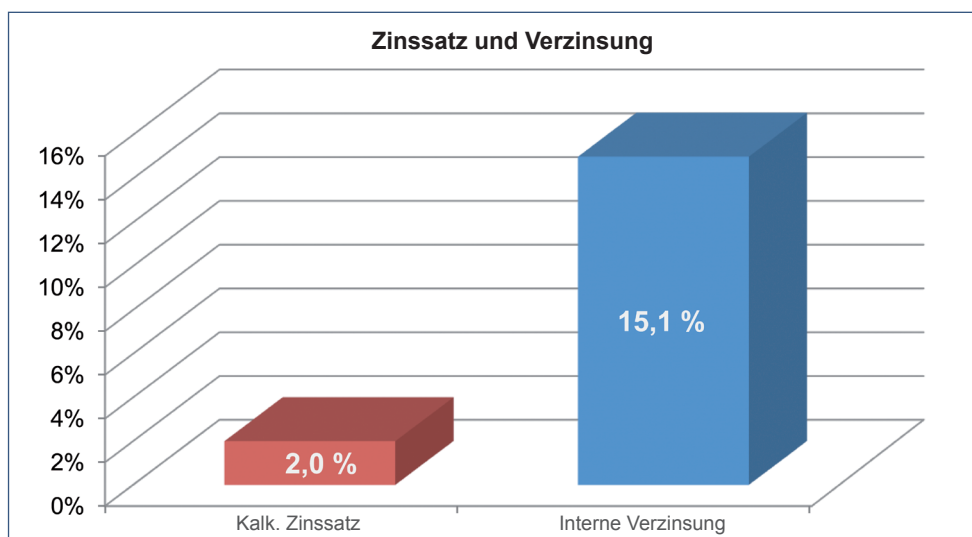


Abbildung 16. Zinssatz und interne Verzinsung, Regaltausch

²² Die deutlich höheren Wartungskosten in die Jahre gekommener Anlagen wurden nicht berücksichtigt, um auf der sicheren Seite zu bleiben.

²³ Kapitalwert 4.153 EUR/lfm Kühlregal • 20 Regalmeter = 83.060 EUR

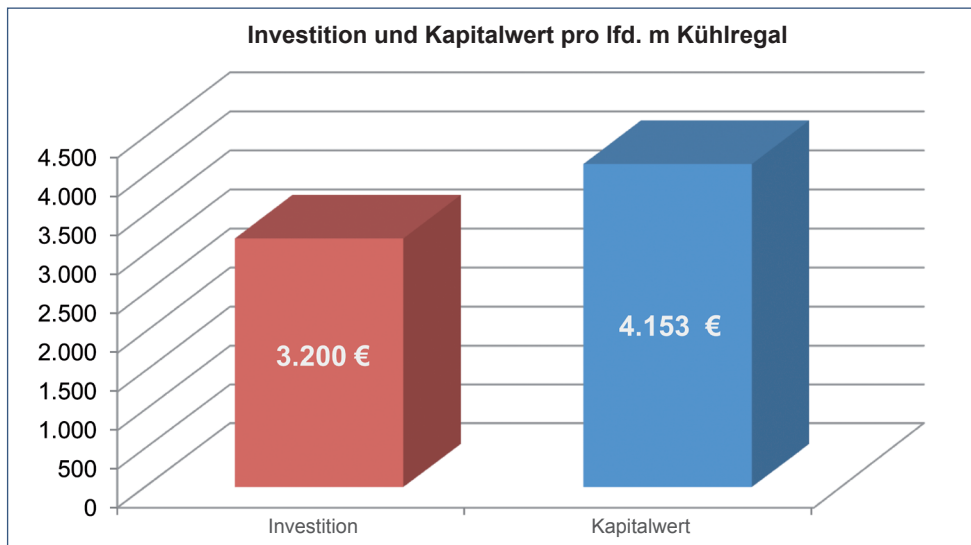


Abbildung 17. Investition und Kapitalwert im Vergleich, Regaltausch

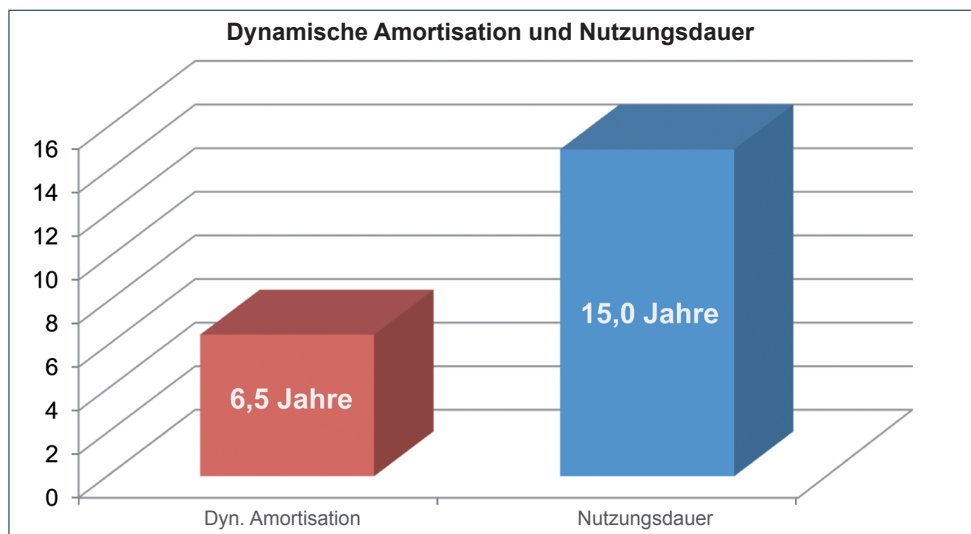


Abbildung 18. Dyn. Amortisation und Nutzungsdauer, Regaltausch

Zahlungsplan Differenzinvestition

Zeitpunkt	12/2019	12/2020	12/2021	12/2022	12/2023	12/2024
Kredit	3.200					
Rückfluss	-3.200	500	510	520	531	541
Zins		-64	-55	-46	-37	-27
Tilgung		-436	-455	-474	-494	-514
Restschuld	-3.200	-2.764	-2.309	-1.853	-1.341	-827
Überschuss	0	0	0	0	0	0
Abgezinst auf Kapitalwert	4.153	0	0	0	0	0

Zeitpunkt	12/2025	12/2026	12/2027	12/2028	12/2029	12/2030
Kredit						
Rückfluss	552	563	574	586	598	609
Zins	-17	-6	0	0	0	0
Tilgung	-536	-291	0	0	0	0
Restschuld	-291	-291	0	0	0	0
Überschuss	0	0	574	586	598	609
Abgezinst auf Kapitalwert	0	266	490	490	490	490

Zeitpunkt	12/2031	12/2032	12/2033	12/2034
Kredit				
Rückfluss	622	634	647	660
Zins	0	0	0	0
Tilgung	0	0	0	0
Restschuld	0	0	0	0
Überschuss	622	634	647	660
Abgezinst auf Kapitalwert	490	490	490	490

Tabelle 5. Zahlungsplan Ersatzinvestition Regaltausch

Resümee zum Tausch alter Kühlregale

- Ab einem Strombedarf von 4.650 kWh/lfm•a (LEH) und 5.150 kWh/lfm•a (Discounter) ist ein Austausch der Kühlregale besonders lukrativ. Bei einem Zeithorizont von 15 Jahren und 20 laufenden Metern Kühlregal liegt der Kapitalwert der Investition bei 83.000 EUR und mehr. Kapitalkraft, die im harten Wettbewerb ansonsten fehlt.
- Ein Austausch bestehender Kühlregale ohne vorherige Messung des tatsächlichen Strombedarfs würde in rund 15 % der Fälle zu einer Fehlentscheidung führen²⁴ und in weiteren 40 % unter einer Kapitalverzinsung von 15 % liegen.
- Da die Bandbreite des Strombedarfes außerordentlich hoch ist, lohnt es sich, bereits bei einem Strombedarf ab ca. 4.000 kWh/lfm•a auf Basis eines konkreten Angebotes genau nachzurechnen.
- Rund 45 % der Regal-Altbestände sollten aus wirtschaftlicher Sicht umgehend ausgetauscht werden.²⁵
- Neuere Kühlregale weisen tendenziell einen geringeren Strombedarf auf als die älteren Generationen.
- Die Spreizung beim Strombedarf von neuen Kühlregalen ist noch immer hoch. Das bedeutet: vor dem Kauf die Augen offen halten, Angaben kritisch hinterfragen und die Strombedarfe miteinander vergleichen.

3.3 Glaubenskrieg: Türen vor Regalen

3.3.1 Grundlagen

Die zentrale Frage lautet: Soll bei neuen Kühlregalen eine offene oder geschlossene Variante gewählt werden?

Die Unsicherheit ist groß. Immer wieder wird behauptet, dass Türen den Kauf der Produkte be- bzw. gar verhindern und zu Umsatzeinbußen im zweistelligen Bereich führen. Es wird argumentiert, es gäbe zahlreiche Studien, die dies belegen. Wird kritisch von uns nachgefragt, konnte bislang keine einzige belastbare Studie vorgelegt werden, die zweifelsfrei für offene Kühlregale plädiert. Wir hingegen fanden ein einheitliches Credo aller Berichte, die einen erhöhten Umsatz belegen. Dies ist auch nachvollziehbar. Der Kunde fühlt sich vor einem geschlossenen Regal schlichtweg wohler. Im Gegensatz dazu verleiten kalte Füße (durch einen „Kältesee“) nicht zum Verweilen.

Die Mehrzahl der verfügbaren Berichte wurde in den Jahren 1998 bis 2013 veröffentlicht. Einen guten Überblick gibt es vom englischen Institute of Refrigeration, der die Ergebnisse aus 44 Berichten zusammenfasst [IOR 2014]²⁶. Im deutschsprachigen Raum sticht eine Studie

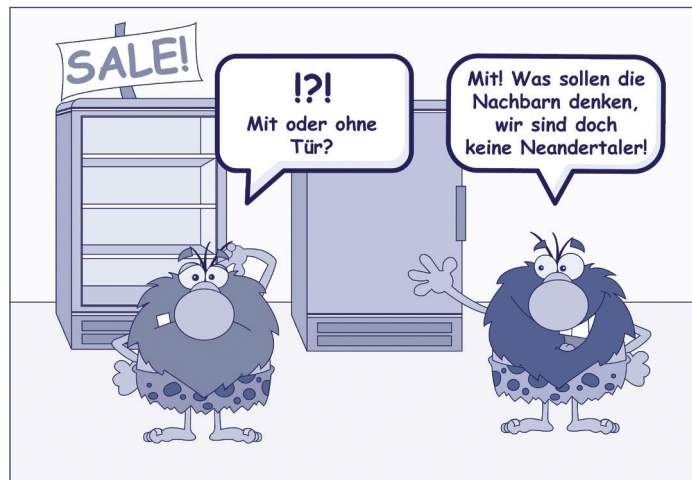
²⁴ Bei den 200 von uns untersuchten Märkten lagen 15 % der Kühlregale bei einem Strombedarf über 3.500 kWh/lfm•a.

²⁵ Von den rund 40.000 deutschen LEH-Unternehmen hat die Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG lediglich rund 3 % erfasst. Die 200 zufällig ausgewählten Märkte mit Kälteanlagen und Kühlregalen aus 2010 und älter können damit kein repräsentativer Querschnitt des deutschen LEH sein. Die Auswertungen sind allerdings umfangreich genug, um sich einen ersten Überblick, eine tendenzielle Auskunft zum Energiebedarf von Kühlregalen zu verschaffen.

²⁶ Institute of Refrigeration. Vom 06.02.2014.

der Hauser GmbH aus Linz hervor.²⁷ Dort wird das energetische Einsparpotential anhand von belastbaren Messreihen nachgewiesen.

Interessanterweise kommt keiner der Türgegner auf die Idee, dass er einen Kühlschrank ohne Türen möchte. Liegt es daran, dass die Produkte im eigenen Kühlschrank für hochwertiger als die Produkte in den Regalen erachtet werden?



Die Mär der wegbleibenden Kunden hält sich dennoch hartnäckig. Bei den von uns befragten Einzelhändlern, wie beispielsweise EDEKA Pfeilstetter und Namberger in Traunstein oder EDEKA Rumpsmüller in Lippstadt, konnte kein einziger einen Rückgang im Abverkauf bei den Produkten hinter verglasten Kühlregalen feststellen.

Wenn einerseits das Kaufverhalten nicht nachlässt und andererseits die monetäre Einsparung nachgewiesen ist, sollten die Argumente für Türen vor Kühlregalen nicht weiter ignoriert werden.

Anmerkung:

Damit der Umsatz nicht nachlässt, müssen selbstverständlich einige grundlegende Rahmenbedingungen beachtet werden:

- Die Gänge müssen ausreichend breit sein.
- Die gegenseitige Behinderung der Kunden durch offen stehende Türen muss auf ein notwendiges Mindestmaß reduziert sein, d. h. der Gang muss eine bestimmte Mindestbreite haben.
- Die Kondenswasserbildung an Gläsern und Möbeln muss ausgeschlossen sein.
- Je nach Bauweise des Objektes kann eine Verglasung aller Kühlregale dazu führen, dass im Markt eine Teilklimaanlage notwendig wird. Sollte dies der Fall sein, können Kostenvorteile zunichtegemacht werden.

Auch nichtmonetäre Faktoren wie die Gesundheit der Mitarbeiter und Kunden sollten beim Neukauf eine Rolle spielen. Offene Regale entfeuchten die Atemluft. Im Winter ist es äußerst schwierig, im Markt eine empfohlene Luftfeuchtigkeit oberhalb von 40 % (ideal 40–60 %) in der Atemluft zu erreichen. Jeder Marktleiter und auch wir kennen dieses Phänomen aus unserer Beratungspraxis vor Ort: Am Ende eines winterlichen Tages in einem Markt sind die Lippen ausgetrocknet.

²⁷ Hauser GmbH, Schauer, A: Energieeinsparung bei Supermärkten, Glastüren bei Kühlmöbel, „Ich bin kein Freund von ‚bis zu‘ Angaben!“ – tatsächliches Potential, Linz, ohne Datumsangabe.

3.3.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die wirtschaftlichen Aspekte zu Türen vor Kühlregalen haben wir uns sehr genau angesehen. Eine umfangreiche Darstellung zu dieser Thematik folgt in dem Kapitel zur Nachrüstung von Türen an vorhandenen Kühlregalen. An dieser Stelle möchten wir eine Lanze für eine konsequente Ausstattung von neuen Kühlregalen mit Türen brechen. Die **minimalen** Einsparungen konnten wir mit ca. 300 kWh pro Jahr und Regalmeter bzw. 57 EUR/a²⁸ quantifizieren. Gute Türen kosten etwa 600 EUR pro Meter Regallänge. Der Aufpreis bei neuen Regalen beträgt rund 400 EUR/m, da Nachrollos zum Preis von rund 200 EUR/m entfallen.

Ausgehend von einem Regal mit einem Strombedarf von 2.000 kWh/lfm•a (380 EUR/lfm•a) wird die Wirtschaftlichkeit von Türen überprüft.

Annahmen	ALT	NEU
Startjahr	2019	
Nutzungsdauer ND [Jahre]	15	15
Kalkulatorischer Zinssatz [%]	2,00	2,00
Nettoinvestition [€]	0,-	400,-
Energiekosten [€ pro Jahr] LEH	380,-	323,-
sonstige Kosten ²⁹	---	---
Steigerung der Stromkosten [%/Jahr]	2	2
Steigerung der sonstigen Kosten p. a.	---	---

Tabelle 6. Annahmen Investitionsrechnung Türen neue Regale

Ergebnisse		
Amortisation, statisch [Jahre]	7	47 % v. ND
Amortisation, dynamisch, 1,7% [Jahre]	7,2	48 % v. ND
Kapitalwert 2,0 % [EUR]	438,-	
interne Verzinsung [%]	13,3	
jährliche Kosten inkl. annuierter Investition [EUR/Jahr]	ALT: 435	NEU: 401
jährliche Mehrkosten [EUR/Jahr]		34

Tabelle 7. Ergebnisse Investitionsrechnung Türen neue Regale

Bei 20 laufenden Metern Kühlregal beträgt der Kapitalwert über die Nutzungsdauer mindestens 8.765 EUR und die jährliche Kosteneinsparung liegt nicht unter 680 EUR. Wem eine interne Verzinsung von 13 % zu gering erscheint, sollte bedenken, dass diese Rendite deutlich über jeder öffentlich geförderten Solar- oder Windkraftanlage liegt.³⁰

Nicht berücksichtigt wurde in der Investitionsrechnung, dass bei der Neuplanung eines Marktes die Kälteanlage deutlich kleiner ausgelegt werden kann.

²⁸ 300 kWh/a • 0,19 EUR/kWh = 57 EUR/a

²⁹ Die deutlich höheren Wartungskosten in die Jahre gekommener Anlagen wurden nicht berücksichtigt, um auf der sicheren Seite zu bleiben.

³⁰ Wird im Markt durch die Verglasung sämtlicher Regale eine Teilklimaanlage notwendig, gilt es, mit spitzem Bleistift zu rechnen. Der verringerte Strombedarf der Regale kann ggf. durch einen deutlichen Strom-Mehrbedarf der Teilklimaanlage zunichtegemacht werden.

3.4 Dreh- oder Schiebetüren?

Was ist die bessere Alternative, Dreh- oder Schiebetüren? Die Frage stellt sich vergleichbar in jeder Wohnung, in jedem Gebäude. Schiebetüren werden dort eingesetzt, wo der Platz für Drehtüren nicht ausreicht. In Bezug auf Kosten, Haltbarkeit, Dichtigkeit und Wartungskosten sind Schiebetüren immer ein Kompromiss.

Gute Schiebetüren stehen in der Bedienfreundlichkeit Drehtüren nicht nach. Die Gefahr, dass sich Kunden gegenseitig behindern, ist bei Schiebetüren ungleich höher. Das bedeutet: Wenn der Platz vor einem Regal ausreicht, sind Drehtüren immer den Schiebetüren vorzuziehen.

Resümee zum Anbringen von Türen beim Kauf neuer Kühlregale

Nach unserer Erfahrung sind im Normalfall keine Umsatzeinbußen durch Türen vor Kühlregalen zu erwarten. Tendenziell ist das Gegenteil zu erwarten.

- Durch Türen vor den Kühlregalen herrscht ein angenehmeres Raumklima im Markt (offene Kühlregale entfeuchten die Raumluft).
- Die NK-Kälteanlage (Kompressor) kann deutlich kleiner ausgelegt werden.
- Wirtschaftlich rechnen sich Regale mit Türen.
- Falls das neue Ladenkonzept keine Teilklimaanlage vorsieht, kann eine konsequente Kühlregalverglasung dazu führen, dass doch eine Teilklimaanlage installiert werden muss. Dies muss gesondert geprüft werden und kann die wirtschaftliche Umsetzung verhindern.
- Drehtüren sind bei ausreichendem Platz Schiebetüren immer vorzuziehen.

3.5 Beleuchtung und Design

3.5.1 LED-Beleuchtung

Ansprechendes Licht begünstigt maßgeblich das Einkaufserlebnis. Nicht umsonst heißt es: Licht verkauft! Andererseits trägt die Beleuchtung zu einem nennenswerten Anteil am Energiebedarf und damit den Betriebskosten eines Kühlregals bei, der umso höher ausfällt, je mehr Wärme das Leuchtmittel der Kühlzone zuführt. Neue Maßstäbe bei der Kühlmöbel-Beleuchtung setzen LEDs.

Im Vergleich zu herkömmlichen Beleuchtungsvarianten verbrauchen die Neuentwicklungen weniger Energie und vermeiden ein Vergrauen der Ware, da Infrarot- und UV-Lichtanteile weitgehend fehlen. Das kann vor allem bei Fleisch und Fleischwaren ein wichtiges Kaufargument sein. Hinzu kommt, dass herkömmliche Leuchtstofflampen mit sinkender Temperatur an Lichtausbeute einbüßen, während der Wirkungsgrad einer LED mit sinkender Temperatur zunimmt. Ein weiterer Pluspunkt sind die am Markt angebotenen unterschiedlichen Lichtfarben. Die Palette reicht von Tageslichtweiß, auch Kaltweiß genannt (Farbtemperatur > 5.000 Kelvin, z. B. für Fisch geeignet), über Neutralweiß (3.300–5.000 K) bis zu Warmweiß (< 3.300 K).

Begriffe zur Beleuchtungstechnik: Lichtfarbe

Die Lichtfarbe wird gekennzeichnet durch die Farbtemperatur in Kelvin (K), wobei gilt:

- Warmweiß (ww) < 3.300 K
- Neutralweiß (nw) 3.300 K bis 5.300 K
- Tageslichtweiß (tw) > 5.300 K

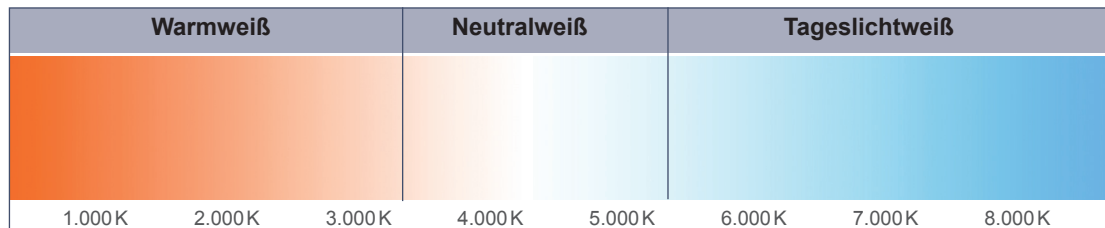


Abbildung 19. Lichtfarben

Allerdings kann das Licht von Lampen gleicher Lichtfarbe unterschiedliche Farbwiedergabeeigenschaften haben. Die Lichtfarben werden zu verschiedenen Zwecken verwendet: Warmweißes Licht erzeugt Behaglichkeit, wogegen neutralweißes Licht eher als sachlich empfunden wird und üblicherweise an Arbeitsplätzen zum Einsatz kommt.

Eine nur auf den ersten Blick einfach zu beantwortende Frage lautet: Sollen neue Kühlregale immer mit LED ausgestattet werden? Vorschnell ist hier häufig ein lautes „Ja“ zu hören. Wir sagen dazu: „Ja, aber die Wirtschaftlichkeit im Auge behalten.“ In unserer Berufspraxis kommt es immer wieder vor, dass wir im Auftrag unserer Mandanten Angebote prüfen. Dabei stellte sich im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsberechnungen heraus, dass der Aufpreis für LED vereinzelt so hoch angesetzt wurde, dass negative Kapitalrenditen die Folge waren und die Amortisationszeit die Lebensdauer der LED überschritt. Auch einer der Marktführer bediente sich in der Vergangenheit dieser Praxis.

Tipp: Auf wirtschaftliche LED-Beleuchtung mit hoher Farbbrillanz und gleichmäßiger Warenbeleuchtung setzen.

3.5.2 Design – Die Verkaufsware steht im Vordergrund

Das Design von Kühlregalen hat sich durch eine dezente Gestaltung der Warenpräsentation unterzuordnen. Das bedeutet, die optimale Darstellung der Produkte mit blendfreiem Wareneinblick hat oberste Priorität. Glaseinsätze ohne technische Einschränkungen und eine optimale Warenraumausleuchtung schaffen eine angenehme Einkaufsatmosphäre. Auch ergonomische Aspekte gilt es, sowohl beim Kunden als auch beim Marktpersonal, zu berücksichtigen. So müssen die Türen in jedem Fall leichtgängig sein. Zur Verglasung von Kühlmöbeln wurde bereits ausführlich in unserer Basis-Studie in Kapitel 5.10: STECKERFERTIGE KÜHLMÖBEL IM LEH, Bestand – Strombedarf – Einsparpotentiale Stellung bezogen. Die Studie kann kostenfrei unter <https://steinmaszl.com/publikationen/studien> auf den eigenen Rechner geladen werden.

Tipp: Egal für welche Designvariante Sie sich entscheiden: Die optimale Präsentation der Verkaufsware muss im Vordergrund stehen.

Resümee zu Beleuchtung und Design

- Licht verkauft! Dementsprechend muss eine hohe Farbbrillanz und gleichmäßige Warenausleuchtung gewährleistet sein.
- LEDs benötigen für dieselbe Helligkeit im Vergleich zu konventionellen T5- oder T8-Leuchtstoffröhren weniger Strom, haben bei niedrigen Temperaturen einen höheren Wirkungsgrad und vermeiden ein Vergrauen der Ware, da Infrarot- und UV-Lichtanteile weitgehend fehlen.
- In jedem Fall auf die Wirtschaftlichkeit achten, da in neuen Kühlregalen häufig der Posten „Beleuchtung“ nicht beachtet wird und gerne überhöhte Preise angesetzt werden.
- Neue Kühlregale sollten, bei angemessenen Preisen, ohne Ausnahme mit LED-Beleuchtung ausgestattet werden.
- Zum bewussten Einsatz verglaster Kühlmöbel wurde bereits ausführlich in unserer Basis-Studie zu steckerfertigen Kühlmöbeln im LEH Stellung bezogen. Die Studie kann kostenlos unter <https://steinmaszl.com/publikationen/studien> auf den eigenen Rechner geladen werden.
- Egal für welche Designvariante Sie sich entscheiden: Achten Sie auf die optimale Präsentation der Verkaufsware.

3.6 Verbundlösung oder Einzelanlagen?

3.6.1 Was sagt die F-Gase-Verordnung?

Die F-Gase-Verordnung ist in Bezug auf neue Verbundanlagen eindeutig.³¹ Fällt die Entscheidung auf eine Verbundanlage, kommt ab einer Größe von **40 kW** Kälteleistung als Kältemittel praktisch nur noch CO₂ (R744) infrage. Dies entspricht jeweils einer TK-Insel mit ca. 100 Metern Länge oder ca. 33 Meter offenem Kühlregal.

Einzelanlagen oder kleine Verbundanlagen mit **weniger als 40 kW** Kälteleistung dürfen noch mit einem Kältemittel, dessen GWP kleiner als 2.500 ist, betrieben werden. Theoretisch könnten also größere Verbundanlagen in kleinere Verbund- oder Einzelanlagen aufgeteilt werden, um ein Verwendungsverbot von Kältemitteln mit einem GWP über 150 zu umgehen. Wir halten diesen Weg jedoch nicht für empfehlenswert, da die Kostenproblematik grundsätzlich bestehen bleibt.

Nach unserer Erfahrung können nur gut geplante CO₂-Anlagen³² ab 40 kW mit einem engmaschigen Überwachungsnetz vergleichbare Energiekennwerte aufweisen wie konventionelle Technik.

Eine bewusste Aufteilung von Verbund-Kälteanlagen in Anlagen **unter 40 kW** Kälteleistung ist allenfalls ein Weg für Ersatzinvestitionen, bei denen nur Teile einer Kälteanlage ausgetauscht werden und z. B. die Kühlmöbel und Versorgungsleitungen erhalten bleiben. Für diesen Fall sollte ein Ersatzkältemittel mit möglichst niedrigem GWP gewählt werden.

³¹ Offiziell heißt es: mehrteilige zentralisierte Kühlanlagen. Anlagen mit mehr als einem Verdichter oder mehr als einer Kühlstelle oder mehr als einem Verflüssiger.

³² Es gilt hier, neueste Entwicklungen zu beachten. Siehe Kapitel zu CO₂-Anlagen.

Auch hier gilt: Je größer der GWP-Wert und die Füllmenge, desto höher das Risiko. Des Weiteren haben Ersatzkältemittel die unangenehme Eigenschaft des sogenannten Temperaturgleits. Dies bedeutet, dass sich Kältemittel bei Leckagen entmischen und ggf. das gesamte Kältemittel ausgetauscht werden muss. Alternativ kann das verbliebene Kältemittel analysiert und die Nachfüllmenge von der Mischung her an die verbliebene Menge angepasst werden.

Die Entwicklung neuer Ersatz-Kältemittel ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Der Schwerpunkt liegt aber auf Kältemitteln für deutlich größere Anlagen, als sie im LEH Verwendung finden.

Aus unserer Sicht ist es unumgänglich, sich vor dem Kauf einer neuen Kälteanlage intensiv mit dem Thema zu beschäftigen und unabhängigen Expertenrat einzuholen. Die Betonung liegt dabei auf unabhängig. Der Berater sollte keinesfalls auf Empfehlung einer am Kauf beteiligten Partei seine Meinung abgeben. Hintergrund dieser Überlegung ist, dass selbst bei den effizientesten Kühlregalen, die wir gemessen haben, die Energiekosten bei rund 60 % der Lebenszykluskosten liegen. Bei weniger effizienten Regalen liegt dieser Wert deutlich darüber. Es geht somit nicht nur um die Investitionskosten, sondern auch um die Folgekosten, die die Investitionskosten ausnahmslos übersteigen.

Es sollten beim Kauf neuer Kühlregale zumindest zwei Szenarien abgebildet werden:

- Kühlregale mit wassergekühltem Verflüssiger (steckerfertig, mit Wasserzufluss und Wasserabfluss) und Kältemittel R290
- Verbundkälteanlage, Kältemittel CO₂

Beide Varianten sollten gegenübergestellt und zum Beispiel im Rahmen einer Nutzwertanalyse³³ beurteilt werden. Für Kühlräume und Bedientheken ist im Fall der Plug-in-Kühlung eine gesonderte Lösung mit Einzelanlagen zu wählen.

3.6.2 Einzelanlagen: Plug-in für den TK-Bereich

Bei vielen Lebensmitteldiscountern wird TK-Ware traditionell aus steckerfertigen TK-Truhen angeboten. Bei dieser Geräteklasse ist die Umstellung auf sogenannte „natürliche“ Kältemittel inzwischen praktisch abgeschlossen. Allerdings ist der Einsatz von CO₂ bei kleinen Kälteanlagen völlig unwirtschaftlich, sodass hier ausschließlich brennbare Kältemittel wie z. B. **Propan (R290)** zum Einsatz kommen.

Um die Gefahr einer Explosion bei Kältemittelaustritt zu minimieren, ist die Kältemittelmenge auf 150 g pro Kältekreislauf begrenzt. Reicht ein Kreislauf nicht aus, werden mehrere Kreisläufe parallel in ein Möbel eingebaut.

Hintergrund: Bei brennbaren Mengen größer 150 g pro Kreislauf geht die Haftung auf den Betreiber der Anlage über, sodass umfangreiche Sicherheitskonzepte mit TÜV-Einzelabnahmen notwendig werden.

Propan (R290) ist ein energetisch sehr gutes Kältemittel. Aufgrund der derzeit rechtlich komplizierten Situation rund um die Betreiberhaftung haben sich Anlagen mit mehr als 150 g brennbarem Kältemittel im Handel nicht durchsetzen können.

³³ Die Nutzwertanalyse ist eine Methodik, die die Entscheidungsfindung bei komplexen Problemen rational unterstützen soll.

Für eine bessere Platzausnutzung stehen inzwischen auch TK-Schränke mit der gleichen Technologie wie bei steckerfertigen TK-Truhen zur Verfügung. Diese werden dann oberhalb der Truhen platziert.

3.6.3 Einzelanlagen: Regale mit Wasseranschluss für den NK-Bereich

Für den NK-Bereich empfehlen wir offene oder geschlossene Wandkühlregale mit Wasseranschluss. Ein 3,75 m langes Regal enthält in der Regel drei getrennte Kältekreisläufe mit maximal 150 g Propan (R290) oder Isobutan (R600a). Auch wenn die F-Gase-Verordnung hier nicht ganz eindeutig ist, so wenden die Hersteller durchgängig das Verbot von Kältemitteln mit einem GWP > 150 bei hermetisch geschlossenen Geräten an. Durch kleine Kältekreisläufe kann in jedem Regal die Temperatur optimal an die Produkte angepasst werden. Auch liegt bei einigen Herstellern die minimale Verflüssigungstemperatur im Kältekreislauf bei lediglich 10 °C. Damit können trotz der kleinen Verdichter sehr gute Energiebedarfswerte erzielt werden.

Resümee zur Frage: Verbund- oder Einzelanlagenlösung?

- Der Kauf einer neuen Kälteanlage ist eine komplexe Angelegenheit. Unabhängiger Expertenrat sollte vor einer Entscheidung in jedem Fall eingeholt werden.
- Pauschale Aussagen können ohne gründliche Einzelfallprüfung nicht getroffen werden.
- Zwei Szenarien sollten im Rahmen einer Nutzwertanalyse immer abgebildet werden: einerseits eine Einzelanlagenlösung, d. h. Kühlregale mit wassergekühltem Verflüssiger (steckerfertig, Kältemittel Propan R290, in der Regel auch am energieeffizientesten), andererseits eine Verbundlösung mit CO₂.
- Bei kleinen Kälteanlagen ist der Einsatz von CO₂-Anlagen völlig unwirtschaftlich. Hier sollte in jedem Fall die Einzelanlagenlösung Anwendung finden, d. h. geschlossene Wandkühlregale mit Wasseranschluss.

3.7 Die Wahl des richtigen Kältemittels

Einigkeit besteht darin, dass neue Kühlregale nachhaltig, im Sinne von werthaltig, und zukunftssicher sein müssen. Höchst ärgerlich wäre es, wenn ein Kühlregal trotz der Möglichkeit einer wirtschaftlichen Reparatur aufgrund eines verbotenen Kältemittels entsorgt werden müsste.



Genau das kann aber passieren, da die neue F-Gase-Verordnung die Verkaufsmengen von teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffen (HFKW) schrittweise auf ein Fünftel der heutigen Verkaufsmengen reduziert und Verwendungsverbote für F-Gase und Inverkehrbringungsverbote von Erzeugnissen, die F-Gase enthalten, umfasst. Ziel der neuen Verordnung ist es, unter anderem mit Verwendungsverbieten die Emissionen fluorierter Treibhausgase in Europa stufenweise um rund 80 Prozent zu senken.

Dem Kältemittel kommt dadurch eine zentrale Bedeutung zu. Neben dem im TK-Bereich in aller Munde geführten R744 (CO_2) hat sich für Kühlregale die ebenfalls sehr interessante und zukunftssichere Alternative R290 (Propan) mit ebenfalls ausgezeichneten GWP³⁴-, ODP³⁵- und TEWI³⁶-Werten etabliert. Während mit den oben genannten halogenfreien Kältemitteln ein Betrieb der Kühlmöbel auch über das Jahr 2020 ohne Einschränkungen möglich ist, muss bei ebenfalls angebotenen Möbeln mit Low-GWP-Kältemitteln³⁷ möglicherweise bereits mittelfristig, in jedem Fall aber langfristig mit Betriebseinschränkungen wie beispielsweise hohen Kältemittelpreisen gerechnet werden.

Halogenfreie Kältemittel gewähren vor allem eine lange Betriebssicherheit und wirken sich positiv auf die Umwelt aus. Die Energieeffizienz des Kühlmöbels schlägt sich direkt im Betriebsergebnis des Einzelhändlers nieder. Hintergrund: Im direkten Vergleich wirken sich Kostenreduzierungsmaßnahmen deutlich positiver auf den Gewinn aus, als dies vergleichbare Umsatzsteigerungen vermögen.

Aus unserer Sicht handelt es sich bei den Kältemittelleinschränkungen nicht um eine Schikane der Bundesregierung. Die Auswirkungen des Klimawandels sind inzwischen global zu beobachten. Die Klimaerwärmung wird nach unserer Einschätzung weltweit gravierende Folgen für die Menschheit nach sich ziehen. Der Klimaschutz ist somit eine der größten ökologischen und wirtschaftlichen Herausforderungen der Menschheit. Den fluorierten Treibhausgasen in Kältemitteln kommt aufgrund ihrer hohen Klimawirksamkeit (100 bis 24.000 Mal höher als CO_2) dabei eine besondere Bedeutung zu.

Die Fragestellung lautet: Welche Auswirkungen hat die **F-Gase-Verordnung** und welches Kühlmittel soll zukünftig verwendet werden, um auf der sicheren Seite zu sein? Diese Wahl bezieht sich nicht nur auf das Kältemittel selbst, sondern hat auch unmittelbar Auswirkungen auf die Auswahl neuer Kühlmöbel und Kälteanlagen.

³⁴ GWP := Global Warming Potential, d. h. Treibhauspotential: Dabei handelt es sich um einen Wert zur Messung des klimatischen Einflusses eines Stoffes in der Atmosphäre in Bezug auf die Wirkung als Treibhausgas.

³⁵ ODP := Ozone Depletion Potential, d. h. Ozonzerstörungspotential: Wert zur Messung der Wirkung von Stoffen auf die Ozonschicht

³⁶ TEWI := Total Equivalent Warming Impact: Wert zur Berechnung des theoretischen Beitrages von Kühlsystemen zur Klimaerwärmung

³⁷ Sogenannte Low-GWP-Kältemittel gelten mit ihrem niedrigen GWP als umweltfreundliche und klimaschonende Kältemittel-Varianten.

3.7.1 Alles dreht sich um den GWP-Wert

Mithilfe des GWP differenziert die F-Gase-Verordnung erstmals nach Klimawirksamkeit und nicht nach der Menge. Das GWP gibt an, um wie viel klimaschädlicher der Austritt eines Kilogramms Kältemittel gegenüber dem Austritt eines Kilogramms CO₂ ist. Beispiel: R404A, wie es bisher fast in allen Lebensmittelmärkten eingesetzt wurde, weist ein GWP von **3.922** auf. Wird ein Kilogramm in die Atmosphäre freigesetzt, entspricht das also **3.922** kg CO₂.

Die **F-Gase-Verordnung** erzwingt in Summe eine schrittweise Reduktion der in die Atmosphäre freigesetzten Treibhausgase von **89 % (!)** bis zum Jahr 2030. Begleitet wird die Mengenreduzierung durch gezielte **Verwendungsverbote** besonders schädlicher Kältemittel.

3.7.2 Einfluss des Kältemittels auf den Energieverbrauch

Wir haben uns diese Frage einmal bei typischen Bedingungen für die Erzeugung von „Normkälte“ in Nordeuropa angesehen. Für eine **idealisierte** Kälteanlage konnten wir folgende Unterschiede feststellen:

R404A	R744 (CO ₂)	R134a	R290 (Propan)
100 %	122 %	99 %	97 %

Tabelle 8. Relative Strombedarfsunterschiede von Kältemitteln³⁸

Kurz gesagt, CO₂ besitzt einen gravierenden Nachteil, wenn keine besonderen Maßnahmen ergriffen werden. Dies gilt für in Deutschland typische Außentemperaturen. Inzwischen gibt es auch für CO₂ in der Kombination von Tiefkälte und Normkälte gleichwertige und bessere Lösungen. Die anderen Kältemittel liegen im Prinzip auf vergleichbarem Niveau.

3.7.3 Entwicklungsstufen CO₂-Verbundanlagen

Die wichtigsten Entwicklungsstufen für kleinere bis mittelgroße Anlagen (bis 100 kW Kälteleistung) sind:

- subkritische CO₂-Kälteanlage
- transkritische CO₂-Kälteanlage 1. Generation
- CO₂-Booster-Anlage
- CO₂-Booster-Anlage mit Parallelverdichter
- CO₂-Booster-Anlage mit Injektor für teilüberflutete NK-Verdampfer

Generell gilt: Im Gegensatz zu synthetischen Kältemitteln (FKW, FCKW, H-FCKW usw.) arbeitet CO₂ mit sehr hohen Drücken, speziell im Niedrigtemperaturbereich. D. h. Komponenten, die in der Flüssigkeitsleitung eingebaut sind, unterliegen hohen Drücken bei gleichzeitig sehr niedrigen Temperaturen. Die Elastizität von Karbon-Stählen verbietet den sicheren Einsatz bei niedrigen Temperaturen und hohen Drücken. Dadurch ist es notwendig, entweder Niedrigtem-

³⁸ Details zur Ermittlung dieser Zahlen siehe Anhang „Verbrauchsunterschiede im idealen Kälteprozess“.

peraturstähle (LTCS) oder Edeltähle zu verwenden, die über eine entsprechende Elastizität verfügen.³⁹

Die **subkritische CO₂-Kälteanlage** wird nur als eine eigene Stufe im TK-Bereich eingesetzt, d. h. subkritische Systeme werden für kommerzielle oder industrielle Niedrigkühlungen (-25 °C bis -45 °C) genutzt. Sie kann ohne eine weitere NK-Stufe nicht realisiert werden, d. h. für den NK-Bereich wird eine Booster-Anlage oder R134a-Stufe notwendig. Der Prozess der Kälteerzeugung ist sehr energieeffizient und Teil jeder Booster- oder Kaskaden⁴⁰-Anlage. Diese Anlagen(teile) haben sich im Grunde nicht verändert.

Die **transkritische CO₂-Kälteanlage 1. Generation** für NK-Möbel wird bei Außentemperaturen unterhalb von 20 °C normalerweise subkritisch betrieben. Oberhalb von ca. 20 °C beginnt der transkritische Betrieb, der bei einfachen Anlagen besonders viel Energie benötigt.

Die **einfache CO₂-Booster-Anlage** kombiniert TK-Stufe und NK-Stufe mit einem Mitteldruck-Flüssigkeitsabscheider. Dadurch steigt zwar nicht die Effizienz in der Kälteerzeugung selbst, aber es werden viele operationelle Nachteile im praktischen Betrieb beseitigt. In der Praxis laufen diese Anlagen besonders bei höheren Außentemperaturen deutlich stabiler als einfache transkritische Anlagen, da die Kühlmöbel gleichbleibend mit Kältemittel versorgt werden.

Die **CO₂-Booster-Anlage mit Parallelverdichter** beseitigt Nachteile bei höheren Temperaturen, indem ein Teil des Kältemittels in einer zusätzlichen Stufe verdichtet wird. Energetisch ist sie damit, zumindest in der Theorie, etwa auf dem gleichen Niveau wie bisherige R404A-Anlagen.

Die **CO₂-Booster-Anlage mit Injektor** für **teilüberflutete NK-Verdampfer** erhöht die Effizienz im NK-Kältekreislauf durch ein Anheben der Verdampfungstemperatur um ca. 5 °C⁴¹. Dies bringt für die NK-Stufe eine Einsparung gegenüber R404A-Anlagen von ca. 15 %. Dies gilt allerdings nur, wenn Möbel und Kälteerzeugung optimal aufeinander abgestimmt werden. In unserer Messpraxis konnten wir bisher keine Anlage identifizieren, die diese Energieeinsparung nachweisen konnte. Das liegt vermutlich daran, dass eine einzige „schlechte“ Komponente als schwächstes Glied einer Kette diesen Effekt zunichtemacht.

3.7.4 Vergleich von Kältemitteln in Kombination mit Kälteanlagen

Nachstehend haben wir die Kombination der wichtigsten Kältemittel mit aktueller Anlagentechnik für die **Normalkühlung** zusammengestellt. Es ergibt sich dabei folgender Vergleich, immer bezogen auf eine R404A-Anlage als Bezugspunkt⁴² mit 100 % Strombedarf. Ventilatoren, Begleitheizungen, Abtauheizungen und Beleuchtung werden dabei nicht berücksichtigt!

³⁹ Vgl.: Kältekomponenten für CO₂ (R744), <http://www.carly-sa.de/-Kaltekomponenten-fur-CO2-R744-.html>

⁴⁰ Bei der Kaskadenanlage ist der Kältekreislauf der TK-Stufe strikt getrennt von weiteren Stufen. Die NK-Stufe ist meist in R134a ausgeführt. Die Kaskadenanlage verliert immer mehr an Bedeutung.

⁴¹ Vortrag: CO₂-Next-Generation-Ejector Fa. Danfoss System, 6. ZVKKW-Supermarkt Symposium, 23.04.2015 in Darmstadt.

⁴² Der Vergleich ist von den Randbedingungen abhängig. Diese werden im Detail im Anhang aufgeführt.

Mittlere Kondensationstemperatur ⁴³	15 °C	21,5 °C	34,5 °C		
Anzahl Stunden pro Jahr	3.996	4.648	116	Zeitlich gewichtet	Relativ
	Aufwandszahl kWh _{th} /kWh _{el}				
5 kW Verdichter mit R404A	5,3	4,1	2,7	4,6	100 %
5 kW Verdichter mit R134a	5,0	4,1	2,8	4,5	103 %
5 kW Verdichter mit R407F	5,3	4,2	2,8	4,7	98 %
5 kW Verdichter mit R449A	5,3	4,2	2,8	4,7	98 %
5 kW Verdichter mit R513A	5,1	4,1	2,8	4,5	102 %
5 kW Verdichter CO ₂ -Standard	5,0	3,6	1,8	4,2	109 %
5 kW CO ₂ -Booster-Standard	5,1	3,8	1,8	4,3	106 %
5 kW CO ₂ -Booster-Parallelverd.	5,1	4,5	2,3	4,7	98 %
5 kW CO ₂ -Booster+ NK-Injektor	6,6	4,7	2,1	5,5	84 %

Tabelle 9. Überblick Effizienz von Kältemitteln mit Anlage

Fazit:

Ist die Entscheidung für eine neue CO₂-Anlage gefallen, ist eine CO₂-Boosteranlage mit Injektor zur Anhebung der NK-Verdampfungstemperatur in Bezug auf den Energieverbrauch die optimale Lösung. Dies bedingt aber, dass alle NK-Kühlstellen mit einem teilüberfluteten Verdampfer bei maximal -4 °C betrieben werden können. Bei Bestandsanlagen lassen die Ersatzkältemittel für eine Übergangszeit einen ähnlichen Energieverbrauch wie mit dem bisher eingesetzten Kältemittel (R404A bzw. R134a) erwarten.

Für große CO₂-Anlagen gibt es weitere „Tricks“ zur Energieeinsparung, welche an dieser Stelle nicht weiter relevant sind. Für Anlagen im Bereich 40 kW bis 100 kW Kälteleistung empfehlen wir als Stand der Technik die **CO₂-Booster-Anlage mit Injektor für teilüberflutete NK-Verdampfer**.

3.7.5 Auf welches Kältemittel soll ich setzen?

Vielen Marktbetreibern wird landauf landab erzählt, dass es für den LEH keine Alternativen zu dem Kältemittel CO₂ (R744) gibt. Unsere Bedenken und Hinweise auf Risiken wurden oftmals ignoriert oder bestritten.

Nun sehen wir in unserer Beratungspraxis vermehrt CO₂-Anlagen, die einen Strombedarf zwischen 2.200 kWh/lfm•a und 3.000 kWh/lfm•a aufweisen. Auf den ersten Blick scheint es noch akzeptabel, aber im Vergleich zu den hocheffizienten Kühlregalen entspricht das einem Energiemehrbedarf zwischen 500 kWh/lfm•a und 1.300 kWh/lfm•a. Das sind 22 % bis 43 % Mehrkosten. Jeder Lebensmitteleinzelhändler muss für sich selbst entscheiden, ob er bei 20 Regalmetern und 0,19 EUR/kWh zwischen 1.900 EUR/a und 5.200 EUR/a mehr bezahlen möchte als notwendig.

⁴³ Abgeleitet aus einem gemittelten Testreferenzjahr aller Klimazonen. Details siehe Anhang.

3.7.6 Was ist beim Kauf einer CO₂-Anlage besonders zu beachten?

Sollte die Entscheidung zugunsten einer modernen CO₂-Verbundanlage fallen, gilt es zu berücksichtigen, dass sie im Vergleich zu einem klassischen R404A- oder R134a-Verbund hochkomplex ist. Defekte Sensoren können beispielsweise erhebliche Mehrverbräuche verursachen, ohne dass dies durch Probleme bei der Kälteversorgung auffällt. Daher empfehlen wir dringend:

- Kälteanlage und Kühlmöbel aus einer Hand kaufen. Nur so wird die neueste Technologie sicher aufeinander abgestimmt.
- Bereits beim Kauf einen langfristigen Wartungsvertrag mit dem Lieferanten vereinbaren.
- Eine Ferndiagnose einrichten, die bei Abweichungen im Energiebedarf sofort zu Gegenmaßnahmen führt.
- Darauf bestehen, dass die für den Energieverbrauch kritischen Sensoren wie z. B. Drucksensoren der Mittel- und Hochdruckstufe doppelt ausgeführt werden und bei unzulässigen Abweichungen ein Alarm in der Fernwartung aufläuft.
- Darauf bestehen, dass ein Betriebskonzept vorgelegt wird, welches die vorgeschriebene Betriebsweise der Anlage während der verschiedenen Jahres- und Tageszeiten exakt beschreibt. Dies gilt besonders, wenn die Anlage im Winter die Funktion einer Wärmepumpe zu Heizzwecken mit übernehmen soll. Während einer Inbetriebnahme sieht der Techniker nur einen Teil der Betriebszustände. Daher ist es umso wichtiger, dass alles, was während seiner Abwesenheit zu geschehen hat, gut dokumentiert ist.
- Eine Aufstellung der Aufwandszahlen der Kälteerzeugung bei den verschiedenen Betriebsbedingungen verlangen. Ansonsten können Angebote nicht vernünftig verglichen werden.

Resümee zur Frage: Auf welches Kältemittel soll ich setzen?

- Wo immer möglich, sollte auf natürliche Kältemittel gesetzt werden.
- Vor einer Entscheidung, welches Kältemittel genommen wird, sollten in jedem Fall energieeffizientere Alternativen mit R290 (Propan) geprüft werden.

3.8 Checklisten zum Kauf neuer Kühlmöbel

Auf folgende Punkte sollte in Angeboten Wert gelegt werden, um diese auch in Bezug auf den Energieverbrauch miteinander vergleichen zu können.

3.8.1 Für steckerfertige Geräte

Bei steckerfertigen Geräten ist dies noch einfach. Für diese wird in aller Regel vom Hersteller ein Normverbrauch unter Testbedingungen ermittelt. Dieser gilt für maximales sommerliches Klima. Bei uns meist **25 °C und 60 %** relative Luftfeuchte. Bei diesem Klima müssen die Temperaturen im Möbel noch stimmen. Fehlen diese Angaben, sehen sie von einem Kauf besser gleich ab. Wünschenswert ist auch eine Angabe bei **21 °C und 50 %** relative Feuchte. Dies ist ein realistisches Jahresdurchschnittsklima. Gute Kühlmöbelhersteller haben Daten zum Energiebedarf einzelner Kühlmöbel bei unterschiedlichen Temperaturen und variablen Luftfeuchten. So können zumindest näherungsweise Angaben zu allen Modellen gemacht werden. Von Unternehmen, denen der Energiebedarf ihrer Kühlmöbel nicht so wichtig ist, wird man diese Zahl kaum bekommen. Nach unserer Erfahrung sind **50 % der Nenn-Anschlussleistung** eine realistische Schätzung. D. h. bei einer Kühltruhe von 400 W Anschlussleistung kann man einen Jahres-Strombedarf von ca. **0,4 kW • 50 % • 8.760 h/a = 1.750 kWh/a** erwarten.

3.8.2 Für Möbel an Einzel- oder Verbundanlagen

Egal welche Versprechen in den Verkaufsverhandlungen gemacht werden, kein Hersteller wird Ihnen einen zukünftigen Energiebedarf garantieren. Es sollte aber möglich sein, einen vernünftigen Richtwert zwingend einzufordern, der es erlaubt, den zukünftigen Verbrauch einschätzen zu können. Für den, der sich in die Materie einarbeiten und keine unabhängige Beratung in Anspruch nehmen möchte, ist folgende Liste hilfreich:

Sie benötigen für jedes Kühlmöbel:

- 1) Nicht nur Angaben über den elektrischen Bedarf und den Bedarf an **Kälteleistung** bei Testbedingungen (25 °C, 60 % r. F.), sondern auch bei einem realistischen mittleren Jahresklima. Wir empfehlen, die Verbrauchsangaben für **21 °C Umgebungstemperatur und 50 % relative Feuchte** zu verlangen. Die Hersteller testen ihre Möbel in Klimakammern und können diese Werte zur Verfügung stellen. Dazu gehört auch, bei welcher Temperatur das Kältemittel im Möbel verdampft.
- 2) Bei Möbeln mit Nachrollo oder Nachtabdeckung benötigen Sie obige Werte getrennt für den geöffneten und geschlossenen Zustand.
- 3) Für die zentralen Kälteanlagen eine Verbrauchsangabe zur Bereitstellung der unter den Punkten 1 und 2 genannten Kälteleistung für die angeschlossenen Kühlstellen in Gesamtheit. Dafür benötigen Sie folgende Angaben:
 - Außen-Grenz-Temperatur zur minimalen Kondensationstemperatur
 - Leistungszahl der Kälteerzeugung getrennt nach TK und NK
 - Korrekturfaktor für Außentemperaturen oberhalb der Außen-Grenz-Temperatur berechnet für einen Jahresverlauf entsprechend dem Testreferenzjahr für Ihre Klimazone
- 4) Einen Richtwert für den Jahres-Energieverbrauch der gesamten Anlage unter der Voraussetzung, dass vorhergehende Bedingungen zutreffen. Der tatsächliche Verbrauch sollte dann bei einer gut gewarteten Anlage um diesen Richtwert herum schwanken.

Beispiel für ein (sehr gutes) 3,75 m langes Kühlregal mit Zentraleinheit aus unserer Praxis**Kühlregal**

Beleuchtung: 3 • 25 W LED	= 75 W	(elektrisch)
Lüfter für Umluft im Regal	= 45 W	(elektrisch)
Soll-Temperatur im Regal	= +1° bis +7°	(Zuluft/Rückluft)
Kälteleistung ⁴⁴ (offen)	= 3,53 kW	(thermisch bei 21 °C, 50 % r. F.)
Kälteleistung (Nachrollo zu)	= 0,85 kW	(thermisch bei 21 °C, 50 % r. F.)

Zentraleinheit

Außen-Grenz-Temperatur ⁴⁵	= 5 °C	
Temperaturzone in Deutschland	= Nr. 13	(z. B. Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland)
Aufwandszahl ⁴⁶ bei $T < T_{\text{Grenz}}$	= 5,87	
TRY ⁴⁷ (13) JAZ ⁴⁸	= 3,17	

Zusammen mit einer Vorgabe für die Öffnungszeiten der Nachtabdeckungen kann mit diesen Zahlen der jährliche Energiebedarf hinreichend genau ermittelt werden.

Vorgabe Öffnungszeit: 52 % geöffnet; 48 % geschlossen

Jahres-Energiebedarf:

Beleuchtung	75 W • 8.760 h • 52 %	= 342 kWh/a ⁴⁹
Lüfter Regal	45 W • 8.760 h • 100 %	= 394 kWh/a
Kälteleistung (offen)	3,53 kW/3,17 (JAZ) • 8.760h • 52 %	= 5.073 kWh/a
Kälteleistung (zu)	0,85 kW/3,17 (JAZ) • 8.760h • 48 %	= 1.127 kWh/a
Jahres-Strombedarf		= <u>6.936 kWh/a</u>

Pro laufenden Meter Kühlregal ergeben sich:
6.936 kWh/a/3,75 m = **1.850 kWh/m•a**

An dieser Stelle wird noch einmal deutlich, warum Kühlmöbel und Kälteanlage möglichst aus einer Hand gekauft werden sollten.

Soll die Kälteanlage in eine winterliche Wärmerückgewinnung oder Heizungsanlage eingebunden werden, empfehlen wir, die Jahresaufwandszahl mit und ohne Wärmerückgewinnung einzufordern. Nur so lässt sich die Wirtschaftlichkeit einer Wärmerückgewinnung im Vergleich zu einer unabhängigen Heizungsanlage beurteilen.

⁴⁴ inklusive der Leistung zur Abfuhr der Wärme wie Lüfter oder Pumpen

⁴⁵ Je niedriger diese Temperatur ist, desto besser nutzt die Kälteanlage eine niedrige Außentemperatur.

⁴⁶ inklusive aller Nebenverbraucher wie z. B. die Lüfter der Verflüssiger oder auch die Steuerung

⁴⁷ TRY steht für Test-Referenz-Jahr des Deutschen Wetterdienstes und berücksichtigt den Jahresverlauf der Außentemperatur oberhalb der Grenz-Außen-Temperatur.

⁴⁸ Jahresaufwandszahl: kW Kälteleistung pro kW eingesetzter elektrischer Leistung

⁴⁹ Normalerweise schaltet die Beleuchtung bei herunterfahrendem Nachrollo ab.

4

UMRÜSTUNG VORHANDENER KÜHLREGALE

- 4.1 F-Gase-Verordnung | 52
- 4.2 Nachrüstung von Türen vor offenen Kühlregalen | 55
- 4.3 Konditionierung der Marktluft | 62
- 4.4 Praxismessung einer Lüftungsanlage im Supermarkt | 67
- 4.5 Erfordern nachgerüstete Türen eine Klimaanlage? | 69
- 4.6 Ist der Wechsel alter Ventilatorlüfter sinnvoll? | 75
- 4.7 Lohnt sich eine Umrüstung auf LED-Beleuchtung? | 83



4.1 F-Gase-Verordnung

4.1.1 Auswirkungen auf bestehende Kälteanlagen im LEH

Drastische Auswirkungen hat die F-Gase-Verordnung für sämtliche Kälteanlagen im LEH, die das Kältemittel R404A/R507⁵⁰ enthalten. Eine Nachbefüllung bereits bestehender Anlagen⁵¹ ist ab 2020 nur noch mit zurückgewonnenem Kältemittel gestattet.

Für alle konventionellen Kältemittel mit einem GWP > 2.500 ist mit drastischen Preissteigerungen oder auch Versorgungsengpässen zu rechnen. So wurden mehrere Tausend Anlagen⁵² im LEH bereits auf **Ersatzkältemittel** mit niedrigerem GWP und damit geringerem Kosten- bzw. Versorgungsrisiko umgestellt.

Für bestehende R404A-/R507-Anlagen, die noch länger betrieben werden sollen, empfehlen wir die baldige Umstellung auf ein Ersatzkältemittel. Das Verfügbarkeits- und Kostenrisiko für zurückgewonnenes R404A ist unkalkulierbar.

Vorhandene steckerfertige Kühl- oder Gefriergeräte für gewerbliche Anwendung dürfen, sofern sie noch ein Kältemittel mit einem GWP > 2.500 enthalten, ab dem Jahr 2030 nicht mehr nachbefüllt werden. Soweit absehbar, sollte die Mehrzahl der Geräte im Bestand zu diesem Zeitpunkt aber bereits ausrangiert sein.

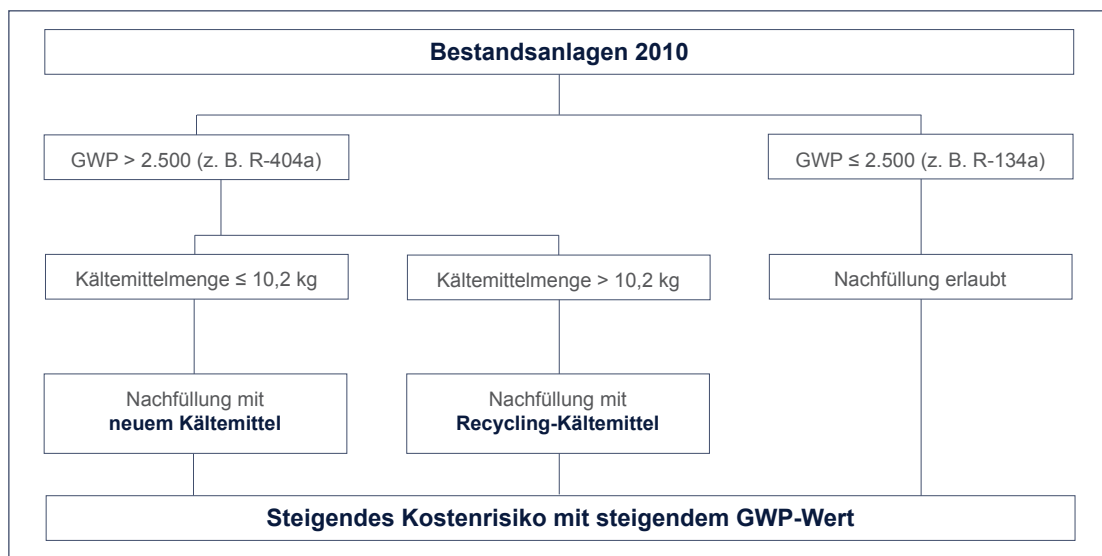


Abbildung 20. F-Gase-Verordnung für Einzel- und Verbundanlagen

⁵⁰ Gilt für alle Kältemittel mit einem GWP > 2.500.

⁵¹ Mit einer Füllmenge größer 40 t Treibhausäquivalent. Dies entspricht bei R404A ca. 10,2 kg.

⁵² Z. B. berichtete die Fa. Honeywell in der Zeitschrift KKA (Kälte Klima Aktuell), Ausgabe 01-2017, dass sie bis Ende September 2016 rund 15.000 Supermarktkälteanlagen auf R407F umgestellt hat.

4.1.2 Erste Marktreaktionen auf die F-Gase-Verordnung

Trotz der sehr moderaten Mengeneinschränkung von nur 7 % für die Jahre 2016/2017 kam es bereits zu Lieferengpässen, Einführung von Tagespreisen und auch angekündigten Liefereinstellungen von Importeuren⁵³ für neues Kältemittel ab 2018. Die Verordnung ist damit in der Praxis angekommen. Von Januar 2017 bis Dezember 2017 hat sich der Preis für R404A nahezu verzehnfacht, Tendenz steigend. Für eine Leckage mit 50 Kilo Kältemittelverlust müssen damit allein für das Kältemittel R404A bis zu 4.500 Euro veranschlagt werden.

Dies ließ erahnen, was ab 2018 passieren wird, wenn eine weitere Einschränkung der verfügbaren Menge um 30 % ansteht. Beim Kältemittel R134a, das in Hunderttausenden Pluskühlanwendungen in Deutschland eingesetzt wird, kam es zu einer Kostenexplosion. Der Preis stieg von netto 8 Euro pro Kilogramm auf netto 35 Euro pro Kilogramm (Januar 2018). Bis Ende 2018 wird ein Kilogrammpreis von 60 EUR und darüber hinaus erwartet.

Da ab dem Jahr 2020 frisches R404A nur noch in Kleinanlagen nachgefüllt werden darf, bricht der Markt für die Hersteller von R404A praktisch zusammen.

Zum Vergleich: Eine klassische Supermarktkälteanlage für einen Markt mit ca. 1.000 m² Verkaufsfläche enthält etwa zwischen 150 kg bis 300 kg des Kältemittels R404A.

Im November 2017 konnten folgende Bruttopreise für gebräuchliche Kältemittel im Internet⁵⁴ aufgerufen werden:

R134a	GWP = 1430	29,95 €/kg
R404A	GWP = 3922	52,89 €/kg bis 92,58 €/kg
R407F	GWP = 1800	20,39 €/kg (Ersatzkältemittel für R404A)
R449A	GWP = 1397	28,05 €/kg (Ersatzkältemittel für R404A)
R513A	GWP = 631	53,88 €/kg (Ersatzkältemittel für R134a)
R744 (CO ₂) ⁵⁵	GWP = 1	ca.1,0 €/kg
R290 (Propan)	GWP = 1	ca.1,0 €/kg
R600a (Butan)	GWP = 1	ca.1,0 €/kg

Im Vergleich zum natürlichen Kältemittel CO₂ besteht also ein erhebliches Kostenrisiko. Spätestens im Jahr 2021, bei einer weiteren Mengenreduktion um 18 %, dürfte es auch für die Ersatzkältemittel zunehmend kritisch werden.

⁵³ Siehe Kälte + Klimatechnik 5/2017, Seite 12: „Marktsituation R404A“.

⁵⁴ Lexxan.de für ca.10 kg Gebinde

⁵⁵ Konvekta.de

Resümee zur F-Gase-Verordnung

- Die 2015 in Kraft getretene F-Gase-Verordnung schreibt dem LEH den stufenweisen Verzicht von Kältemitteln mit hohem GWP vor.
- In Deutschland werden noch rund 350.000 Kälteanlagen mit den problematischen F-Gasen R404A, R134a und R507 betrieben, d. h. der Druck auf den LEH zu Propan oder CO₂ steigt.
- Für Neuanlagen sollten natürliche Kältemittel vorrangig berücksichtigt und ernsthaft geprüft werden.
- Die drastischen Preissteigerungen bei den Kältemitteln haben bereits 2017 begonnen. 2018 sinkt die Quote des zugelassenen F-Gas-Volumens von 92 % auf 63 %.
- Die noch zulässigen F-Gase mit geringerem GWP wie R448A, R449A, R452A oder R407F sind letztendlich nur eine Übergangslösung.

4.2 Nachrüstung von Türen vor offenen Kühlregalen

In diesem Kapitel wird die wirtschaftliche Komponente einer solchen Entscheidung unter dem Aspekt der Energieeinsparung betrachtet.

4.2.1 Grundlagen

Alle Studien zu dem Thema lassen den Anwender im Dunkeln in Bezug auf die Frage, ob es nun wirtschaftlich ist, Türen nachträglich zu installieren oder nicht. Die Ursachen für die Zurückhaltung zu Aussagen über die Wirtschaftlichkeit der Nachrüstung von Türen vor bestehenden Kühlregalen sind vielfältig:

- Es fehlen Aussagen über den Einfluss des Klimastandortes eines Marktes.
- Es fehlen Aussagen über den Einfluss der tatsächlichen Temperaturen in einem Markt.
- Es gibt kaum Aussagen, inwieweit sich die verschiedenen Bautypen von Türen auf die Wirtschaftlichkeit auswirken.
- Der Einfluss der Öffnungszeiten von Türen wird zwar untersucht, aber der Anwender wird alleingelassen in Bezug auf die Frage, was nun konkret auf ihn zutrifft.
- Der Einfluss von Alter und Effizienz der Kälteerzeugungsanlage wird kaum berücksichtigt.
- Es fehlen Aussagen, inwieweit sich der Energieverbrauch von nicht mit Türen ausgestatteten Kühlmöbeln ändert, wenn nur ein Teil der offenen Möbel mit Türen versehen wird.

Allen Untersuchungen gemeinsam ist letztendlich nur, dass Energie eingespart wird. Wir versuchen daher, Ihnen eine konkrete, von uns entwickelte Checkliste an die Hand zu geben, welche es Ihnen ermöglicht, eine fundierte Entscheidung zu treffen. Dabei steht die Wirtschaftlichkeit einer Investition innerhalb anerkannter Abschreibungszeiträume im Mittelpunkt.

Im Vorfeld eine Auflistung der maßgeblichen Effekte, die durch Türen vor Kühlregalen ausgelöst werden:

- a) Weniger Luftaustausch mit der Umgebung, genannt **Infiltration**. Es muss im Regal weniger Fremdluft abgekühlt und entfeuchtet werden.
- b) Je nach Ausführung besteht eine bessere Wärmeisolation gegenüber **Kälteschutzvorhängen (Nachtrollos)** während des Nacht- und Wochenendbetriebs.
- c) Es kann zu einer höheren Effizienz der **gesamten Kälteanlage** durch ein mögliches generelles Anheben der Verdampfungstemperaturen kommen.
- d) Es liegt eine veränderte **Strahlungsbilanz** am geschlossenen Regal gegenüber einem offenen Regal vor. Dabei handelt es sich um den sogenannten Gewächshauseffekt.
- e) Türen vor den Regalen führen bedingt durch eine geringere Wärmeabfuhr bei den geschlossenen Kühlregalen zu einem veränderten **Klimatisierungsaufwand** im Verkaufsraum.
- f) Dem veränderten Klimatisierungsaufwand durch Türen folgt bedingt durch eine geringere Wärmeabfuhr bei geschlossenen Kühlregalen ein veränderter Klimatisierungsaufwand im Verkaufsraum.

4.2.2 Suche nach Antworten auf der Euroshop 2017

Auch intensive Gespräche auf der Euroshop 2017 konnten uns nicht weiterhelfen. Einerseits entsteht auf vielen Messeständen der Eindruck, das Thema sei ausdiskutiert und Türen sind Stand der Technik, andererseits werden nach wie vor viele Kühlregale in Deutschland ohne Türen ausgeliefert. Durchgesetzt haben sich nach unseren Erkenntnissen nur Türen vor Fleischregalen mit Produktanforderungen unterhalb von 4 °C, wobei Hackfleischprodukte mit Anforderungen unterhalb von 2 °C bevorzugt in horizontalen NK-Truhen oder Inseln verkauft werden.

Wie aber steht es um die typischen NK-Regale für Milch, Wurst, Käse etc.? Im deutschsprachigen Raum sind nachts schließende Kälteschutzrollos Standard. Konkrete Aussagen oder greifbare Garantien über zu erwartende Einsparungen gibt es nicht. Aussagen, wie z. B. bis zu 60 % Einsparung ohne Bezugsbasis und ohne Garantie, helfen nicht weiter. Es sollte zu denken geben, wenn nahezu alle Hersteller von Nachrüstsätzen zu Türen phantastische Einsparpotentiale in ihren Prospekten ausloben, gleichzeitig aber nicht bereit sind, auch nur einen Bruchteil der Versprechungen schriftlich zu garantieren. Für kühl rechnende Kaufleute ein Unding, oder nicht?

4.2.3 Vergleichsmessung Regale mit und ohne Türen

Im Globus SB-Warenhaus in Erfurt fanden wir scheinbar ideale Bedingungen.⁵⁷

Wir konnten Vergleichsmessungen an vier steckerfertigen Kühlregalen vergleichbarer Bauart und vergleichbarer Aufstellung durchführen. Eines der Regale verfügt über Isolierglastüren.

⁵⁷ Messungen wurden uns freundlicherweise von der GLOBUS SB-Warenhaus Holding GmbH & Co. KG, Bauwesen (GM), Herrn Guido Koch, gestattet. Herzlichen Dank auch für die gute Zusammenarbeit und die zur Verfügung gestellten Daten im Zusammenhang mit den Kühlregalen.



Abbildung 22. Kühlregal: Glastüren



Abbildung 23. Kühlregal: Nachtrollo

Diese im Grunde hervorragenden Bedingungen für eine Vergleichsmessung stellten sich im Detail trotz gleicher Gerätebaureihe als komplex heraus. Diese Komplexität wurde gekennzeichnet durch:

- Abweichung in der Temperaturführung
- Abweichung in der Beleuchtungsleistung
- Abweichung in der elektrischen Abtauleistung
- Abweichung in der Leistung der Lüfter für Umluft
- Abweichung im Kältekreislauf/Verdichterleistung

Um die durch die Glastüren verursachten Unterschiede im Energieverbrauch erkennen zu können, musste daher eine umfangreiche Analyse des Lastgangs durchgeführt werden.

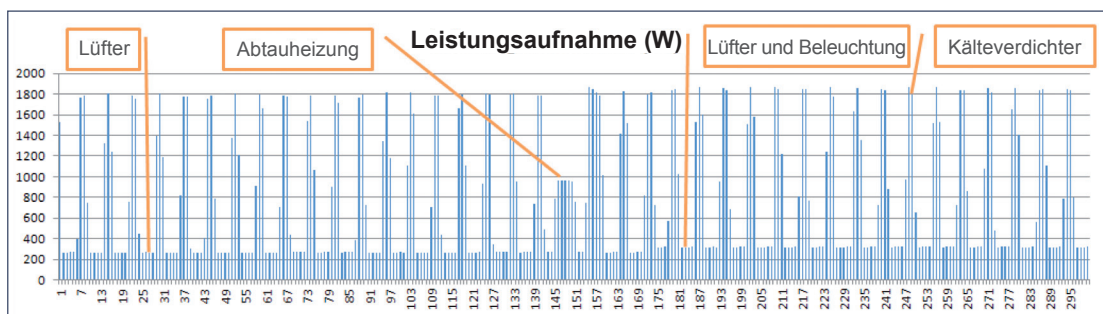


Abbildung 24. Lastgang eines steckerfertigen offenen Kühlregals

Auf Basis der Messungen unter Berücksichtigung notwendiger Korrekturfaktoren ergibt sich eine jährliche Einsparung durch die Türen pro Meter Regal von ca. **524 bis 714 kWh/lfm•a**. Die Spanne von 190 kWh resultiert aus einer geringeren Nachtleistung des Regals mit Türen gegenüber einem Regal mit Nachtrollo. Die Glastüren könnten somit tendenziell zu einem niedrigeren Verbrauch gegenüber einem Nachtrollo führen. Vergleicht man Regale mit ähnlichen Temperaturen, liegt die Unsicherheit im Bereich **+/- 20 %**.

Bei angenommenen Kosten von 600 EUR pro laufendem Meter Verglasung und einem Energiepreis von (in diesem Fall, da Großverbraucher) 0,16 EUR pro kWh Strom ergibt sich ein einfacher rechnerischer **Pay-back von 5,3 bis 7,2 Jahren**⁵⁸.

4.2.4 Erkenntnisse aus unserer Beratungspraxis

Wir wollten es daher genauer wissen und haben Brauchbares aus zugänglichen Studien mit eigenen Messungen aus unserer Beratungspraxis ergänzt.

Unsere wesentlichen Erkenntnisse:

- Alle Studien und Prospekte bestätigen die Einsparung von Strom durch Türen vor Kühlregalen, wenngleich die Basis (Neuinstallation, Nachrüstung oder Laborbedingungen) oftmals im Dunkeln bleibt.
- Das Nachrüsten von Türen ohne Überprüfung der Belüftung des Verkaufsraumes ist ein Blindflug. Beides muss zusammen erfolgen.
- Es gibt vier wesentliche Einflussfaktoren, welche die Einsparung bestimmen:
 - die Temperatur der kalten Zuluft im Regal
 - Temperatur und Luftfeuchte im Verkaufsraum
 - die Effizienz der Kälteerzeugung
 - die Peripherie der Kälteerzeugung, dazu gehört auch die Möglichkeit zur Anhebung der Verdampfungstemperaturen; sollte beispielsweise ein Fleischkühlraum, in dem ein Temperaturniveau von 1 °C bis 2 °C gehalten werden muss, Element des NK-Verbundes sein, lassen sich die Verdampfungstemperaturen nur geringfügig anheben, z. B. von minus 10 °C auf minus 8 °C
- Momentaufnahmen reichen nicht aus. Sommer, Winter und Übergangszeit müssen berücksichtigt werden.
- Sollte eine Klimaanlage nachgerüstet werden müssen, ist die Wirtschaftlichkeit infrage gestellt. In diesem Fall sollte zumindest der Einsatz von Türen bei Produkten im <+4°C-Bereich geprüft werden, da dies meist zu nennenswerten Einsparungen bei offenen Regalen führt, ohne dass bereits eine Klimaanlage nachgerüstet werden muss.

Im Worst Case sind Türen vor den Kühlregalen wirtschaftlich nicht zu rechtfertigen.



⁵⁸ Vgl. weiterführende Informationen im Anhang der Studie

4.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Wir haben eine Methode entwickelt, welche die Verwendung von Türen im Markt mithilfe einer Messung von offenem und geschlossenem Nachrollo simuliert. Ein eigenes Kapitel ist im Anhang der Entfeuchtung im Regal und der Berechnungsmethode der Einsparung durch Türen gewidmet. Die Bandbreite der von uns festgestellten Einsparungen reicht von **200 kWh/lfm•a** (ein Fall) bis ca. **2.000 kWh/lfm•a** (ebenfalls ein Fall).

Anlage/Regal	Pay-back-Jahre	Einsparung Türen bei 21 °C; 50 % r. F. [kWh/a•m]	Temperatur Zuluft-Regal [°C]	Aufwandszahl Kälteerzeugung [kWhel/kWhth]	Anlage in Ordnung?	Bemerkung
Lippstadt	18,0	208	k. A.	4,9	Ja	Verbundanlage; Winter
Traunstein	12,2	308	k. A.	k. A.	Ja	Messung Verbund; Winter
Erfurt I	10,1	373	3,0	3	Ja	
Würzburg II	9,4	401	1,4	3,5	Ja	
Erfurt II	8,4	445	3,0	3	Ja	
Erfurt V	7,2	524	2,0	3	Ja	Vergleichsmessung mit Türen
Erfurt IV	5,9	632	1,0	3	Ja	
Aindling II	5,8	642	-0,7	5,25	Nein	Kälteanlage zu klein
Erfurt III	5,3	714	2,0	3	Ja	Vergleichsmessung mit Türen
Ffm 2013	4,7	800	2,0	5,9	Ja	
Ffm 2014	3,7	1.008	2,0	5,6	Ja	
Ulm	3,5	1.082	1,5	5,5	Ja	
Würzburg III	3,1	1.195	2,0	1,5	Nein	Abtauung defekt
Weinsberg	2,9	1.287	1,4	4,3	Ja	
Hauser-Wurst	2,8	1.333	-0,8	k. A.	Ja	Vergleichsmessung mit Türen
Aindling IV	2,8	1.356	1,3	5,25	Nein	Kälteanlage zu klein
Aindling I	2,7	1.412	1,3	5,25	Ja	
Waldkraiburg	2,3	1.625	4,6	2,5	Nein	Tc-Instabil
Würzburg I	2,0	1.919	-0,5	3,16	Ja	Verbundanlage
Hauser-Fleisch	1,8	2.034	-2,2	k. A.	Ja	Vergleichsmessung mit Türen

Tabelle 10. Überblick Einsparungspotential von Türen

Die auf Berechnungen basierenden Einsparungen reihen sich nahtlos ein in die Werte aus gezielten Messungen mit bzw. ohne Türen. Das von uns entwickelte Szenario halten wir daher für praxistauglich.

Die Tabelle verdeutlicht, dass nur durch vorhergehende gezielte Messungen eine Aussage zur Wirtschaftlichkeit nachträglich installierter Türen vor Kühlregalen erfolgen kann. Wir gehen davon aus, dass bei rund 30 % der bisher installierten Türen vor Kühlregalen die Investitionen wirtschaftlich nicht oder kaum vertretbar waren.

Entscheidend ist, dass der Lieferant Beschlagfreiheit ohne zusätzliche Begleitheizung für das Klima im Markt garantiert. In früheren Untersuchungen ging rund die Hälfte der möglichen Einsparungen durch Begleitheizungen wieder verloren. Mangels ausreichender Vergleichsmöglichkeiten wurde die Annahme auf der sicheren Seite getroffen, nämlich dass Türen **gleich** oder **besser** wie die Nachrollos gegen den Verlust von Kälte isolieren.

Eine weitere häufig diskutierte Frage ist die Öffnungshäufigkeit der Türen. Auch diese spielt in der Praxis keine Rolle, soweit diese unter 4 % liegt (vgl. Berechnungen bzw. Simulation im Anhang, Kapitel: Einfluss der Türöffnungsfrequenz auf den Energiebedarf). Sollten Zweifel bestehen, können diese über die Anzahl der Besucher pro Woche, Kaufvorgänge und stichprobenartiges Beobachten vor Ort schnell ausgeräumt werden. Im nachfolgenden Kapitel behandeln wir die Frage nach der Notwendigkeit einer zusätzlichen **Teilklimaanlage**, falls Türen vor den Kühlregalen angebracht werden. Sollte es notwendig werden, diese nachzurüsten, verdoppeln sich die Kosten pro Meter nachgerüsteter Türen. Die Einsparung wird zumindest halbiert. In vielen Fällen wird das Nachrüsten damit wirtschaftlich nicht mehr darstellbar.

4.2.6 Türen vor die Kühlregale: Eine Geschichte aus der Praxis

Ein selbständiger Lebensmitteleinzelhändler kam auf uns zu, um die Wirksamkeit seiner nachträglichen Verglasung an Kühlregalen zu überprüfen.

Nachträglich mit Einscheiben-Sicherheitsglas wurden verglast:

- LINDE Kältetechnik GmbH; MONAXIS 82.375 B4 DEL; 4 Stück à 3,75 m = 15 m
- LINDE Kältetechnik GmbH; MONAXIS 73.250 B5 DEL; 4 Stück à 2,50 m = 10 m

25 Meter SB-Regale wurden verglast, 11,5 Meter blieben unverglast.

In einem ersten Schritt wurde der Gesamtlastgang des Unternehmens analysiert. Die Montage der Drehtüren erfolgte am 13. und 14. April. Die folgende Abbildung zeigt die Lastgänge vom Sonntag, 10. April, bis Dienstag, 12. April, also vor der Installation der Drehtüren mit den Lastwerten von Sonntag, 17. April, bis Dienstag, 19. April, d. h. nach der Installation der Drehtüren. Gemäß den Angaben des Verkäufers sollten die Drehtüren den Strombedarf der Kühlregale um 60 %, d. h. um rund 90.000 kWh pro Jahr senken. Das entspricht einer Lastreduzierung um rund 10 kW. Der Mittelwert der Tageslast der grünen Kurven, d. h. vor der Installation der Drehtüren, liegt bei rund 115 kW. Dementsprechend ist zu erwarten, dass nach der Installation (April, bereits höhere Luftfeuchte und höhere Temperaturen) die Lastkurve um 95 kW pendelt. Dies ist nicht der Fall.

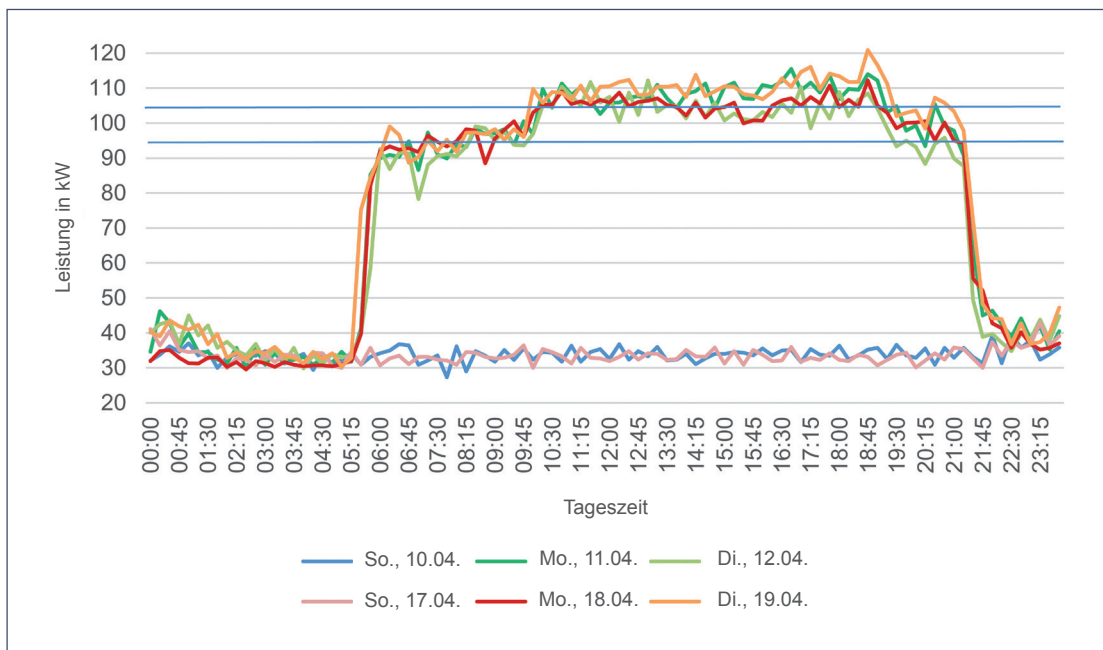


Abbildung 25. Lastverlauf vor und nach der Installation der Drehtüren

Vielmehr war es so, dass im Gesamtlastverlauf keine signifikante Änderung erkennbar war. Die Lastverläufe an den Sonntagen können vergleichbar sein (Nachttrollos geschlossen/Türen geschlossen), während der übrigen Tage sollte allerdings ein Trend zu einer geringeren Last sichtbar sein.

In einem ersten Schritt wurde der – übrigens im Konzern gelistete – Geschäftsführer des Unternehmens, das die Türen verkauft, mit den Messergebnissen konfrontiert. Überraschenderweise war er auch nach mehreren Wochen nicht in der Lage, zu beschreiben, wie die ausgelobten Einsparpotentiale der Drehtüren zu realisieren seien. Vielmehr stellte er sich auf den Standpunkt, dass sein Unternehmen nur die Türen verkaufe und NICHTS mit den technischen Einstellungen zu tun habe. Dies sei einzig Aufgabe des Kältetechnikers vor Ort! Daraufhin wurde der Kontakt abgebrochen und auf unsere Anfragen nicht mehr reagiert. Übrigens: Das Unternehmen ist noch immer in Deutschland tätig.

Zusammenfassend kann festgehalten werden:

- Das Unternehmen lobt in seinen Prospekten exorbitant hohe Einsparpotentiale aus, ohne selbst die technischen Zusammenhänge auch nur im Ansatz zu verstehen.
- Es wurde keinerlei Hilfe bereitgestellt. Der Händler wurde mit seinem Problem alleingelassen.

Auch die Arbeit mit den deutschlandweit tätigen Kältetechnikern (Servicevertrag bestand) gestaltete sich schwierig. Zunächst wurde das Produkt als fehlerhaft bezeichnet (Originalton: Mit einer Einfachverglasung lassen sich kaum Energieeinsparpotentiale realisieren). Es dauerte rund sechs Monate (Erklärung: Zuständigkeitsprobleme und Personalengpässe), bis die Verdampfungstemperaturen von -10 °C auf -8 °C angehoben wurden (eine weitere Anhebung war nicht möglich, da ein Fleischkühlraum am Verbund hing).

Leider ist das angeführte Beispiel kein Einzelfall. In einem anderen Fall lobte ein sehr bekannter Türenhersteller gar 70 % Einsparung in seinen Prospekten aus. Tatsächlich konnten schließlich knapp 6 % nachgewiesen werden.

Resümee zur Frage: Nachrüstung von Türen vor Kühlregale

- Alle Erhebungen, sowohl unsere eigenen als auch die am Markt befindlichen Studien, bestätigen eine Stromeinsparung.
- Das Nachrüsten von Türen ohne gesonderte Überprüfung der Gegebenheiten (Belüftung) vor Ort kommt einem betriebswirtschaftlichen Blindflug gleich.
- Es agieren noch immer Verkäufer von Türen am Markt, die es nicht als ihre Aufgabe ansehen, nach der Installation der Türen auch für die ausgelobte Energieeinsparung zu sorgen. Hier ist äußerste Vorsicht geboten!
- Wir gehen davon aus, dass rund 30 % der bisher in den Märkten nachgerüsteten Türen wirtschaftlich nicht vertretbar sind oder sich im Grenzbereich, d. h. um den Break-even-Point bewegen.

4.3 Konditionierung der Marktluft

4.3.1 Begrifflichkeiten

Eine Klimaanlage ist eine Anlage zur Erzeugung und Aufrechterhaltung einer angenehmen oder benötigten Raumluftqualität (Temperatur, Feuchtigkeit, Reinheit sowie CO₂-Anteil), unabhängig von Wetter, Abwärme und menschlichen und technischen Emissionen. Eine Klimaanlage hat die Aufgabe, die Luft eines Raums in einen bestimmten Zustand zu bringen und zu halten, d. h. zu „konditionieren“. Die Funktionen einer Klimaanlage sind demnach:

- Änderung der Lufttemperatur (heizen oder kühlen)
- Änderung der Luftfeuchtigkeit (befeuchten oder trocknen)
- Entfernen von Luftbestandteilen (filtern oder austauschen)
- Verändern der lokalen Luftgeschwindigkeit

Von einer Klimaanlage kann nur gesprochen werden, wenn alle Funktionen möglich sind. Ansonsten spricht man von einer Teilklimaanlage. **Die Einteilung von Lüftungs-, Teilklima- und Klimaanlagen regelt DIN EN 13779.**

Kategorie	Geregelte Funktionen					Anlagenbezeichnung
	Lüftung	Heizung	Kühlung	Befeuchtung	Entfeuchtung	
THM-C0	✓					einfache Lüftungsanlage
THM-C1	✓	✓				Lüftungsanlage mit Heizfunktion bzw. Luftheizungsanlage
THM-C2	✓	✓		✓		Teilklimaanlage mit Befeuchtungsfunktion
THM-C3	✓	✓	✓		✓	Teilklimaanlage mit Kühlfunktion
THM-C4	✓	✓	✓	✓	✓	Teilklimaanlage mit Kühl- und Befeuchtungsfunktion
THM-C5	✓	✓	✓	✓	✓	Klimaanlage mit allen Funktionen (oder umgangssprachlich Vollklimaanlage)

Tabelle 11. DIN EN 13779, Begrifflichkeiten Klimaanlagen⁵⁹

 wird in der Teilklimaanlage geregelt
 wird in der Teilklimaanlage beeinflusst, aber nicht geregelt

4.3.2 Allgemeines zu Lüftungsanlagen in Supermärkten

Etwa 10 % der von uns untersuchten Märkte verfügen über keine gezielte Belüftung des Verkaufsraums. Meist sind es kleinere Märkte mit einer Verkaufsfläche von rund 600 m². Ab 1.000 m² verfügen fast alle Märkte zumindest über eine gezielte Außenluftzufuhr, die nahezu ausschließlich während den Öffnungszeiten genutzt wird (einfache Lüftungsanlage). Dabei schwankt die Luftmenge enorm. Die vorgefundenen Werte liegen zwischen **1 m³/h** und **30 m³/h** Luftvolumen pro m² Verkaufsfläche (VK). Große Anlagen sind in aller Regel auf eine hohe Umluftrate eingestellt.

Vereinzelt finden sich Hinweise zu Sommer- und Winterbetrieb auf den Bedientafeln. Ansonsten würden die Heizkosten im Winter extrem ansteigen. Nach unserer Erfahrung haben nur sehr wenige Anlagen eine Steuerung der Luftmenge über die Luftqualität. Die Möglichkeiten zur Luftqualitätssteuerung sind vielfältig und abhängig von den ausschlaggebenden Verunreinigungsquellen. Folgende Parameter sind üblich:

- Kohlendioxid-Konzentration in ppm⁶⁰
- empfundene Luftqualität in decipol
- personenbezogene Luftvolumenströme
- bodenflächenbezogene Luftvolumenströme
- Konzentrationen bestimmter Verunreinigungen

⁵⁹ Vgl. Wikipedia, Klimaanlage.

⁶⁰ ppm := Parts per million, d. h. Anteile pro Million

Die Steuerung über die Kohlendioxid-Konzentration gilt als die energieeffizienteste. Empfohlen werden dabei Werte von < 1.500 ppm CO_2 -Gehalt. Eine Umstellung wird vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) mit 30 % bezuschusst.

Einen Rahmen für die richtige Luftmenge gibt die inzwischen ungültige technische Regel für Arbeitsstätten. Dort wurde früher für Arbeitsräume mit Publikumsverkehr eine Personenbesetzung von 0,2 bis 0,3 Personen pro m^2 zugrunde gelegt. Zusammen mit einem Außenluftstrom mit 40–60 m^3/h pro Person ergab sich damit eine Bemessungsgröße von **8 bis 18 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{VK}\cdot\text{h}$** . Dieser Wert liegt innerhalb des vorgefundenen Bereichs von **1–30 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{VK}\cdot\text{h}$** . Zu geringeren Luftwechselraten gelangt man, wenn die Kaufvorgänge ausgewertet werden. Basierend auf z. B. 1.000 Einkäufen pro Tag von 20 Minuten Dauer bei einer Öffnungszeit von 12 Stunden und 1,5 Personen⁶¹ pro Einkauf kommt man auf einen Außenluftstrom von **1,6 bis 2,4 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{VK}\cdot\text{h}$** . Das entspricht ca. 40 anwesenden Personen bei 1.000 m^2 Marktgröße (Mittelwert). Es kommt also offensichtlich darauf an, wovon der Planer ausgegangen ist. Wenn die Luft fühlbar schlecht ist, oder die Kehmaschine am Morgen nasse Böden hinterlässt, wird in der Praxis häufig Durchzug durch Öffnung aller Außentüren geschaffen.

4.3.3 Kosteneinsparung durch weniger Lüftung?

Die zugrunde liegende Frage lautet: Lässt sich über eine dem Besucherstrom angepasste Lüftungsleistung der Energiebedarf offener Kühlregale spürbar beeinflussen? Die Antwort lautet ja!

4.3.4 Einfluss der Luftfeuchte auf den Energiebedarf

Bei offenen Kühlregalen werden rund 70 % bis 80 % des Energiebedarfs durch die eindringende Umgebungsluft verursacht. Diese muss abgekühlt und entfeuchtet werden.

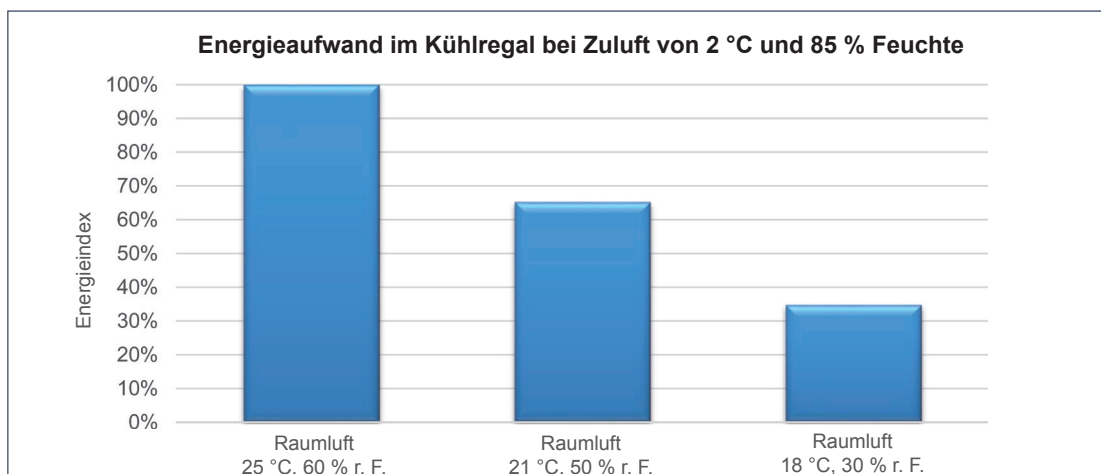


Abbildung 26. Einfluss des Raumklimas auf die Entfeuchtungsleistung⁶²

⁶¹ Bei 1.000 Kassenvorgängen befinden sich 1.500 Personen im Markt, d. h. es wird pro Bezahlvorgang mit 1,5 Menschen im Markt kalkuliert.

⁶² Unter Zuluft ist hier die im Kühlregal zirkulierende Luft zu verstehen (Kühlung über das Kühlregister).

Wird bei typischen winterlichen Bedingungen gemessen, registriert man für offene Kühlregale nur etwa 1/3 des Energiebedarfs im Vergleich zu sommerlichen Maximalbedingungen. Auch wenn es Klima-Referenzwerte für jedes Gebiet in Deutschland gibt, so sind Wetter und Luftfeuchte an jedem Ort und in jedem Markt unterschiedlich. So stellt sich in der Praxis die Frage, was ein momentanes Messergebnis und der tatsächlich über ein gesamtes Jahr kumulierte Strombedarf miteinander zu tun haben. In der vorliegenden Studie wurden gemessene Verbräuche auf ein mittleres Jahres-Bezugsklima hochgerechnet (**21 °C, 50 % r. F.**). Ein Vergleich mit tatsächlich gemessenen Verbräuchen eines ganzen Jahres war in zwei Fällen möglich. Die Abweichung dieses „gemessenen Klimas“ gegenüber dem Bezugsklima in unserem Szenario war gering.

4.3.5 Gibt es eine Wechselwirkung zwischen Regal und Raumklima?

Eine einfache Abschätzung durch praktische Messungen erlaubt eine Studie von Hauser. Hier wurden die in einer **Klimakammer** auskondensierten Mengen an Feuchte gemessen. Die Entfeuchtungsleistung lag bei einem Umgebungsklima von 21 °C und 50 % relativer Luftfeuchte (= **7,7 g** Wasser pro kg Luft) zwischen **340 g/h·lfm** und **390 g/h·lfm** (= Gramm entferntes Wasser aus der Luft pro Stunde und Meter eines offenen Kühlregals). Die Bandbreite Verkaufsfläche liegt bei den untersuchten Märkten ca. zwischen 20 m² und 50 m² Verkaufsfläche pro Meter offenem Kühlregal.

Wird nun zur Bandbreite der Menge an Kühlregalen die Bandbreite der Belüftungsleistung hinzuaddiert, ergibt sich eine starke Spreizung: Die in den Markt einströmende Menge Frischluft bezogen auf ein Meter Kühlregal liegt zwischen (1 m³/m²·VK·h·20 m²·VK/lfm und 10 m³/m²·VK·h⁶³·50 m²·VK/lfm =) **20 m³ bis 500 m³** pro Laufmeter Regal und Stunde.

Zentrale Frage: Was geschieht, wenn feuchte Luft aus dem Verkaufsraum ins Kühlregal gelangt?

Bei den im Rahmen der Studie durchgeführten Messungen wurde die im Kühlregal aus den Kälteregeistern ausströmende Luft im Mittel auf 0,9 °C abgekühlt bei einer relativen Feuchte von 87,5 % und einer absoluten Feuchte von 3,5 g Wasser pro kg Luft. Stellt man nun die mit der Frischluft in den Markt eindringende Feuchte der in den Regalen entfernten Feuchte gegenüber, ergibt sich folgendes Bild:

Kühlregale weisen eine Entfeuchtungsleistung zwischen 340 g/h·lfm und 390 g/h·lfm auf. 20 m³ Luft entsprechen (20 m³/h·lfm·1,2 kg/m³)⁶⁴ = 24 kg/h·lfm Luft. Multipliziert mit 4,2 g Wasser pro kg Luft ergibt 100 g/h·lfm (7,7 g H₂O/kgO₂ Feuchtigkeit der Luft bei Eintritt ins Regal minus 3,5 g H₂O/kgO₂ bei Austritt aus dem Regal = 4,2 g H₂O/kgO₂ entfeuchtete Luft). Dito errechnet sich die Wassermenge in zweitem Fall (500 m³/h·lfm) zu 2.500 g/h·lfm.

Im ersten Fall (**100 g/h·lfm**) wird die tatsächliche Entfeuchtungsleistung im Regal zurückgehen, da sich zumindest über längere Zeit, je nach Pufferwirkung des Raumes, ein Gleichgewicht zwischen Feuchte im Raum und Feuchte im Regal einstellt. Dies gilt ganz besonders unter winterlichen Bedingungen, wenn die absolute Feuchte im Raum kaum höher als nach der Entfeuchtung im Kühlregister ist.

⁶³ Bei maximal 1/3 Frischluftanteil während der Öffnungszeit.

⁶⁴ Mit einer Dichte von Luft = 1,2 kg/m³ gerechnet.

Im zweiten Fall (**2.500 g/h·lfm**) wird sich die Entfeuchtungsleistung den theoretischen Werten in der Klimakammer annähern, da die Feuchte im Raum nur unwesentlich vom Regal beeinflusst wird.

Unter Berücksichtigung dieser Überlegungen ist die extreme Bandbreite der tatsächlich in der Praxis gemessenen Unterschiede im Verbrauch der Kälteanlagen/Kühlregale keine Überraschung mehr.

Bei einer bedarfsgerechten Lüftung (ca. 10 m³ Frischluft⁶⁵ pro Besucher, 50 bis 100 Besucher pro Stunde und 25 m offene Kühlregale) dürften mittlere realistische Werte im Bereich von **110 bis 220 g/h·lfm** Feuchtigkeitszufuhr⁶⁶ einer maximalen Entfeuchtungsleistung von **340 bis 390 g/h·lfm** gegenüberstehen.

Daher kann von einer nach Luftqualität geregelten Frischluftzufuhr eine deutliche Einsparung des Stromverbrauchs offener Kühlregale erwartet werden. Dies bedeutet aber auch: Wenn nur ein Teil der offenen Regale mit Türen versehen wird, steigt automatisch die Entfeuchtungsleistung der offenen Nachbarregale. Es reicht in diesem Fall nicht mehr aus, einzelne Regale mit und ohne Türen zu betrachten. Der Energiebedarf der offenen Nachbarregale und die Reaktion auf die geschlossenen Regale muss ebenfalls berücksichtigt werden!

Grundsätzlich gilt: Je kälter das Kühlregal eingestellt ist, je wärmer⁶⁷ und feuchter die Luft im Verkaufsraum ist, je höher der Energieaufwand der Kälteerzeugung, desto höher die mögliche Einsparung. Wer also den Verkaufsraum nur minimal nach den Grenzwerten für maximale CO₂-Konzentration mit Frischluft versorgt, der spart nicht nur an den Kosten für die Lüftungsanlage, sondern gleichzeitig an den Kosten für die offenen Kühlregale.

Resümee zur Frage: Wechselwirkung zwischen Regal und Raumklima

- Je kälter das Kühlregal eingestellt ist und je wärmer sowie feuchter die Luft im Verkaufsraum, desto höher ist der Energieaufwand zur Kälteerzeugung und umso höher ist das Stromeinsparpotential.

⁶⁵ Bei 40 m³/h Frischluftbedarf einer Person und einer mittleren Anwesenheitsdauer von 15 Minuten im Markt. Dies führt zu einer Luftqualität von ca. 1.900 ppm CO₂-Konzentration in der Atemluft, basierend auf einem mittleren Atemvolumen von 25 l/min pro Person ohne besondere körperliche Anstrengung.

⁶⁶ Inklusiv einem Beitrag der Personen selbst von 1 g Feuchte pro m³ Frischluft.

⁶⁷ Je wärmer die Luft, umso höher wird das Druckverhältnis im Kompressor. Je höher das Druckniveau, umso schlechter wird die Effizienz.

4.4 Praxismessung einer Lüftungsanlage im Supermarkt

4.4.1 Ausgangslage

Die Erkenntnisse aus den vorhergehenden Abschnitten sollen durch eine Messung aus der Praxis untermauert werden. Der ausgewählte Markt weist folgende Kennwerte auf:

Verkaufsfläche:	ca. 1.100 m ²
Lage:	geschützt in einem Einkaufszentrum mit massiven Decken, Wänden und Fußböden, keine Öffnungen in den Seitenwänden
Luftzufuhr-1:	ca. 950 m ³ /h gleichmäßig über die Bedientheke rückwärtige Schmalseite, reicht rechnerisch für ca. 24 Personen aus
Luftzufuhr-2:	ca. 1.800 m ³ /h Frischluft über zentrale Lüftungsanlage
Kühlmöbel:	ca. 65 m offene Tiefkühltruhen, ca. 33 m offene Kühlregale, ca. 15 m offene Bedientheken und Steckerkühlgeräte
Ausgangsluft:	ca. 475 ppm CO ₂ außerhalb des Gebäudes

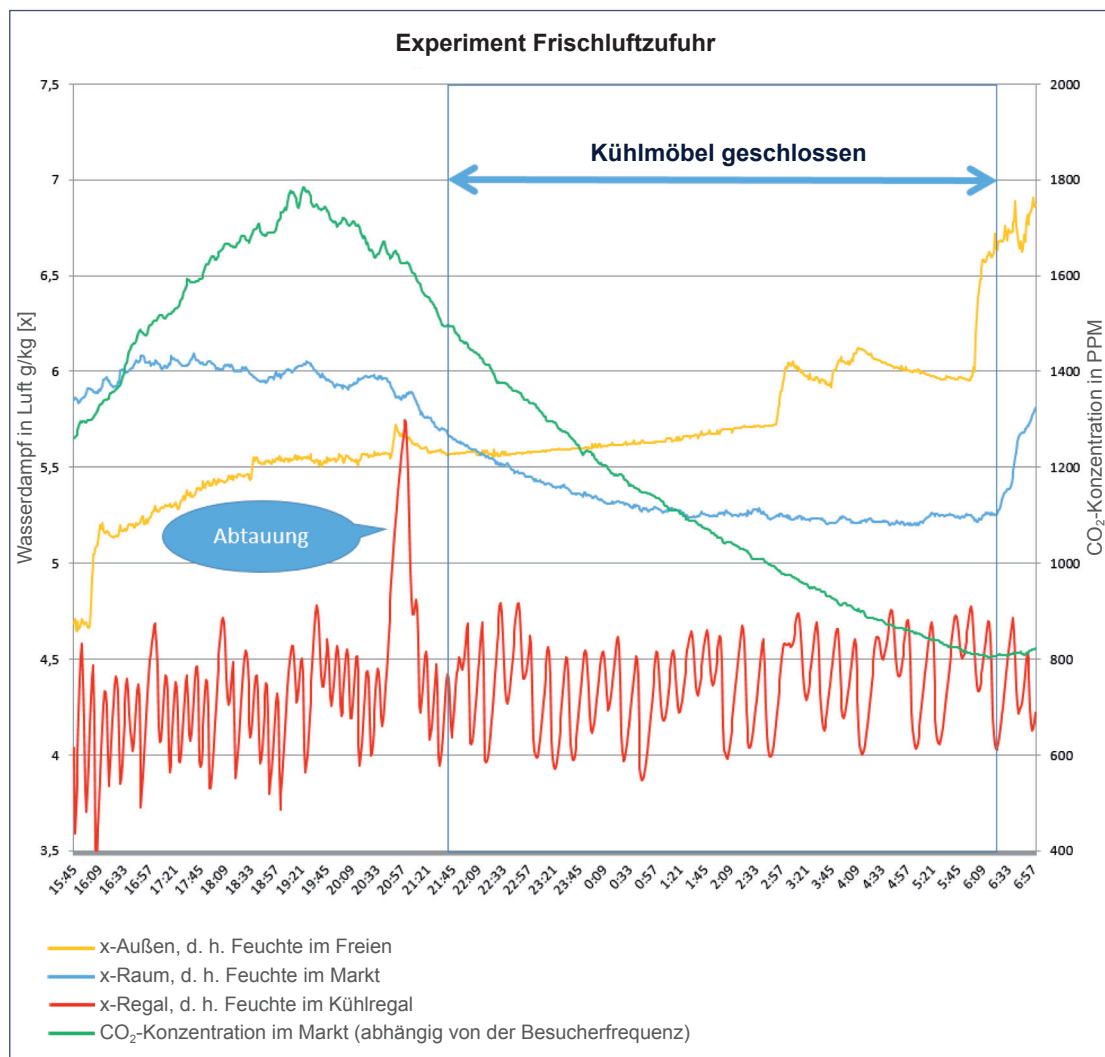


Abbildung 27. Experiment Lüftungsanlage Supermarkt

4.4.2 Randbedingungen des Experiments

Kurz vor Beginn der Aufzeichnungen wurde die Hauptlüftung im Markt abgestellt. Die Versorgung mit Frischluft erfolgte nur noch über die am Kopf des Marktes befindliche Luftzufuhr „Überdruck-Bedientheke“ (Luftzufuhr-1) und die natürliche Lüftung im Gebäude.

Die größte Anzahl an Kunden besuchte den Markt zwischen 18:00 Uhr und 19:00 Uhr. Während dieser Zeit stieg der CO₂-Gehalt der Luft von ca. 1.200 ppm auf einen Spitzenwert von ca. 1.800 ppm. Die Nachtrilos sowohl an den offenen MoPro-Kühlregalen als auch an den Kühltruhen ohne Deckel waren von ca. 21:15 Uhr bis 6:00 Uhr geschlossen.

4.4.3 Beobachtungen und Erkenntnisse aus dem Experiment

Aus dem Experiment lassen sich folgende Beobachtungen ableiten:

- Das Maximum der CO₂-Konzentration im Raum fällt in die gleiche Zeit wie das Maximum des Besucherstroms im Kassensystem.
- Nach Ladenschluss fällt die CO₂-Konzentration im Verkaufsraum weiter ab. Der harmonische Kurvenverlauf spricht für eine weitere konstante Frischluftzufuhr während der Nacht.
- Der maximal beobachtete Wert der CO₂-Konzentration von ca. 1.800 ppm liegt etwas unter 1.975 ppm. Dies ist etwa der Wert, der bei einer gewünschten Frischluftzufuhr von 40 m³/h pro anwesender Person zu erwarten ist (475 ppm Ausgangswert + 1.500 ppm Erhöhungswert = 1.975 ppm Erwartungswert).
- Die Belüftung der Bedientheke reicht zur Aufrechterhaltung einer akzeptablen Luftqualität im Verkaufsraum unter den gegebenen Umständen offensichtlich aus. Eine Zuschaltung der Hauptlüftung auf Basis einer Luftqualitätsmessung wird daher vermutlich so gut wie nie erfolgen. Eine Steuerung der Hauptlüftung über einen CO₂-Sensor kann zu erheblichen Energieeinsparungen führen.
- Bei geschlossenen Nachtdeckungen sinkt die absolute Feuchte im Verkaufsraum ab und nähert sich einem unteren Grenzwert von ca. 5,5 g H₂O pro kg Luft.
- Die Abnahme der Luftfeuchte während der Nacht um ca. 0,75 g H₂O pro kg Luft entspricht in der Größenordnung etwa dem Einfluss der nicht mehr anwesenden Personen. Nach VDE 2078 kann bei einer erwachsenen Person mit einer Feuchtigkeitsabgabe von ca. 40 g/h gerechnet werden. (Bei einer Frischluftzufuhr von 40 m³/h pro Person wären dies also ca. 1 g H₂O/m³ Frischluft oder ca. 0,83 g H₂O/kg Frischluft.)
- Zwischen dem Verlauf der Feuchte in der Außenluft und dem Verlauf der Feuchte im Verkaufsraum ist während der Beobachtungszeit kein Zusammenhang erkennbar. Eine bekannte Tatsache bleibt aber, dass in nicht vollklimatisierten Innenräumen eine starke jahreszeitliche Abhängigkeit der Luftfeuchtigkeit auftritt. Eine Klärung, wie stark welche Einflussfaktoren kurz- und langfristig die Raumluftfeuchte beeinflussen, überschreitet den Rahmen dieser Studie.

Resümee zur Frage: Kann der Energiebedarf offener Kühlregale durch die Lüftungsanlage reduziert werden?

- Eine über den Besucherstrom angepasste Lüftungsanlage kann den Strombedarf offener Kühlregale signifikant beeinflussen, da der Energiebedarf der Regale primär von der eindringenden Umgebungsluft abhängt. Diese muss vom Kühlregal gekühlt und entfeuchtet werden.
- Je wärmer sowie feuchter die Luft im Verkaufsraum, desto höher ist der Energieaufwand zur Kälteerzeugung und umso höher ist der Energiebedarf des offenen Kühlregals.
- Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse ist die bei Messungen vorgefundene extreme Bandbreite im Strombedarf von offenen Kühlregalen keine Überraschung mehr.

4.5 Erfordern nachgerüstete Türen eine Klimaanlage?

Hier gilt es, zu berücksichtigen, dass Märkte im Bestand untersucht werden. Es geht nicht um die komplette Neuplanung eines Marktes mit einem Gesamtkonzept aller Gewerke. Die erweiterte Frage lautet somit:

Was sind die Folgen von nachgerüsteten Türen im Falle sommerlicher Temperaturen? Und für den Fall, dass eine Teilklimaanlage installiert werden muss, was bleibt von der Einsparung nachgerüsteter Türen am Regal?

Wie bereits beschrieben, hat das Nachrüsten von Türen vor offenen Kühlregalen einen erheblichen Einfluss auf das Klima im Verkaufsraum. Das Klima im Markt wiederum hat einen hohen Einfluss auf die Energieeffizienz der Kühlregale. Es muss daher sorgfältig geprüft werden, ob die durch Türen stark reduzierte Kühlleistung der Regale in irgendeiner Form kompensiert werden kann.

Zur Klimakompensation im Markt kommen in erster Linie die Beleuchtung (Einfluss auf die Temperatur im Markt) und die Belüftung in Betracht. Eine in den meisten Fällen bereits erfolgte Umstellung auf LED-Beleuchtung (Absenkung der Markttemperatur) schafft eine gute Voraussetzung zur Kompensation. Da viele Lüftungsanlagen im LEH überdimensioniert sind, können mithilfe einer relativ preiswerten Umstellung auf eine Regelung nach Luftqualität (Kostenzuschuss durch das BAFA) die benötigten Reserven geschaffen werden. In jedem Fall ist es notwendig, eine Bilanz der wichtigsten Wärmeströme im Verkaufsraum darzustellen.

4.5.1 Wärmebilanz eines Vollsortimenters im LEH

Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick für den Referenzmarkt eines Vollsortimenters mit 1.000 m² Verkaufsfläche.

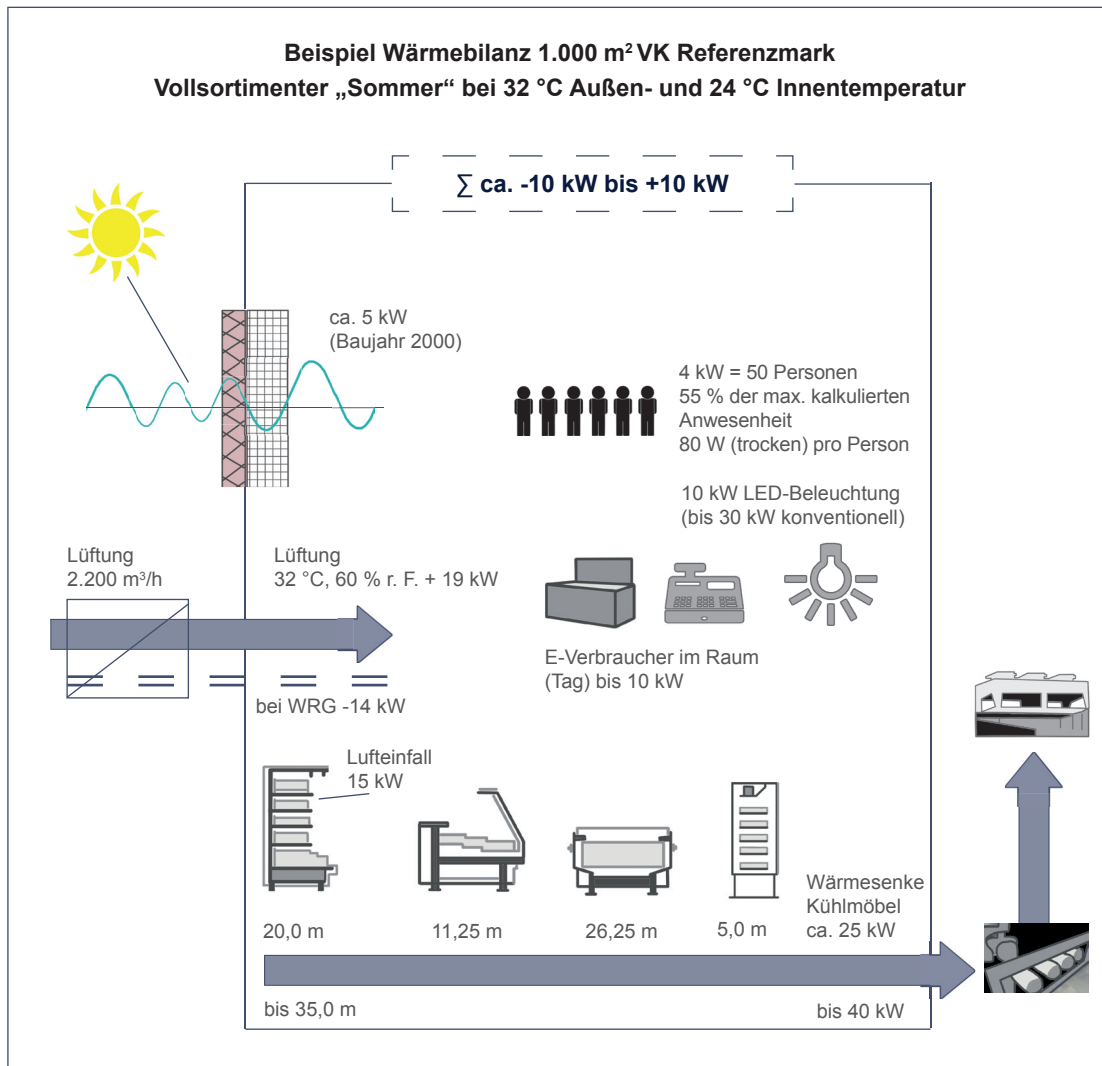


Abbildung 28. Beispiel Wärmebilanz Vollsortimeter

Als wichtigste Einflussfaktoren auf das Raumklima sind zu nennen:

- **Einfluss der Kühlmöbel:** Dies ist die Wärme, welche in die Möbel eindringt und bei einer zentralen Kälteanlage nach außen abgeführt wird. Bei einer mittleren Ausstattung (vgl. Abbildung oben) mit ca. 20 m offenem Kühlregal, 11 m offener Bedientheke, 26 m TK-Inseln und 5 m TK-Schrank müssen bei 24 °C Raumtemperatur und ca. 60 % relativer Luftfeuchte etwa **25 kW** an Wärmeleistung aus dem Raum abgeführt werden. Davon entfallen auf die offenen Kühlregale etwa 15 kW⁶⁸, das entspricht 60 % der abzuführenden Wärmemenge.

⁶⁸ Vgl. nachfolgendes Kapitel. Die 15 kW wurden aus einem Berechnungsprogramm für Kühlmöbel der technischen Universität von Dänemark ermittelt. Analog wurde mit den übrigen Kühlmöbeln verfahren.

Bei großzügig ausgestatteten Märkten mit mehr Kühlmöbeln kann die abzuführende Wärmeleistung bis zu 40 kW betragen. Dieser Wert darf nicht mit der gesamten Kälteleistung verwechselt werden, da diese auch die in den Möbeln durch Beleuchtung, Ventilatoren und Begleitheizungen erzeugte Wärme zusätzlich abführen muss.

- **Einfluss der Beleuchtungsleistung:** Die Bandbreite liegt in den von uns untersuchten Märkten zwischen 10 W/m²VK (moderne LED) und ca. 30 W/m²VK (veraltete Leuchtstoffröhren, auch in allen Regalen) installierte Beleuchtungsleistung. Beim Referenzmarkt mit 1.000 m² entspricht dies einem Wärmeeintrag in den Verkaufsraum während der Öffnungszeiten von 10 kW bis 30 kW.
- **Einfluss einer Lüftungsanlage:** Bei einer Anwesenheit von 50 Personen werden pro Person ca. 40 m³/h frische Luft benötigt. Bei 32 °C Außentemperatur trägt ein Frischluftstrom von 2.200 m³/h mit ca. **19 kW** zur weiteren Erwärmung des Verkaufsraums bei. Eine Wärmerückgewinnung kann davon ca. 14 kW reduzieren. Es verbleibt in diesem Fall eine Wärmelast durch die Lüftungsanlage von ca. **5 kW**.
- **Einfluss innerer Wärmequellen:** Kassensysteme, Bildschirme, Backautomaten, Kühltruhen, Warmhalteplatten usw. können in diesem Beispiel bis zu 10 kW zur Wärmelast beitragen.
- **Einfluss der Gebäudehülle:** Dies ist die Wärme, die an heißen Tagen durch Wände, Decken und Fußböden dringt (Transmissionswärme). Bei unserem Referenzmarkt mit 1.000 m², erbaut im Jahr 2000, wurden 5 kW Transmissionswärmeeintrag angesetzt.⁶⁹ Je schwerer das Gebäude ausgeführt ist, desto verzögerter und auch abgeschwächer erreicht die „Hitzezelle“ der Wärme durch die „Hülle“ den Innenraum. Zu berücksichtigen ist, dass an den heißesten Tagen bei einer Lufttemperatur von 34 °C die Nachttemperaturen in der Regel nicht unter 15 °C liegen. Eine genaue Erfassung dieses Wärmeeintrags ist sehr aufwendig.

Im aufgeführten Beispiel ergibt sich bei moderner LED-Beleuchtung, auf Schadstoffe geregelter Lüftungsanlage und durchschnittlicher Ausstattung mit Kühlmöbeln eine Bilanz am wärmsten Sommertag von grob **+ 9 kW**⁷⁰ Wärmeleistung, die ggf. gekühlt werden müssen.

Wir empfehlen bei nachträglicher Ausstattung von Türen einen pragmatischen Weg. Gab es in der Vergangenheit keine Probleme, sollte dies auch in der Zukunft gelten, falls eine gleichzeitige Modernisierung von Beleuchtung und Lüftung den Einfluss der Türen ausgleicht. Ist dies nicht der Fall, ist das Nachrüsten einer Teilklimaanlage für heiße Sommertage (ca. 355 Stunden pro Jahr ist es wärmer als 24 °C)⁷¹ zu empfehlen.

Pro Meter nachgerüstete Türen werden ca. **0,75 kW** Kälteleistung benötigt.⁷² Je kW nachgerüstete Kälteleistung können grob **1.000 EUR** Investitionskosten gerechnet werden. Dies hat natürlich einen erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der nachträglichen Investition in Türen vor offenen Kühlregalen.

⁶⁹ Bei Bauten ab 2000 kann ein Faustwert von etwa 5 kW angesetzt werden.

⁷⁰ 5 kW Hülle + 5 kW Lüftung + 4 kW Personen + 10 kW LED = 24 kW. 24 kW - 15 kW offene Regale = 9 kW.

⁷¹ Vgl.: Alpenvorland Testreferenzjahr No. 13.

⁷² Die Herleitung dieses Wertes erfolgte mit dem Programm CoolPack der Technischen Universität von Dänemark. Weitere Erklärungen folgen im Text.

4.5.3 Wärmebilanz eines Kühlmöbels

Kühlmöbel verlieren Kälte durch verschiedene Faktoren wie z. B. durch warme Umgebungsluft oder die Beschickung mit Waren, die wärmer sind, als die im Kühlmöbel eingestellte Temperatur (sollte tunlichst vermieden werden, kommt aber in der Praxis nach unserer Erfahrung regelmäßig vor). Diese zugeführte Wärme muss wie die Abwärme der technischen Einrichtungen des Kühlregals wie Beleuchtung, Ventilatoren, Abtaung und Rahmenheizung bei Verglasung abgeführt werden. Durch Luft wird generell der größte Anteil der Wärme eingetragen (rund 70 %, gefolgt von Einstrahlung und Ventilatoren mit jeweils rund 10 %).

Türen beeinflussen die Wärmebilanz in mehrfacher Hinsicht:

- Der Lufteinfall wird stark unterbunden.
- Die Einstrahlung reduziert sich.
- Die außerhalb des Luftschleiers befindliche Beleuchtung wird gefangen und gibt die Abwärme vollständig an das Möbel ab.

Es wird vereinfachend angenommen, dass der Lufteinfall weitestgehend unterbunden wird. Dieses Ergebnis wird später mit den Ergebnissen aus tatsächlichen Messungen und Hochrechnungen aus Vergleichen mit und ohne Nachtrollo verglichen, wobei das Nachtrollo die Türen näherungsweise simuliert.

Eine erste Abschätzung kann mit dem Berechnungsprogramm für Kühlmöbel der Technischen Universität von Dänemark vorgenommen werden.

CoolPack

COOLING DEMAND FOR REFRIGERATED DISPLAY CABINETS

TYPE OF DISPLAY CABINET AND DIMENSIONS

DISPLAY CABINET: M.05.03 Open top, no electrical defrost

Length (minus cabinet end walls) [m]: 3,750 A_{DISPLAY} [m²]: 4,500

* A_{DISPLAY} is the cross sectional area through which the infiltration of humid air occurs

DATA FOR DISPLAY CABINET CORRESPONDING TO CATALOGUES (At EN441-Test conditions)

$\dot{Q}_{E,CAT}$ [kW]: 4,084 at Climate class 3 (25 °C / 60 %) and Temperature class M2 (+7 °C, -1 °C)

T_E [°C]: -10,0 Type: Product The conditions corresponds to EN441-test condition: 3M2

CORRECTION OF COOLING DEMAND TO EXPECTED WORKING CONDION

	T [°C]	RH [%]	EN441	CORRECTED
Condition in cabinet	2,0	85	Heat conduction :	0,286 [kW]
Condition in surroundings	24,0	59	Infiltration of air :	2,787 [kW]
			Thermal radiation :	0,327 [kW]
			Auxiliary equipment :	0,817 [kW]
			4,084 [kW]	4,197 [kW]

\dot{Q}_E : 4,197 [kW] at T_E : -10,0 [°C]

Cooling demand (corrected) per metre : 1,119 [kW/m]

Reference cooling demand for selected cabinet : 3,762 [kW]

Cooling demand for selected cabinet is 9 [%] higher than reference cooling demand

© 1999 - 2001
Department of
Mechanical Engineering
Technical University
of Denmark
Version 1.4b
TOOL A.11

Abbildung 30. Kälteleistung eines offenen 3,75-m-Kühlregals⁷³

⁷³ <http://www.ipu.dk/Indhold/koele-og-energiteknik/CoolPack.aspx>

Bitte nach unten scrollen. Dort befinden sich die Links „Download CoolPack version 1.50“ und „Download Pack Calculation Pro“.

Nach diesem Programm beträgt die thermische Kälteleistung für einfallende Luft in das Kühlregal im sommerlichen Maximalfall (24 °C, 60 % relative Feuchte im Verkaufsraum) **2,787 kW** für ein 3,75-m-Regal bzw. ca. **0,75 kW** pro Regalmeter. Das ergibt für einen typischen Markt mit 1.000 m² Verkaufsfläche und 20 m Regallänge eine Gesamt-Kühlleistung von ca. **15 kW** für den durch Türen vor den Regalen beeinflussbaren Lufteinfall.

4.5.4 Vergleich Wärmebilanz Berechnung und Messung

Die verschiedenen Quellen von Daten zum gleichen Thema werden an dieser Stelle noch einmal in Bezug gesetzt. Der durch den Lufteinfall ins offene Kühlregal verursachte Energiebedarf wird entsprechend der Öffnungszeit des Marktes hochgerechnet. Der rechnerische Wärmestrom von ca. **2,78 kW** für ein 3,75 m langes Kühlregal entspricht bei einer üblichen Öffnungszeit von ca. **4.500 h** im Jahr einer Wärmemenge von ca. **3.350 kWh** pro Meter Kühlregal.

Um den dazugehörigen Strombedarf für den Vergleich mit unseren Messungen zu berechnen, benötigt man die Leistungszahl der Kälteerzeugung. Diese lag bei unseren Untersuchungen zwischen 1,5 und 5,9.

Daraus ergibt sich ein entsprechender modellhafter Stromverbrauch von $3.336 / 5,9 = 565$ bis $3.336 / 1,5 = 2.166 \text{ kWh/m}\cdot\text{a}$. Diese Zahlen liegen etwas oberhalb des Bereichs von **308** bis **1.919 kWh/m}\cdot\text{a}** der *eigenen* Messungen und Hochrechnungen. Dies entspricht der Erwartung, da die modellhaft ermittelten Ergebnisse den sommerlichen Maximalfall und nicht den Jahresdurchschnitt darstellen.

4.5.5 Welche Kosten verursacht eine zusätzliche Klimaanlage?

Im vorliegenden Fall kann auf die Standardausführungen für die Klimatisierung von normalen Aufenthaltsräumen zurückgegriffen werden.

Für eine typische Anlage mit zwei Deckenkassetten und gemeinsamen oder getrennten Außengeräten inklusive Montagekosten in gleicher Höhe wie die Anlage selbst ist mit ca. 10.000 EUR⁷⁴ zu rechnen.



Abbildung 31. Typisches Klima-Splitgerät zum Nachrüsten

⁷⁴ z. B. 2 x Mitsubishi© Heavy Industries Set FDTC 50 VF Deckenkassette Euroraster + SRC 50 ZSX-S

Der zusätzliche Strombedarf ist überschaubar. Wird die Klimatisierung für Temperaturen oberhalb von 24 °C Außentemperatur benötigt, muss pro kW installierte Kühlleistung mit einem Stromverbrauch von ca. **0,29 kW⁷⁵** gerechnet werden. Die mittlere Auslastung der Klimaanlage oberhalb der 24 °C Außentemperatur liegt lediglich bei ca. 20 %, da die mittlere Temperatur während der 355 h oberhalb von 24 °C im Jahr nur bei etwa 27 °C liegt und die Wärmelast durch die Außenhülle des Gebäudes oder in den Markt eindringender Luft entsprechend kleiner ausfällt. Dies ergibt pro Meter Kühlregal mit Türen einen zusätzlichen Stromverbrauch der Klimaanlage von ca. **16 kWh** pro Jahr.

Der Strombedarf der Klimatisierung zur Kompensation für durch Gebäudehülle und Lüftungsanlage eindringende Wärme oberhalb einer Raumtemperatur von 24 °C ist daher sehr überschaubar. Schmerzlicher sind die zusätzlichen Investitionskosten für eine Ersatz-Raumklimatisierung von rund **750 EUR⁷⁶** pro Meter an nachgerüsteten Türen.

Schmilzt die Schokolade im Markt bereits jetzt? In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass die Nachrüstung einer Teilklimaanlage notwendig wird.

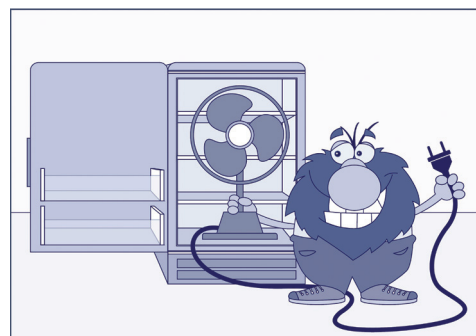
Resümee zur Frage: Wann wird eine Klimaanlage notwendig?

- Sind die Temperaturen an warmen Sommertagen in einem Markt tendenziell schon sehr hoch, verstärken nachgerüstete Türen vor Kühlregalen dieses Problem. Eine nachträgliche Klimatisierung wird dann kaum zu umgehen sein.
- Ein in der Vergangenheit bei sommerlichen Temperaturen unkritischer Markt wird sich auch bei nachgerüsteten Türen sehr wahrscheinlich unkritisch verhalten, sofern Beleuchtung und Lüftung ebenfalls eine Nachrüstung auf den Stand der Technik erfahren haben.
- In allen anderen Fällen gilt es, eine sorgfältige Energiebilanz zu erstellen. Die Kosten einer aufwendigen Gebäudesimulation sind in diesem Fall unternehmerisch gegen die Investitionskosten einer Klimaanlage abzuwägen. Ggf. kann man es dann darauf ankommen lassen und erst bei Notwendigkeit entscheiden.

4.6 Ist der Wechsel alter Ventilatorlüfter sinnvoll?

4.6.1 Grundlagen Ventilatormotoren

Motoren für die Umwälzung gekühlter Luft werden in Supermärkten sowohl in Kühlregalen als auch in Kühltruhen benötigt. Typischerweise sind die Lüfter am Gerät unten angebracht.



⁷⁵ Bei einer Aufwandszahl der Kälteerzeugung der Klima-Splitanlage von 3,5.

⁷⁶ Richtgröße für Klima-Splitanlagen mit Deckenkassette ab ca. 5 kW Kühlleistung und einem Montagekostenanteil von ca. 40 %.

Die in der Vergangenheit für den Antrieb von Lüftern eingesetzten Spaltnmotoren sind relativ klein und weisen eine Energieeffizienz von lediglich ca. 18 % auf.⁷⁷ Stand der Technik hingegen sind EC-Motoren, die in einer vergleichbaren Leistungsklasse eine Effizienz von ca. 67 % aufweisen.⁷⁸ Der Unterschied ist z. B. auf den Typschildern zweier Kühlregale vergleichbarer Größe gut sichtbar.

 	
A-4040 Linz, Am Hartmayrgut 4-6, Tel.:++43-(0)732-732005-0*	
Gerätetyp: NRPM-H 3750	Nennspannung: 230V/50Hz
Geräte-Nr.: A0403528/C	Schutzart: IP 22
Auftrags-Nr. A0403528	Kältemittel: R 404a kg
Baujahr: 2004	Zul-Betr-Überdruck: bar
Gewicht: 750 kg	
Motor-Kompressor-elekt. Leistungsaunahme in Watt (CBCOMAF)	
Motor-Kompressor: W	Abtauheizung(en): W
Kond-Ventilator: W	Elektr-Tauwasserverd.: W
Umluftventilator(en): 192 W	Beleuchtung: 108 W
Antischwitzheizung(en): 125 W	Motorrollo: W

Abbildung 32. Altes Kühlregal, Leistung Ventilatorlüfter 192 W









Linde Kältetechnik GmbH			
Type of Unit : METHOS 74.375 A3	Rated Voltage : 230	Hz50	
Product No. : 4019612			
Serial - No. : 3687605			
Year Built : DA	Perm. Working Pressure: 25 bar GR II (P)		
Contains environmental friendly C-Pentane			
Made by Linde			
 0 W	 183 W		
 0 W	 42 W		
 0 W V	 42 W		

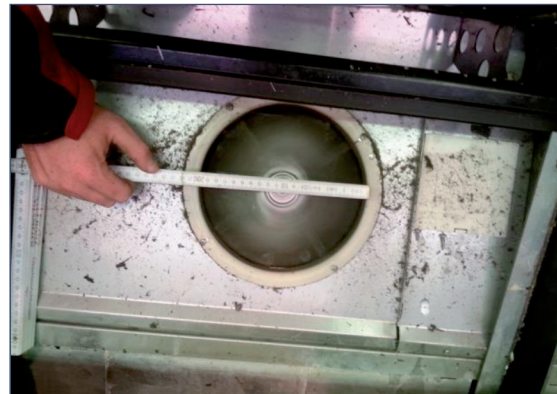
Abbildung 33. Neues Kühlregal, Leistung Ventilatorlüfter 42 W

⁷⁷ Angabe aus Prospekt ELCO MOTORE ECM 03/12

⁷⁸ Angabe EBM-Papst-Katalog für Typ R3G500 als Beispiel Supermarktkühlregale

4.6.2 Praxisbeispiel Austausch Lüftermotoren

Da nicht alle Hersteller ihre Kühlmöbel mit aussagekräftigen Typschildern versehen, wurden die infrage kommenden Möbel inspiziert und durch die verantwortliche Wartungsfirma ein Angebot zur Umrüstung auf hocheffiziente Ventilatormotoren erstellt. In den Kühlmöbeln waren alte Spaltmotoren vom Typ **ELCO VN 5-13 230 V** verbaut.

Abbildung 34. Alter Ventilatormotor⁷⁹Abbildung 35. Einbau im Kühlmöbel⁸⁰

Auf Basis von Typschild und Herstellerkatalog ergibt sich für den Typ **VN 5-13** ein maximaler Wirkungsgrad von 5 W (abgegebene Leistung)/32 W aufgenommene Leistung = **15,6 %**.

Prestazioni - Performances							
Codice Part Number	Volt	W Out	W In	Amp	RPM	Cavo-Cable mm	Imballo Packing
NET2C05ZVN001	230	5	32	0,20	1300/1550	-	20 Pcs
NET2C10ZVN001	230	10	38	0,23	1300/1550	-	20 Pcs
NET2C16PVN001	230	16	65	0,45	1300/1550	-	15 Pcs
NET2C25PVN001	230	25	95	0,68	1300/1550	-	10 Pcs
NET2C34PVN001	230	34	120	0,87	1300/1550	-	10 Pcs

Abbildung 36. Katalogwerte Spaltmotor

Zur Berechnung der Einsparung wird für den Spaltmotor zur Sicherheit die abgegebene Leistung von 5 W bzw. die maximale aufgenommene Leistung von 32 W um 10 % auf **29 W** abgesenkt, da Motoren üblicherweise diese Reserve aufweisen.

Bei der Umrüstung hat die Marktleitung entschieden, den EC-Motor **ECM-Long Life 9-14 W** einzusetzen. Grundsätzlich werden bei einer Umrüstung auf EC-Motoren Drehzahl und Lüftertyp nicht verändert, sodass der EC-Motor die gleiche Wellenleistung wie der bisherige Spaltmotor aufbringen muss. Die tatsächliche Drehzahl ergibt sich aber durch die konkreten Einbaubedingungen vor Ort, sodass von einer gewissen Schwankung auszugehen ist. Die maximale

⁷⁹ Typ ECM VN5-13

⁸⁰ In den Möbeln sind durchgehend Ventilatoren mit einem Durchmesser von 20 cm verbaut. Es variiert nur die Anzahl.

Wellenleistung des EC-Motors liegt laut Produktkatalog bei mindestens $14 \text{ W} \cdot 63 \%^{81} = 8,3 \text{ W}$. Er ist daher ca. 70 % leistungsfähiger als der Spaltnotor. Zur Sicherheit wurde daher für die Einsparung bei dem EC-Ersatzmotor mit der maximalen Leistungsaufnahme von 14 W (siehe Datenblatt) gerechnet.



	ECM Standard	ECM Long Life
Einsatztemperatur	-40°C ÷ +55°C*	
Isolationsklasse	B	
Schutzarten	IP65	IP65-IP66
Spannung	100V / 50÷60HZ • 115-127V / 50÷60Hz • 230V / 50÷60Hz	
U/Min. bei 115-127V	1450 • 1550 • 1850	
U/Min. bei 230V	1400 • 1600 • 1850	
Leistung IN	9÷14W • 20÷25W	9÷14W • 20÷25W
Verordnungen	CENELEC EN 60335-1 • EN 61000-3-2 + A1/A2 • EN 55014-1	
Genehmigungen		
Lagerung	Gleitlager	Kugellager
Lebensdauer bei 20°C	50.000 Stunden	60.000 Stunden

Abbildung 37. Technische Daten Baureihe ELCO EC-Motoren⁸²

Somit berechnet sich für alle eingesetzten Motoren die (minimale) Einsparung wie folgt:

- aufgenommene Leistung Spaltnotor = 29 W
- aufgenommene Leistung EC-Motor = 14 W

$$\frac{\text{aufgenommene Leistung EC-Motor}}{\text{aufgenommene Leistung Spaltnotor}} = \frac{14 \text{ W}}{29 \text{ W}} = 48 \%^{83}$$

$$\text{Einsparung (mindestens)} = 100 \% - 48 \% = 52 \%$$

Dieser Wert wurde sowohl für die Ermittlung der absoluten Einsparungen und auch der Wirtschaftlichkeitsberechnungen herangezogen. Normalerweise sind zwei Ventilatoren pro 1,25-m-Feld verbaut.⁸⁴ Bei 20 Metern Kühlregalstrecke kann von rund 30 Ventilatormotoren ausgegangen werden.

⁸¹ Vgl. Produktkatalog. Der Wirkungsgrad wird mit 63 % bis 68 % angegeben. Es wurde daher der unterste zitierte Wert (63 %) verwendet, um auf der sicheren Seite zu rechnen.

⁸² Katalog ELCO-E-TRADE SRL Via Marconi,1; 20065 INZAGO Milano-Italia ECM03/12

⁸³ Es wurden Rundungen vorgenommen.

⁸⁴ Eine Ausnahme bilden ARNEG-Kühlregale. Bei diesem Typ ist in der Regel (es gibt auch Ausnahmen) nur ein Ventilatorlüfter pro 1,25-m-Feld verbaut.

4.6.3 Allgemeine Annahmen zur Berechnung

Ist-Zustand:

29 W Leistung Ventilatormotor • 30 Stück • 8.760 h Laufzeit pro Jahr⁸⁵ = 7.621 kWh/a

Neu-Zustand:

14 W Leistung Ventilatormotor • 30 Stück • 8.760 h Laufzeit pro Jahr = 3.679 kWh/a

Einsparung: 7.621 kWh/a - 3.679 kWh/a = 3.942 kWh/a

Ventilator-Motoren IST:	7.621 kWh • 0,19 EUR/kWh =	€	1.448,-
Ventilator-Motoren NEU:	3.679 kWh • 0,19 EUR/kWh =	€	699,-
Einsparpotential Ventilatormotoren		€	<u>749,-</u>

Nettoinvestition Ventilatormotoren:

30 Stk. EC-Ventilatormotoren iQ 3612 220-240 V, 24 W	€	2.085,-
Stoßverbinder und Kleinmaterial K1 (5 % auf Ventilatoren)	€	105,-
Montage	€	770,-
Anfahrtpauschale	€	180,-
Nettoinvestition Ventilatormotoren:	€	<u>3.140,-</u>

Im Dauerbetrieb gibt der Hersteller ELCO die Lebensdauer der ECM-Long-Life-Motoren mit 60.000 Stunden an, das entspricht rund 7 Jahren. Die traditionellen Spaltnmotoren weisen eine Lebensdauer von rund 25.000 bis 30.000 Stunden auf, das entspricht rund 50 % der Lebensdauer von ECM-Motoren.

Wechselkosten Bestands-Ventilatormotoren (ELCO-Serie VN)

Lebensdauer:	3,4 Jahre		
Ventilatorpreis:	34,59 EUR/Stück • 30 Stück =	€	1.037,-
Austauschkosten ⁸⁶ :	33,60 EUR/Stück • 30 Stück =	€	1.008,-
Umlagerungskosten ⁸⁷ :	20,00 EUR/Stück • 20 Stück =	€	600,-
Summe		€	<u>2.645,-</u>

Wechselkosten: 2.645 EUR/3,4 Jahre = 778 EUR/a

Wechselkosten ECM-Long-Live-Ventilatormotoren (Fa. ELCO)

Lebensdauer:	6,9 Jahre		
Ventilatorpreis:	69,50 EUR/Stück • 30 Stück =	€	2.085,-
Austauschkosten:	33,60 EUR/Stück • 30 Stück =	€	1.008,-
Umlagerungskosten:	20,00 EUR/Stück • 30 Stück =	€	600,-
Summe		€	<u>3.693,-</u>

Wechselkosten: 3.693 EUR/6,9 Jahre = 535 EUR/a

⁸⁵ Die Ventilatorlüfter laufen 24 h pro Tag.

⁸⁶ Es werden mittlere Austauschkosten gemäß verschiedener Angebote angesetzt.

⁸⁷ Als Vor- und Nachbereitung für den Austausch der Lüftermotoren durch die Fachfirma muss ein Teil der Ware in den Regalen durch eigenes Personal umgelagert werden.

Zusatzkosten/Einsparungen:

Durch die im Kälteluftstrom montierten Ventilatormotoren führt die Stromeinsparung zu einer geringeren Kälteleistung als Folge der geringeren Abwärme. Der verwendete Wert von 0,48 kW eingesparte elektrische Leistung pro kW reduzierte thermische Leistung entspricht einem typischen älteren NK-Verflüssigungssatz (-12 °C/+ 40 °C), ca. 5 kW Kälteleistung. (Quelle: Bitzer-Software)

Einsparung NK-Regale

Einsparung Ventilatormotoren	Einsparung Zentralkälte bei 0,48 kWh/kWh	Kosten Strom	zusätzliche Einsparung
kWh/a	kWh/a	EUR/kWh	EUR/a
3.942	1.892	0,19	360

Tabelle 12. Zusätzliche Einsparung durch effiziente Ventilatorlüfter

Diese Einsparungen (360 EUR/a) werden als Zusatzkosten für die Kälteanlage in der Bestandssituation dargestellt.

Initiale Umlagerungskosten für Waren in den Kühlmöbeln

Als Vor- und Nachbereitung für den Austausch der Lüftermotoren durch die Kältefirma muss ein Teil der Ware in den Regalen durch eigenes Personal umgelagert werden. Diese Aufwendungen werden als zusätzliche Kosten dem Investitionsbetrag zugeschlagen. Für den Austausch jedes Lüftermotors werden daher nochmals 20 EUR (Aus- und Einräumen von ca. einem halben Regalmeter) kalkuliert. Die Kosten für das Aus- und Einräumen der Regale belaufen sich damit auf: 30 Motoren à 20 EUR/Motor = **600,- EUR**.

Annahmen Ventilatormotoren	IST	EC-Motoren
Startjahr	2019	
Nutzungsdauer ND [Jahre]	10	10
Kalkulatorischer Zinssatz [%]	2,00	2,00
Nettoinvestition [€]	0,-	3.140,-
Energiekosten [€ pro Jahr]	1.448,-	699,-
Zusatzkosten Strom Kälteanlagen [€ p. a.]	360,-	0,-
sonstige Kosten – Wechselkosten [€ p. a.]	778,-	535,-
sonstige Kosten – Waren umlagern [€]		600,-
Steigerung der Stromkosten [%/Jahr] ⁸⁸	2	2
Steigerung der sonstigen Kosten [%/a]	2	2

Tabelle 13. Annahmen zur Investitionsrechnung – Ventilatormotoren

⁸⁸ Im Szenario wird von einer jährlichen Strompreissteigerung von 2 % ausgegangen. Die letzten 15 Jahre betrug die Preissteigerung pro Jahr rund 3,7 %. Die EU geht davon aus, dass die Strompreise noch weitere 20 Jahre deutlich steigen werden. Die IHK geht von einer durchschnittlichen Preissteigerung von rund 5 % p. a. aus. Die angesetzten 2 % stellen somit ein optimistisches Szenario dar.

4.6.4 Berechnungsergebnisse

Nicht in die Kalkulation eingeflossen sind steuerliche Abschreibungsmöglichkeiten. Ebenso wurde der mögliche Zuschuss von 30 % zu den Nettoinvestitionskosten, der vom BAFA gewährt wird, nicht berücksichtigt.

Ergebnisse Umrüstung Ventilatormotoren		
Amortisation, statisch [Jahre]	2,8	28 % v. ND
Amortisation, dynamisch, 1,96 % [Jahre]	2,8	28 % v. ND
Kapitalwert 2 % [EUR]	9.515	
interne Verzinsung [%]	36,1 %	
	Bestand	EC-Motoren
jährliche Kosten inkl. annuisierter Investition [€]	2.822	1.763
jährliche Kosteneinsparung [EUR/Jahr]		1.059

Tabelle 14. Ergebnisse Investitionsrechnung – Ventilatormotoren

Mit einer internen Verzinsung des eingesetzten Kapitals von 36 % ist das Investment äußerst lukrativ.

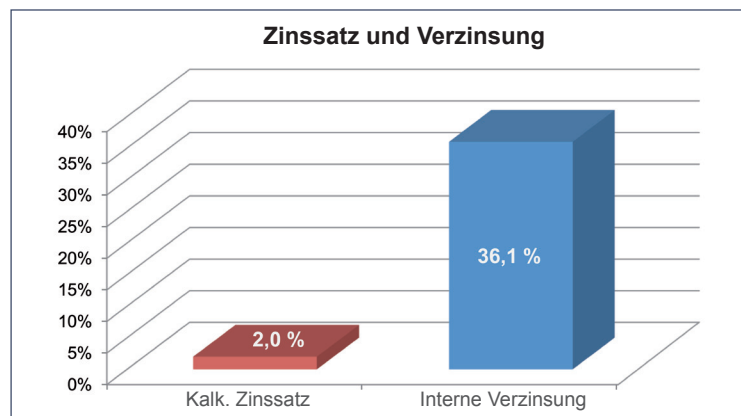


Abbildung 38. Zinssatz und interne Verzinsung – Ventilatormotoren

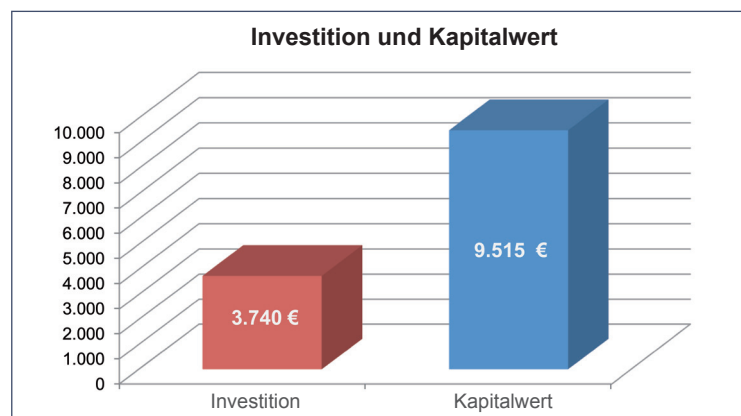


Abbildung 39. Investition und Kapitalwert im Vergleich – Ventilatormotoren

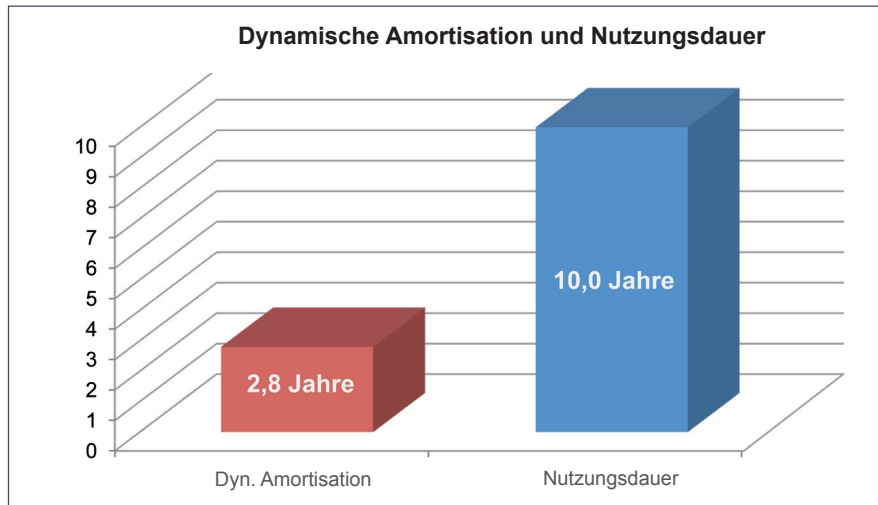


Abbildung 40. Dyn. Amortisation und Nutzungsdauer – Ventilatormotoren

Zahlungsplan Differenzinvestition

Zeitpunkt	12/2019	12/2020	12/2021	12/2022	12/2023	12/2024
Kredit	3.740					
Rückfluss	-3.740	1.352	1.379	1.407	1.435	1.463
Zins		-75	-49	-23	0	0
Tilgung		-1.277	-1.330	-1.133	0	0
Restschuld	-3.740	-2.463	-1.133	0	0	0
Überschuss	0	0	0	251	1.435	1.463
Abgezinst auf Kapitalwert	9.515	0	0	236	1.325	1.325

Zeitpunkt	12/2025	12/2026	12/2027	12/2028	12/2029
Kredit					
Rückfluss	1.493	1.523	1.553	1.584	1.616
Zins	0	0	0	0	0
Tilgung	0	0	0	0	0
Restschuld	0	0	0	0	0
Überschuss	1.493	1.523	1.553	1.584	1.616
Abgezinst auf Kapitalwert	1.325	1.325	1.325	1.325	1.325

Tabelle 15. Zahlungsplan Ersatzinvestition – Ventilatormotoren

Resümee zur Frage: Lohnt sich ein Wechsel der Ventilatorlüfter?

- Wir haben hier eine sehr pragmatische Ansicht: Wenn das Kühlregal voraussichtlich noch 6 Jahre und länger genutzt wird (vgl. Zahlungsplan), sollte ein Wechsel der Ventilatorlüfter in jedem Fall erfolgen. Voraussetzung ist auch hier ein faires Angebot des Kältedienstleisters.
- Bei einer Nutzungsdauer von 10 Jahren liegt die Rendite in einer Größenordnung von 36 % bis zu 50 % p. a. (Nutzung Investitionszuschuss). Sollte die 30-%-Förderung des BAFA in Anspruch genommen werden, sinkt die Amortisationszeit auf zwei Jahre.
- Bei Reparaturen sollten konsequent energiesparende EC-Motoren eingesetzt werden.

4.7 Lohnt sich eine Umrüstung auf LED-Beleuchtung?

Die zentrale Frage, die sich unsere Mandanten stellen, lautet: Lohnt sich die Umrüstung bestehender Kühlmöbel auf LED-Beleuchtung?

In neuen Kühlregalen ist LED-Beleuchtung inzwischen Standard und Stand der Technik.⁸⁹ Wann aber lohnt es sich, über eine Umrüstung konventioneller Leuchtstoffröhren zu LED nachzudenken?



Zunächst ist es wichtig, sich über die Motivation im Klaren zu sein. Als mögliche Gründe können angeführt werden:

- Senkung der Fixkosten durch Energieeinsparung (rein wirtschaftliche Gründe)
- ästhetische Aufwertung des Marktes
- Erhöhung der Beleuchtungsstärke, d. h. die Helligkeit im Markt
- Erhöhung der Funktionalität (verschiedene Lichtsteuerungsmöglichkeiten)
- ökologisches Gewissen (Verantwortung für die Umwelt übernehmen)

Nach unserer Erfahrung stehen in der Regel rein wirtschaftliche Gründe im Vordergrund. Vor dem Hintergrund dieser Erfahrung wurde in unserem Team der Satz geprägt: **„Kaum jemand möchte seinen Energiebedarf reduzieren, alle möchten nur Geld sparen.“**

Grundsätzlich kann moderne LED-Technologie in allen Gebieten punkten. Die Motivation hat aber einen Einfluss auf die zu erwartende Wirtschaftlichkeit einer Investition.

Stehen rein wirtschaftliche Gründe im Vordergrund, empfehlen wir, strikt darauf zu achten, dass sich die Investition innerhalb einer maximalen Garantzeit von fünf Jahren amortisiert. Eine längere Lebensdauer der Leuchtmittel ist willkommener zusätzlicher Gewinn, es gilt aber zu bedenken, dass das Risiko der Investor, d. h. der Marktbetreiber trägt.

⁸⁹ In jedem Fall auf die Wirtschaftlichkeit achten, da für die LEDs immer wieder überhöhte Preise angesetzt werden.

Funktionalität steht z. B. in Kühlräumen, Nebenräumen für Leergut und allgemeinen Nebenräumen im Vordergrund. Die volle Lichtleistung steht von der ersten Sekunde an zur Verfügung und die Schalthäufigkeit hat kaum noch negativen Einfluss auf die Lebensdauer.⁹⁰ Hier können energiesparende Bewegungsmelder ohne Probleme eingesetzt werden. In der Vergangenheit haben lange Wartezeiten auf helles Licht zu unnötig langen Einschaltzeiten geführt.

4.7.1 Verbesserung von Lichtausbeute und Leuchteneffizienz

Bei einer Umstellung auf hocheffiziente LED-Leuchten ergeben sich Einsparungen durch zwei wesentliche technologische Effekte:

- Die Lichtausbeute⁹¹ steigt.
- Die Leuchten haben einen höheren Wirkungsgrad, da LEDs kein Licht auf der Rückseite abstrahlen, welches durch Reflektoren in die gewünschte Richtung gelenkt werden muss.

Eine Übersicht über diese beiden technologischen Effekte typischer im Lebensmitteleinzelhandel eingesetzter Technologien verdeutlicht folgende Tabelle:

Bezeichnung/Nennleistung Lampe [W]	Lichtstrom Lampe [lm]	Effizienz-Leuchte [%]	Leuchten-Lichtstrom [lm]	System-Leistung ⁹² [W]	Leuchten Lichtausbeute η_V [lm/W]
Leuchtstoffröhre⁹³ T8-58W KVG	5.200	mit Spiegel-Reflektor 84,0	4.368	71	61,5
Leuchtstoffröhre T8-58W EVG	5.100	mit Spiegel-Reflektor 84,0	4.284	65	65,9
Leuchtstoffröhre T5-49W EVG	5.000	mit Spiegel-Reflektor 84,0	4.200	54	77,8
LED-Röhre z. B. Austausch⁹⁴ 28 W	3.400	mit/ohne Reflektor ⁹⁵ 100	3.400	28	121
Stabförmige LED Leuchte ca. 3000 K (warm)⁹⁶	6.000	Lampe ⁹⁷ = Leuchte = 100	6.000	44	136
Stabförmige LED Leuchte ca. 4000 K (kalt)⁹⁸	5.000	Lampe = Leuchte = 100	5.000	35,5	141

Tabelle 16. Lichttechnische Vergleichsparameter häufiger Leuchten

⁹⁰ Beachten Sie: Einschaltvorgänge stellen auch bei Elektronikbauteilen eine gewisse Belastung dar.

⁹¹ Die Lichtausbeute ist ein technischer Begriff: Lichtstrom pro eingesetzter elektrischer Leistung. Einheit ist lm/W.

⁹² Soweit vorhanden wurde der tatsächliche angegebene Stromverbrauch laut Datenblatt eingesetzt.

⁹³ Typische Werte für Leuchtstoffröhren und Leuchten aus Seminar modul European Energy Manager IHK Bremen 2008.

⁹⁴ Datenblatt OSRAM © SubstiTUBE Advanced 28W/840 1.500mm vom 25.10.2014

⁹⁵ Bei entsprechendem Abstrahlwinkel wird kein Reflektor mehr benötigt.

⁹⁶ Datenblatt © Maxos LED Performer 2017 Philips Lighting Holding B.V.

⁹⁷ Die Treiber für LED-Leuchten sind im Normalfall bereits in das Produkt integriert.

⁹⁸ Datenblatt © Maxos LED Performer 2017 Philips Lighting Holding B.V.

Auch wenn die allerneuesten LED-Röhren im Ersatzbereich die beste Leuchteneffizienz (~ 130 bis 140 lm/W) aufweisen, so ist der absolute Lichtstrom⁹⁹ häufig noch geringer im Vergleich zu den zu ersetzenden Leuchtstoffröhren.¹⁰⁰

Vieles spricht für eine Umrüstung in vorhandenen Kühlmöbeln. Aus wirtschaftlicher Sicht sollten mehrere Kriterien vor einem Leuchtmittelwechsel überprüft werden.

Kriterien für den Beleuchtungswechsel (Checkliste)

Grundsätzlich sind fünf Hauptkriterien für die Wirtschaftlichkeit eines Leuchtmittelwechsels von Bedeutung:

- die eingesetzte Technik, d. h. die System-Leistungsaufnahme der Leuchte (z. B. T8 KVG¹⁰¹ oder T5 mit EVG¹⁰²); je veralteter die Technik, umso wahrscheinlicher ist es, dass sich eine Umstellung lohnt
- die jährliche Brenndauer der Leuchtmittel; je länger die Brenndauer, umso wirtschaftlicher ist es, bei veralteter Technik einen Austausch vorzunehmen
- die Kosten für die Ersatzinvestition; sollten für die neuen LED oder die Umrüstung außergewöhnlich hohe Preise verlangt werden (trifft bei einer UMRÜSTUNG¹⁰³ der Kühlregalbeleuchtung in der Praxis nicht zu), kann die Investition unwirtschaftlich sein
- die Abschreibungsperiode: Wie sind die Abschreibungsmöglichkeiten, d. h. ist das Kühlregal bereits abgeschrieben?
- die geplante Nutzungsdauer (Restnutzungsdauer des Regals bzw. des gemieteten Objektes); falls in einigen wenigen Jahren der Mietvertrag ausläuft oder ein Umzug geplant ist, kann die Investition unwirtschaftlich sein

Begriffe zur Beleuchtungstechnik: Vorschaltgeräte

Für den Start und Betrieb von Leuchtstofflampen wird ein Vorschaltgerät benötigt. Diese Vorschaltgeräte wurden im Lauf der Zeit weiterentwickelt und im Strombedarf optimiert. Die Entwicklung nahm mit den konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) ihren Anfang und setzte sich über verlustarme Vorschaltgeräte (VVG) fort. Seit nun mehr als 30 Jahren sind auch elektronische Vorschaltgeräte (EVG) im Einsatz. Bei LED werden die Vorschaltgeräte als Driver oder Treiber bezeichnet, diese sind immer elektronische Vorschaltgeräte.

Die folgende Abbildung zeigt, dass mit fortschreitender technischer Entwicklung der Vorschaltgeräte die Energieeffizienz der Leuchtmittel¹⁰⁴ steigt.

⁹⁹ Unter Lichtstrom wird die bewertete Leistung, die von einer Lichtquelle ausgeht, bezeichnet. Die Einheit lautet Lumen.

¹⁰⁰ Bei LEDs ist auch die völlig andere Lichtverteilung zu beachten. Vor der Umrüstung ist eine Bemusterung dringend anzuraten.

¹⁰¹ KVG = Konventionelles Vorschaltgerät

¹⁰² EVG = Elektronisches Vorschaltgerät

¹⁰³ Anders beim Kauf neuer Kühlregale, dabei werden gerne überhöhte LED-Kosten angesetzt, da diese im Vergleich zu den Regalgemeinkosten kaum auffallen.

¹⁰⁴ In der Lichttechnik wird ein Leuchtmittel als Lampe bezeichnet. Meist zusammen mit dem Vorschaltgerät befindet es sich in einer Leuchte.

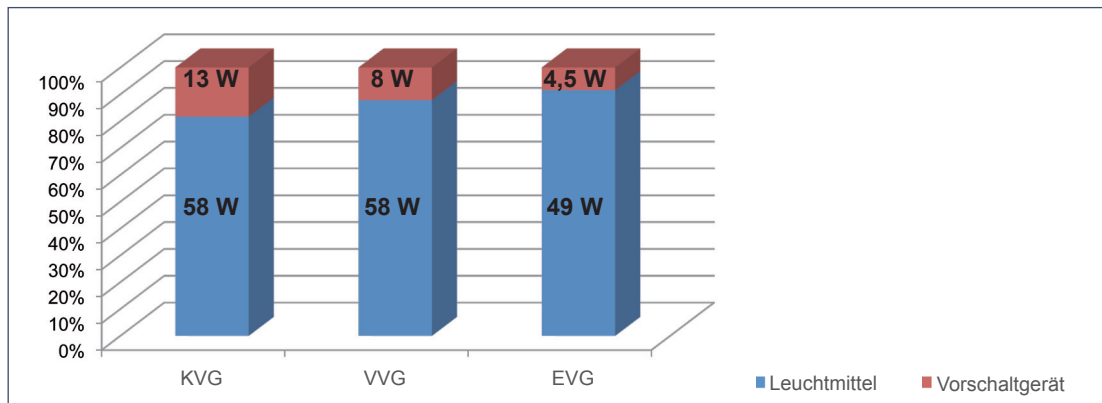


Abbildung 41. Leistungsaufnahme verschiedener Vorschaltgeräte¹⁰⁵

Anmerkung: Sehr alte KVGs (1970er-Jahre) haben Verlustleistungen bis zu 17 W.

Das bedeutet, die Wirtschaftlichkeit einer Umstellung ist immer dann gegeben, wenn die Brenndauer marktüblichen Öffnungszeiten entspricht, die vorhandene Beleuchtungstechnik veraltet (wie z. B. T8 KVG) und der Montagekostenanteil im Verhältnis zu den Leuchtmittelkosten niedrig ist. Dies kann naturgemäß nur auf Basis konkreter Angebote geschehen. Zum Verständnis, worauf bei diesen zu achten ist, sollen die nachstehenden Kapitel beitragen.

4.7.2 Eingesetzte Beleuchtungstechnik

Bei der Beleuchtungstechnik sind in Kühlregalen hauptsächlich folgende Varianten anzutreffen:

- T8-Leuchtstoffröhren (26 mm Durchmesser), mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG)
- T8-Leuchtstoffröhren mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG)
- T5-Leuchtstoffröhren (16 mm Durchmesser), die ausnahmslos an EVG betrieben werden
- LED-Röhren in den unterschiedlichsten Ausprägungen

Am wirtschaftlichsten ist die Umstellung von T8-Leuchtstoffröhren (26 mm Durchmesser) mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) auf LED-Retrofit-Röhren, die in der Regel ohne zusätzlichen Installationsaufwand ausgetauscht werden können. Zur Thematik zwei Praxisbeispiele:

4.7.3 Variante 1: Umstellung TK-Regal T8 KVG zu LED

Praxisbeispiel: Einer unserer Mandanten besitzt einen TK-Schrank, der mit fünf T8-Leuchtstoffröhren bestückt war. Die Leuchtstoffröhren wiesen eine Leistung von 58 W auf und es war ein KVG verbaut.

¹⁰⁵ Die neueste Generation bei Vorschaltgeräten ist das sogenannte elektronische Vorschaltgerät. Durch moderne Leistungselektronik ist es damit möglich, nicht mehr auf einen Eisenkern als Grundkonzept zurückzugreifen, sondern es wird der Weg einer höheren Frequenz eingeschlagen. Ein Leuchtmittel, das mit einem elektronischen Vorschaltgerät betrieben wird, arbeitet nicht mehr mit 50 Hz, sondern bei einer Frequenz von bis zu 50.000 Hz. Der Vorteil, der daraus resultiert, ist, dass die Ladungsträger bei jeder Halbwelle nicht mehr abgebaut werden können, sondern ständig präsent sind. Das Ergebnis des elektronischen Vorschaltgerätes ist ein höherer Lichtstrom bei selber Wattzahl. Es werden damit nicht mehr 58 Watt für dieselbe Helligkeit benötigt, sondern es genügt, die Lampe mit 49 Watt zu betreiben.



Abbildung 42. TK-Schrank mit T8-Leuchtstoffröhre (58 W) und KVG

Die Systemleistung (Röhre und Vorschalteinrichtung) beträgt bedingt durch das KVG 71 W (58 W + 13 W).¹⁰⁶ In Summe liegt der Wärmeeintrag durch die Beleuchtung des TK-Regals bei 0,355 kW. Das hört sich nach wenig an, bei 4.080 Betriebsstunden pro Jahr (Beleuchtung wurde nach Ladenschluss abgeschaltet) und 0,19 Euro/kWh betragen die Beleuchtungskosten 275 Euro/Jahr. Hinzu kommt, dass die eingebrachte Wärme, immerhin knapp 1.500 kWh, abgekühlt werden muss. Bei einer Kälte-Erzeugungsaufwandszahl von 2,2¹⁰⁷ entfallen auf die Kälteanlage 1.500 kWh/2,2 = 680 kWh. Die jährlichen Gesamtkosten für die TK-Regal-Beleuchtung beträgt in Summe rund (1.500 kWh + 680 kWh) • 0,19 EUR/kWh = 410 EUR. Demgegenüber stehen Investitionskosten (einschließlich Installation) von rund 200 Euro für z. B. 23-W-LED-Tubes (Retrofitlösung).

Die jährlichen Gesamtkosten für die Beleuchtung beim Einsatz von fünf 23-W-LED-Tubes betragen rund 110 Euro.¹⁰⁸ Das entspricht in diesem Fall einem Einsparpotential von 68 Prozent. Der Hersteller gibt die Nutzlebensdauer bei 70 % Restlichtstrom mit 40.000 Stunden an. Das entspricht einer Nutzungsdauer von 9 Jahren.¹⁰⁹

Annahmen T8 KVG zu LED	Bestand	Neu
Startjahr		2019
Nutzungsdauer ND [Jahre]	9	9
Kalkulatorischer Zinssatz [%]	2,00	2,00
Nettoinvestition [€]	0,-	200,-
Energiekosten [€ pro Jahr]	410,-	110,-
Steigerung der Stromkosten [%/Jahr]	2	2

Tabelle 17. Annahmen zur Investitionsrechnung – T8 KVG zu LED

¹⁰⁶ Dies sind rechnerische Werte. Es gilt zu beachten, dass es sich technisch gesehen um Niederdruck-Quecksilberdampfentladungslampen handelt. Die Leistungsaufnahme hängt vom Dampfdruck in der Röhre ab und ist besonders bei T8 stark temperaturabhängig.

¹⁰⁷ Bei TK-Möbeln wurde eine Aufwandszahl von 2,2 angesetzt (Kilowatt-Kälteleistung pro Kilowatt elektrische Verdichterleistung; bei -30 °C und +28 °C). Dies ergibt einen umgekehrten Faktor von 0,45!

¹⁰⁸ 0,023 kW • 5 Stück • 4.080 h/a = 469 kWh/a zuzüglich 103 kWh/a durch Wärmeeintrag, die die Kälteanlage kompensieren muss = 572 kWh/a.

572 kWh/a • 0,19 EUR/kWh = 108,68 EUR/a.

¹⁰⁹ Genau sind es 9,8 Jahre.

Ergebnisse T8 KVG zu LED		
Amortisation, statisch [Jahre]	0,7	7 % v. ND
Amortisation, dynamisch, 1,7 % [Jahre]	0,7	8 % v. ND
Kapitalwert 2,0 % [EUR]	2.447,–	
interne Verzinsung [%]	152	
	Bestand	Neu
jährliche Kosten inkl. annuierter Investition [EUR/Jahr]	443	143
jährliche Einsparung [EUR/Jahr]		300

Tabelle 18. Ergebnisse Investitionsrechnung T8 KVG zu LED

Insgesamt betrachtet handelt es sich somit um eine hochlukrative Investition.

4.7.4 Variante 2: Umstellung TK-Regal T8 EVG zu LED

In der zweiten Variante nehmen wir an, dass der bereits beschriebene TK-Schrank anstelle T8 KVG neuere T8-EVG-Leuchtröhren verbaut hätte.

In diesem Fall sinkt die Systemleistung von 71 W auf 53,5 W. Bei fünf Röhren und 4.080 Betriebsstunden liegt der Beleuchtungs-Strombedarf bei 1.090 kWh/a. Die abgeführte Wärmeleistung durch die Kälteanlage sinkt auf 500 kWh/a. Der Strombedarf der Beleuchtung beträgt damit 1.590 kWh/a bzw. 300 EUR/a.

Annahmen T8 EVG zu LED	Bestand	Neu
Startjahr	2019	
Nutzungsdauer ND [Jahre]	9	9
Kalkulatorischer Zinssatz [%]	2,00	2,00
Nettoinvestition [€]	0,–	200,–
Energiekosten [€ pro Jahr]	300,–	110,–
Steigerung der Stromkosten [%/Jahr]	2	2

Tabelle 19. Annahmen zur Investitionsrechnung – T8 EVG zu LED

Ergebnisse T8 EVG zu LED		
Amortisation, statisch [Jahre]	1,1	12 % v. ND
Amortisation, dynamisch, 1,7% [Jahre]	1,1	12 % v. ND
Kapitalwert 2,0 % [EUR]	1.476,–	
interne Verzinsung [%]	96,7	
	Bestand	Neu
jährliche Kosten inkl. annuierter Investition [EUR/Jahr]	324	143
jährliche Einsparung [EUR/Jahr]		181

Tabelle 20. Ergebnisse Investitionsrechnung T8 EVG zu LED

Auch in diesem Beispiel handelt es sich somit um eine hochlukrative Investition. Aber wie würden sich die Werte verändern, wenn es sich um ein NK-Regal handeln würde?

4.7.5 Variante 3: Umstellung NK-Regal T8 EVG zu LED

Für den Fall, dass es sich um ein NK-Regal handeln würde, ergibt sich folgendes Bild:

Beleuchtungs-Strombedarf:	1.090 kWh/a
Kühlung der Wärme:	$1.090 \text{ kWh/a} / 3,65^{110} = 299 \text{ kWh/a}$
Kosten Beleuchtung:	$1.390 \text{ kWh/a} \cdot 0,19 \text{ EUR/kWh} = 264 \text{ EUR/a}$

Die statische Amortisation beträgt in diesem Fall 1,3 Jahre, der Kapitalwert liegt bei 1.159 EUR und die interne Verzinsung beträgt 79 %.

Für den Fall, dass die Beleuchtung außen liegt, steigt die Amortisation auf 2,1 Jahre und der Kapitalwert sinkt auf 656 EUR. Die interne Verzinsung liegt noch immer bei stolzen 48,9 %.

4.7.6 Variante 4: Umstellung Kühlregal T5 zu LED

Praxisbeispiel: Ein anderer Mandant wandte sich an uns, da ein Leuchtmittelverkäufer T5-Röhren in NK-Regalen wechseln wollte und ein Einsparpotential von mehr als 60 Prozent bei einer Amortisationszeit unter drei Jahren in Aussicht stellte.

In Summe waren in den NK-Regalen 42 T5-Röhren mit 21 W und 23 W verbaut. Der Strombedarf für die Beleuchtung lag bei 5.700 kWh bzw. 1.083 EUR/a. Wird der Wärmeeintrag mit 1.560 kWh berücksichtigt, betragen die Beleuchtungskosten im Ist-Zustand rund 1.380 Euro/Jahr. Das Angebot des Leuchtmittelverkäufers beinhaltete LED-Tubes mit 12 W und 16 W. In Summe lag der neue Strombedarf bei 2.700 kWh/a. Unter Berücksichtigung des Wärmeeintrags betragen die LED-Kosten 626 Euro/Jahr. Die Einsparung lag mit 55 Prozent etwas unter dem ausgelobten Wert. Dem gegenüber standen Investitionskosten in Höhe von rund 4.800 EUR.

Die Investitionsrechnung führte zu einer internen Verzinsung von 9,2 %, einem Kapitalwert von 1.800 Euro und einer Amortisationszeit von 6,5 Jahren. Im konkreten Fall mussten wir von der Investition aus folgenden Gründen abraten:

- Einer Amortisation von mehr als 6 Jahren steht eine Gewährleistung von lediglich 5 Jahren gegenüber.
- Beim Kauf von LED-Leuchtmitteln sollte besonders auf Qualität geachtet werden, d. h., auf vorhandene Zertifikate wie VDI oder ENEC darf nicht verzichtet werden. Im vorliegenden Fall lagen keine qualitätsbestimmenden Zertifikate vor.

Von den bislang von uns geprüften Beleuchtungsangeboten wiesen rund 90 % zum Teil deutliche Abweichungen zu unseren Berechnungen auf. Sichtbar wird in den Beispielen, dass in Extremfällen bei Kühlmöbeln beleuchtungstechnisch ein Einsparpotential von 60 % und mehr möglich ist, im Normalfall jedoch nicht. Wird der Wärmeeintrag in das Kühlmöbel nicht berücksichtigt, liegen im Regelfall die Einsparungen deutlich unter 50 %. Eine fünfmal längere

¹¹⁰ Bei NK-Möbeln wurde unter der Annahme, dass sich die Beleuchtung innerhalb des kalten Möbels befindet, eine Aufwandszahl von 3,65 angesetzt (Kilowatt-Kälteleistung pro Kilowatt elektrische Verdichterleistung; bei -10 °C und +28 °C). Dies ergibt einen umgekehrten Faktor von 0,27.

Lebensdauer von LEDs gegenüber herkömmlichen T8-Leuchtstoffröhren, wie in der Literatur immer wieder zu finden, ist fiktiv.¹¹¹ Die Nutzlebensdauer von LED-Röhren wird von seriösen Anbietern mit 40.000 bis 50.000 Stunden angegeben, das entspricht etwa dem dreifachen von T8 KVG und dem zweieinhalbfachen von T8 EVG. Da die Garanzzeit von LED im Normalfall auf fünf Jahre begrenzt ist, helfen hohe Angaben von theoretischen Nutzlebensdauern dem Einzelhändler nicht wirklich weiter.

4.7.7 LED: Wohin geht die Reise?

Mancher Marktinhaber fragt sich, ob er nicht auf noch bessere Leuchtmittel warten sollte. Nach unserer Einschätzung ist diese Frage inzwischen nicht mehr relevant. Wenn eine Investition innerhalb von 5 Jahren ausreichend attraktiv ist, sollte damit nicht mehr gewartet werden.

Resümee zur Frage: Lohnt sich ein Beleuchtungswechsel bei alten Kühlregalen?

- Was ist die Motivation? In der Regel ist nicht das ökologische Gewissen die treibende Kraft, sondern es sind allein wirtschaftliche Überlegungen.
- Moderne LEDs können auf allen Gebieten punkten.
- Wichtig ist, dass innerhalb der Garanzzeit der Break-even erreicht wird.
- Fünf Hauptkriterien sind für die Wirtschaftlichkeit eines Beleuchtungswechsels von Bedeutung:
 - die System-Leistungsaufnahme der Leuchte (T8/T5/EVG/VVG/KVG)
 - die jährliche Brenndauer der Leuchtmittel
 - die Kosten für die Ersatzinvestition
 - die Abschreibungsmöglichkeiten
 - die Restnutzungsdauer des Regals, des Marktes
- Der Austausch von T8-Leuchtmitteln weist interne Verzinsungen von 50 % und mehr auf und ist hochlukrativ.
- Der Austausch von T5-Leuchtmitteln amortisiert sich in der Regel nicht innerhalb der Gewährleistungsfrist und sollte besonders kritisch hinterfragt werden.
- LED-Leuchtmittel, die nicht über Qualitätszertifikate wie VDI oder ENEC verfügen, sollten ohne triftige Gründe nicht verbaut werden.

¹¹¹ Eine Leuchtstofflampe mit KVG-Betrieb kann sehr lange funktionieren, Techniker im LEH wissen das. Einige hochgelobte LEDs aber sind manchmal überraschend früh am Lebensende. Viele Lebensdauerangaben der Hersteller sind heutzutage Marketingaussagen und keine verlässlichen Angaben. Deshalb ist ein wiederkehrender Hinweis auf die Garantie der einzig brauchbare Weg.

5

**INFORMATIONEN ÜBER
ENERGIEEFFIZIENTE
GERÄTE**



Dr. Steinmaßl
MANAGEMENTBERATUNG

Wer sich herstellerunabhängig über energieeffiziente Geräte informieren möchte, dem sei die Webseite <http://www.topten.eu> empfohlen.

Abbildung 43. Startseite „www.topten.eu“

Unter der Rubrik „Professional Refrigerators“ finden sich beispielsweise die besten Kühlmöbel innerhalb einer festgelegten Gerätegruppe. Es kann dort nicht nur nach gewerblichen Kühlmöbeln, sondern auch nach anderen besonders energieeffizienten Gerätetypen gesucht werden. Die jeweils besten Geräte innerhalb bestimmter Gruppen werden dort vergleichend aufgeführt. Die Informationen wurden, soweit nachvollziehbar, durch EU-finanzierte Projekte zusammengetragen. Alle üblichen steckerfertigen Verkaufskühlmöbel sind dort in verschiedenen Kategorien aufgeführt.






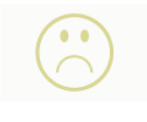
Cars	Household	Lighting	Office Equipment	Consumer Electronics	Building Components	Professional Refrigerators
You are here: Home » Professional Refrigerators » Vertical Display Freezers						
Recommendations Refrigerated Display Cabinets <input checked="" type="checkbox"/> Selection Criteria Refrigerated Display Cabinets XLS Download						
<input type="checkbox"/> compare <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>						
     						
Brand	AHT	AHT	Carrier	Carrier	Inefficient model	
Model	KINLEY 250XL (-) VS AD LED	KINLEY 210XL (-) VS AD LED	Velando CS 1780LGE	Velando CS 2580LGE		
Electricity costs (€ in 8 years)	7755	6867	14893	22776	28384	
Total display area (m2)	2.01	1.67	2.03	3.07	2.1	
Net volume (liters)	758	630	995	995	700	
Storage temperature (°C)	-18...-23	-18...-23	-12...-24	-12...-24	-18...-25	
Temperature class	L1 (-15...-18°C)	L1 (-15...-18°C)	L1 (-15...-18°C)	L1 (-15...-18°C)	L1 (-15...-18°C)	
Climate class	3 (25°C, 60% RH)	3 (25°C, 60% RH)	3 (25°C, 60% RH)	3 (25°C, 60% RH)	3 (25°C, 60% RH)	
Draft energy index	28.3	29.1	53.9	58.1	100.0	
Energy (kWh/year)	4'847	4'292	9'308	14'235	17'740	
Refrigerant	R290	R290	R290	R290	R404A	
Cooling	Forced-air	Forced-air	Forced-air	Forced-air	Forced-air	
Countries available	EU	EU	EU	EU	EU	

Abbildung 44. topten.eu: Die besten Kühlmöbel

Nr.	Bezeichnung	Seite
1.	Messgerät PCE.....	18
2.	Fluke 1735.....	18
3.	Kyoritsu 6305.....	18
4.	Drehstromzähler.....	18
5.	E-Logger4000.....	19
6.	Energierrelevante Komponente eines Kühlregals.....	22
7.	Leistungszahl 2,5, Energiebilanz eines Wandkühlregals.....	23
8.	Wärmebilanz eines älteren Kühlregals.....	23
9.	Echtfarbenbild Kühlregal.....	24
10.	Wärmebild Kühlregal.....	24
11.	Echtfarbenbild Eck-Kühlregal.....	24
12.	Wärmebild Eck-Kühlregal.....	24
13.	Typischer Messaufbau in älteren Unterverteilungen.....	28
14.	Strombedarf Kühlregale nach Auswertung von 200 Märkten.....	29
15.	Ausstattung Vollsortimenter mit NK-Regalen.....	30
16.	Zinssatz und interne Verzinsung, Regaltausch.....	32
17.	Investition und Kapitalwert im Vergleich, Regaltausch.....	33
18.	Dyn. Amortisation und Nutzungsdauer, Regaltausch.....	33
19.	Lichtfarben.....	39
20.	F-Gase-Verordnung für Einzel- und Verbundanlagen.....	52
21.	Fließbild zu Verboten und Beschränkungen.....	54
22.	Kühlregal: Glastüren.....	57
23.	Kühlregal: Nachtrollo.....	57
24.	Lastgang eines steckerfertigen offenen Kühlregals.....	57
25.	Lastverlauf vor und nach der Installation der Drehtüren.....	61
26.	Einfluss des Raumklimas auf die Entfeuchtungsleistung.....	64
27.	Experiment Lüftungsanlage Supermarkt.....	67
28.	Beispiel Wärmebilanz Vollsortimenter.....	70
29.	Typische Wärmebilanz „Discounter“.....	72
30.	Kälteleistung eines offenen 3,75-m-Kühlregals.....	73
31.	Typisches Klima-Splitgerät zum Nachrüsten.....	74
32.	Altes Kühlregal, Leistung Ventilatorlüfter 192 W.....	76
33.	Neues Kühlregal, Leistung Ventilatorlüfter 42 W.....	76
34.	Alter Ventilatormotor.....	77
35.	Einbau im Kühlmöbel.....	77
36.	Katalogwerte Spaltnotor.....	77
37.	Technische Daten Baureihe ELCO EC-Motoren.....	78
38.	Zinssatz und interne Verzinsung – Ventilatormotoren.....	81
39.	Investition und Kapitalwert im Vergleich – Ventilatormotoren.....	81
40.	Dyn. Amortisation und Nutzungsdauer – Ventilatormotoren.....	82
41.	Leistungsaufnahme verschiedener Vorschaltgeräte.....	86
42.	TK-Schrank mit T8-Leuchtstoffröhren (58 W) und KVG.....	87
43.	Startseite „www.topten.eu“.....	92
44.	topten.eu: Die besten Kühlmöbel.....	93

Nr.	Bezeichnung	Seite
1.	Ergebnis Verbrauchsmessung älterer Kühlregale.....	28
2.	Annahmen zum Erreichen der Gewinnschwelle.....	31
3.	Annahmen Investitionsrechnung Break-even im LEH.....	32
4.	Ergebnisse Investitionsrechnung Break-even im LEH.....	32
5.	Zahlungsplan Ersatzinvestition Regaltausch.....	34
6.	Annahmen Investitionsrechnung Türen neue Regale.....	37
7.	Ergebnisse Investitionsrechnung Türen neue Regale.....	37
8.	Relative Strombedarfsunterschiede von Kältemitteln.....	44
9.	Überblick Effizienz von Kältemitteln mit Anlage.....	46
10.	Überblick Einsparungspotential von Türen.....	59
11.	DIN EN 13779, Begrifflichkeiten Klimaanlage.....	63
12.	Zusätzliche Einsparung durch effiziente Ventilatorlüfter.....	80
13.	Annahmen zur Investitionsrechnung – Ventilatormotoren.....	80
14.	Ergebnisse Investitionsrechnung – Ventilatormotoren.....	81
15.	Zahlungsplan Ersatzinvestition – Ventilatormotoren.....	82
16.	Lichttechnische Vergleichsparameter häufiger Leuchten.....	84
17.	Annahmen zur Investitionsrechnung – T8 KVG zu LED.....	87
18.	Ergebnisse Investitionsrechnung T8 KVG zu LED.....	88
19.	Annahmen zur Investitionsrechnung – T8 EVG zu LED.....	88
20.	Ergebnisse Investitionsrechnung T8 EVG zu LED.....	88

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

F-Gase	fluorierte Treibhausgase
ggf.	gegebenenfalls
LEH	Lebensmitteleinzelhandel
lfd.	laufend
lfm	laufender Meter
ND	Nutzungsdauer
NK	Normalkühlung (Plus-Kühlung, ≥ 0 °C bis 10 °C)
TK	Tiefkühlung (≤ -18 °C)
LED	Licht emittierende Diode
Mopro	Molkereiprodukte
p. a.	per anno
v. M.	vom Messwert
v. ME	vom Messergebnis
z. B.	zum Beispiel
d. h.	das heißt
VK	Verkaufsfläche
ppm	parts per million, d. h. Anteile pro Million
:=	wird per Definition gleich gesetzt



Dr. Steinmaßl

MANAGEMENTBERATUNG

BASIS-STUDIE

KÜHLREGALE IM LEH

LEITFADEN FÜR EINEN EFFIZIENTEN BETRIEB

ANHANG

Anlagen zur Studie

	ANLAGEN ZUR STUDIE.....	97
1	VERGLEICHSMESSUNGEN	100
1.1	GLOBUS Erfurt	100
1.1.1	Datenbasis.....	100
1.1.2	Interpretation der Messergebnisse.....	101
1.2	Einordnung der HAUSER-Studie.....	102
1.2.1	Allgemeines zur HAUSER-Studie.....	102
1.2.2	Einfluss der Türöffnungsfrequenz auf den Energiebedarf.....	102
1.2.3	HAUSER-Studie Jahres-Gesamtenergiebedarf.....	104
1.3	Messung Kühlregal und Temperaturen „Aindling II“	104
1.4	Messung Kühlregal und Temperaturen „Aindling I“.....	107
1.5	Messung Kühlregal und Temperaturen „Aindling IV“.....	109
1.6	Messung MoPro-Regal.....	111
1.7	Messung Kühlregale an Verbundanlage „Würzburg I“.....	114
1.8	Messung MoPro-Regal „Würzburg II“	117
1.9	Messung Wurstregal „Würzburg III“	120
1.10	Messung Fleischregal mit Türen „Würzburg IV“	123
1.11	Messung Regal „Frankfurt“.....	125
1.12	Messung 27,5-m-Regal „Weinsberg“	129
1.13	Messung Regal „Ulm“	131
1.14	Messung Regal „München“	133
2	EINSPARUNG REGALE MIT TÜREN	135
2.1	Einfluss von Temperatur Kühlregal und Umgebungsklima.....	136
3	DER IDEALE KÄLTEPROZESS	138
4	ÖFFNUNGSZEITEN KÜHLREGALE	140
4.1	Beispiel Ermittlung der Besuchsfrequenz eines Marktes.....	141
5	ENTFEUCHTUNG DER LUFT IM KÜHLREGAL	142
6	KLIMA IM MARKT	143
7	BEDINGUNGEN KÄLTEMITTEL/KÄLTEANLAGE	145
7.1	Referenzklima.....	145
7.2	Kondensationstemperaturen.....	145
7.3	Sonstige Randbedingungen.....	146
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS – ANHANG.....	147
	TABELLENVERZEICHNIS – ANHANG.....	148
	DANKSAGUNG.....	149
	Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG.....	151

1.1 GLOBUS Erfurt

1.1.1 Datenbasis

Die Messungen wurden an vier verfügbaren Regalen über drei Monate durchgeführt.

Vergleichende Messung Plug-in-Kühlregale	Regal-1 Nachttollo	Regal-2 Nachttollo	Regal-3 Glastüren	Regal-4 Nachttollo
Eingestellte Temperatur (°C)	(+3°–+6°)	(+3°–+6°)	(+2°–+5°)	(+1°–+2°)
Temperatur-Klasse nach DIN 23953	M2	M1	M1	M2
Breite Regal [m]	1,87	1,87	1,87	1,87
Leistung Ventilatoren Umluft [W]	272	105	235	278
Leistung Licht (Messung) [W]	44	28	3	28
Abtauleistung (Messung) [W]	1.000	760	875	976
Anteil an Abtauzeit Betriebszeit [%]	3,9	5,4	6,0	9,0
Elektr. Kälteleistung Rollo offen [W]	506	486	352	688
Elektr. Kälteleistung Rollo zu [W]	374	366	322	472
Jahresverbrauch Basis 09.01.–22.01. [kWh]	6.577	5.342	5.373	8.499
Jahresverbrauch Basis 08.02.–03.03. [kWh]	6.760	5.710	5.720	8.769
Jahresverbrauch mit Korrekturen [kWh]	6.965	6.122	6.108	9.071
Korrigierter Jahresverbrauch pro Meter	3.724	3.274	3.266	4.851

Tabelle 1. Übersicht Ergebnisse Messung steckerfertige Kühlregale

Um den Einfluss des örtlichen Klimas zu erfassen, wurden zwei Perioden von je 14 Tagen ausgewertet, und zwar vom **09.01.2017 bis 22.01.2017** und vom **18.02.2017 bis 03.03.2017**. Die Perioden unterscheiden sich signifikant in Temperatur und Feuchte des lokalen Klimas.

Im Mittel herrschten auf Basis der Wetterstation Erfurt **-2,6 °C** und **2,65 g/kg Luftfeuchte** und **+5,6 °C** und **4,25 g/kg Luftfeuchte**. Damit ist auch von unterschiedlichen Feuchtebedingungen im Verkaufsraum auszugehen. Für eine Hochrechnung des Jahresverbrauchs wurde daher eine Klimakorrektur vorgenommen. Die Zunahme der Verbrauchswerte von **2,65 g/kg Luftfeuchte** auf **4,25 g/kg Luftfeuchte** wurde auf eine mittlere Jahres-Außenluftfeuchte von **6,04 g/kg** aller TRY¹-Klimazonen interpoliert.

Eine stichprobenartige Untersuchung zeigt, dass 75 % der Verbrauchszunahme geöffneten und 25 % geschlossenen Rollos zuzuordnen sind. Bei dem Regal mit Türen wurden keine Unterschiede gemacht. Die Öffnungszeit der mit Rollos versehenen Regale beträgt ca. 94 h/ Woche oder ca. **55 % Öffnungsgrad** auf Jahresbasis.

¹ TRY = Test-Referenz-Jahr

1.1.2 Interpretation der Messergebnisse

Die Differenz im Energieverbrauch für die Kälteerzeugung der beiden auf ca. **3 °C** eingestellten Kühlregale ist mit ca. **3,25 %** relativ gering. Der größere Unterschied im gesamten Jahresverbrauch von ca. **10 %** ist auf die unterschiedliche Ausstattung der Regale (Licht, Lüfter etc.) zurückzuführen. Stärker macht sich eine geringer eingestellte Temperatur im Regal bemerkbar. Regal 4 ist mit **1 °C** gegenüber den Regalen 1 und 2 im Mittel um ca. **2 °C** kälter eingestellt. Dies führt zu einem ca. **11 %** höherem Aufwand für die Kälteerzeugung.

Unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Korrekturen ergeben sich folgende Werte für den Vergleich des geschlossenen zu den tagsüber offenen Regalen.

		Regal-1 Nacht- rollo	Regal-2 Nacht- rollo	Regal-3 Türen	Regal-4 Nacht- rollo	Fiktiv Regal 5 Nacht- rollo auf +2° korri- giert
Soll-Temperatur (°C)		(+3°–+6°)	(+3°–+6°)	(+2°–+5°)	(+1°–+2°)	(+2°–+5°)
Breite Regal	[m]	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87
Leistung Lüfter aus Messung	[W]	272	105	235	278	233
Leistung Licht (Messung)	[W]	44	28	3	28	3
Verdichterleistung Tag 6,04 g/kg Luftfeuchte	[W]	566	607	436	777	682
Verdichterleistung Nacht 6,04 g/kg Luftfeuchte	[W]	399	415	406	508	458
Jahreswert Einsparung Regal Türen 52 % Öffnungszeit	kWh/ m•a	373	445	714	632	524

Tabelle 2. Auswertung Vergleichsmessung steckerfertige Kühlregale

Es stellte sich die Frage, mit welchem Möbel das mit Glastüren verschlossene Regal mit einer eingestellten Temperatur von ca. **2 °C** zu vergleichen ist. Gewählt wurde eine Vorgehensweise, die einen Vergleichswert aus dem Mittelwert der beiden Regale mit 3 °C/50 % mit dem auf 1 °C eingestellten Regal bildet. Auf dieser Basis ergibt sich eine jährliche Einsparung pro Meter Regal von ca. **524 bis 714 kWh/lfm•a**.

1.2 Einordnung der HAUSER-Studie

1.2.1 Allgemeines zur HAUSER-Studie

Die HAUSER GmbH aus Linz hat mit ihrer Studie „Energieeinsparung bei Supermärkten – GLASTÜREN bei Kühlmöbeln“ ein Stück weit Pionierarbeit geleistet.

Eine Schwierigkeit besteht darin, dass in Deutschland Kühlregale mit Nachtabdeckung Standard und damit Ausgangspunkt aller Betrachtungen sind.

In der sehr aufwendig und sorgfältig durchgeführten Studie von Herrn Andi Schauer, dem Autor der HAUSER-Studie, sind leider keine Daten für vollständig geschlossene Regale veröffentlicht.

Die Einsparungen in der HAUSER-Studie werden auf offene Regale bezogen. Für nachts geschlossene Regale wird keine Einsparung gegenüber üblichen Nachtrollos angenommen.

Für eine Einordnung des Jahres-Gesamtverbrauchs musste der Wert für vollständig geschlossene Regale daher aus den vorhandenen Daten interpoliert werden. Die Temperaturen im Regal wurden in der Studie von HAUSER, wie in der Norm vorgesehen, über die Temperatur der im Kühlregal befindlichen Norm-Pakete ermittelt. Diese Vorgehensweise ist bei Praxismessungen vor Ort in einem Markt nicht möglich. Dort wird in aller Regel die aus dem Kühlregister ausströmende Lufttemperatur erfasst.

1.1.2 Einfluss der Türöffnungsfrequenz auf den Energiebedarf

Der Energiebedarf wird über die offenen Türen und eindringende abzukühlende und zu entfeuchtende Luft bestimmt. Die Daten aus der HAUSER-Studie zeigen den nachstehenden Zusammenhang zwischen auskondensierter Luftfeuchte und dem Leistungsbedarf der Kälteerzeugung.

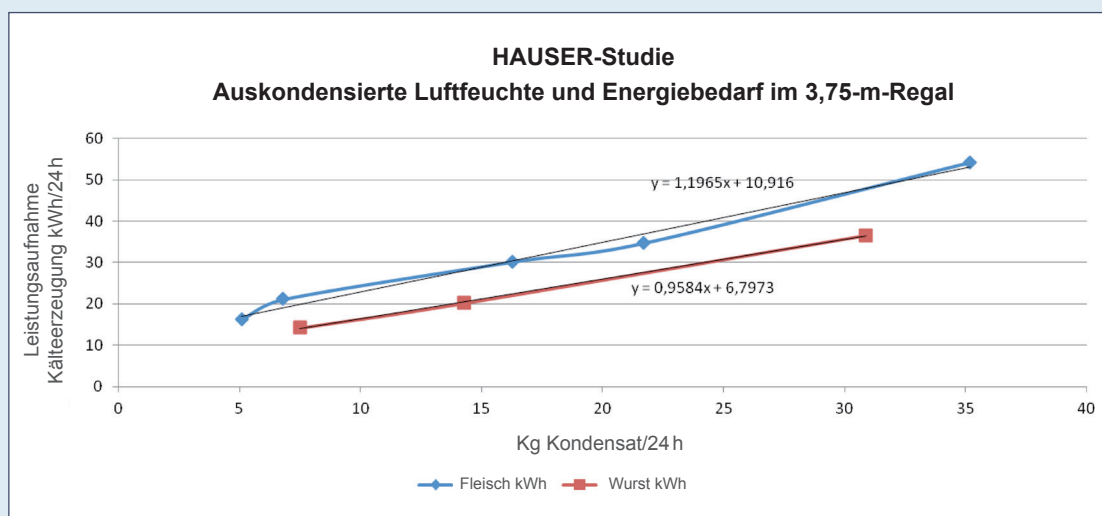


Abbildung 1. Auskondensierte Luftfeuchte und Energiebedarf

Der Zusammenhang entspricht der Erwartung. Je mehr Luft in das Regal eindringt, desto mehr Energie muss für die Abkühlung und Entfeuchtung aufgewandt werden. Der Zusammenhang ist weitestgehend proportional.

Offen bleibt noch die Frage, wie die eindringende Menge Luft im Zusammenhang mit der Türöffnungsfrequenz steht. Diese kann indirekt über die mit der infiltrierenden Luft eindringende Feuchtigkeit beantwortet werden.

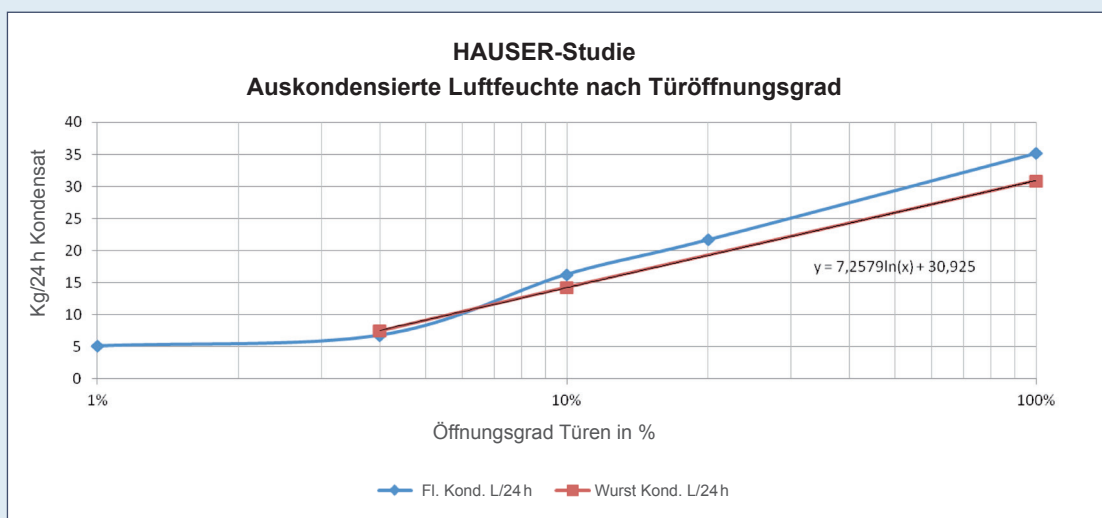


Abbildung 2. Auskondensierte Feuchte und Türöffnungsgrad

In der Darstellung findet sich rechts mit 100 % das vollständig offene Regal bzw. das Regal ohne Türen. Links würde sich mit 0 % das vollständig geschlossene Regal befinden. Da 0 % in einer logarithmischen Darstellung nicht möglich sind, bricht die Darstellung bei 1 % ab. Die Kurve des kälteren Regals für Fleisch liegt erwartungsgemäß weitestgehend oberhalb der Kurve des wärmeren Wurstregals. Bei 4 % Öffnungsgrad sind die Werte etwa gleich. Unterhalb von 1 % ist praktisch keine Änderung mehr festzustellen.

Damit können die Werte für 1 % Öffnungsgrad einem geschlossenen Regal gleichgesetzt werden.

Der Energiebedarf für ein (nachts) geschlossenes Regal kann daher über die Funktion Energieverbrauch zu auskondensierter Feuchte (bei 1 % Öffnungsgrad) interpoliert werden. Wie der Grafik „Auskondensierte Feuchtigkeit und Türöffnungsgrad“ zu entnehmen ist, spielt die Öffnungsfrequenz unter 4 % keine nennenswerte Rolle. Ob nun 1 % oder 4 % Öffnungszeit, es hat in der Praxis offensichtlich keinen wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf.

1.2.3 HAUSER-Studie Jahres-Gesamtenergiebedarf

	HAUSER „Wurst“ 100 % offen	HAUSER „Wurst“ mit Türen 1 % auf	HAUSER „Fleisch“ 100 % offen	HAUSER „Fleisch“ mit Türen 1 % auf
Zulufttemperatur auf Basis des kältesten Paketes Bandbreite Pakete:	-0,8 (-0,8°–+6,8°)	-0,8 (-0,8°–+6,8°)	-2,2 (-2,2°–+6,3°)	-2,2 (-2,2°–+6,3°)
Mittlere Temperatur und Raumfeuchte	21 °C und 50 % relative Feuchte = 7,7 g/kg			
Temperatur-Klasse nach DIN 23953	M2	M2	M1	M1
Breite Regal [m]	3,75	3,75	3,75	3,75
Leistung Licht (Schätzung) [W]	85	85	85	85
Leistung Lüfter (Differenz zu Licht) [W]	145	145	174	174
Kälteleistung (elektrisch) [W]	1.521	483	2.258	675
Kälteleistung/a 55 %/45 % [kWh/ a•m]	2.459		3.607	
Spezifischer Gesamtverbrauch pro Meter bei 55 %/45 % [kWh/ a•m]	2.907		4.123	
Spezifische Einsparung Türen bei maximal 1 % Öffnungs- grad pro Meter bei 55 %/45 % [kWh/ a•m]	1.333		2.034	

Tabelle 3. Zusammenfassung Ergebnisse HAUSER-Studie

1.3 Messung Kühlregal und Temperaturen „Aindling II“

Bei Messungen in der betrieblichen Praxis kommt es immer wieder zu Überraschungen. So lassen die Umstände eines „alten Schätzchens“ zunächst Schlimmes vermuten. Das Ergebnis ist jedoch zunächst das Gegenteil.



Abbildung 3. Kühlregal „A II“ mit Verdichter aus 1979

Die ursprünglich auf das inzwischen verbotene Kältemittel R22 ausgelegte Einzelanlage verflüssigt im Maschinenraum bei ca. +10 °C. Dies ist im Vergleich zu üblichen 28 °C bis 35 °C sehr niedrig (Winterbetrieb).

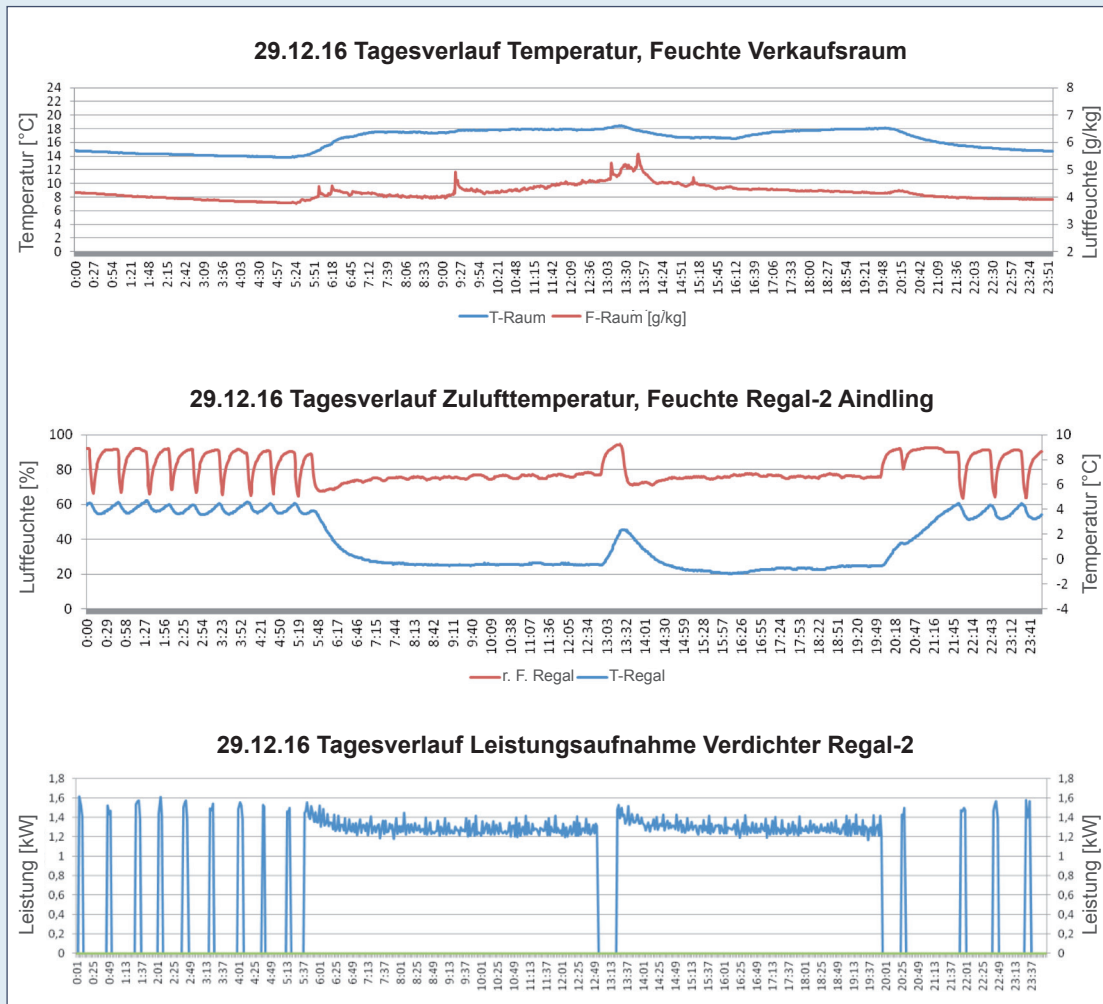


Abbildung 4. Leistungsaufnahme, Temperaturen, Feuchte, Regal-2

Die Kälteanlage schaltet bei geöffneten Rollos nicht ab, sondern der Verdichter läuft kontinuierlich durch. Dadurch stellt sich tagsüber eine relativ geringe Temperatur der Zuluft von -0,7 °C ein. Eine Verflüssigung im Maschinenraum benötigt einen relativ hohen Aufwand für Fremdbelüftung. Dieser kann, da durch viele Anlagen gemeinsam genutzt, nur pauschal mit Erfahrungswerten berücksichtigt werden.

Die verschiedenen Hochrechnungen für einen Gesamtjahresstrombedarf berücksichtigen höhere Verflüssigungstemperaturen im Sommer, Aufwand für Fremdbelüftung des Maschinenraums und eine begrenzte Zunahme der Kälteerzeugung aufgrund des höheren Raumklimas. All das wird vorgenommen, um einen Abgleich mit dem Gesamtjahresenergiebedarf des Marktes vornehmen zu können. Die mögliche Einsparung für Türen vor dem Regal wird einmal auf Basis des „Winterbetriebs“ und einmal auf Basis einer Hochrechnung des ganzjährigen Verbrauchs abgeschätzt.

Das sehr günstige Ergebnis des Gesamtstrombedarfs von **1.721 kWh/lfm•a** wird vermutlich durch die relativ kühle und bereits trockene Umgebungsluft verursacht. Die Hochrechnung auf ein mittleres Jahresklima führt mit **2.674 kWh/lfm•a** zu einem immer noch scheinbar günstigen Ergebnis, da der Verdichter bei geöffnetem Rollo bereits am Anschlag arbeitet. Es ist daher davon auszugehen, dass die Temperaturen im Regal im Sommer deutlich außerhalb der Zielvorgabe von $< +7\text{ °C}$ in der Rückluft liegen. Die Anhebung der Regaltemperatur bei geschlossenem Rollo ist energiesparend und bei einfachen Anlagen selten zu beobachten!

Messung/Parameter/Ort		Aindling II
Regaltemperatur Zuluft offen/Tag	[°C]	-0,7
Regalfeuchte Zuluft ohne Abdeckung, Erfahrungswert (Mittel)	[g/kg][%]	80 %
Regal/Zulufttemperatur/Nacht, Annahme	[°C]	3,8
Regal/Zuluftfeuchte/Nacht	[g/kg][%]	82 %
Raumtemperatur/Tag	[°C]	16,8
Raumfeuchte/Tag	[g/kg][%]	35 %
Raumtemperatur/Nacht	[°C]	14,5
Raumfeuchte/Nacht	[g/kg][%]	38 %
Mehrbedarf für Wärmeleitung ($T_u = 21\text{ °C}$) auf Basis Nachttemp.		102,8 %
Jahreswert Kälteerzeugung für Wärmeleitung (Hochrechnung)	[kWh/a]	3.873
Anteil Kälteerzeugung für Infiltration (direkte Messung 52 % offen)	[kWh/a]	1.854
Mehrbedarf Kälteerzeugung für Infiltration (aus Saldo/Interp.)		ausgelastet
Annahme mittleres Jahres-Raumklima	[°C; % r. F.]	21; 50
Kältemittel		R409A
Verdichter-Kapazität	[m³/h]	12,9
Messperiode von/bis		27.12.–10.01.17
Temperatur-Klasse des Kühlregals nach DIN 23953		k. A.
Nutzbreite Regal	[m]	3,75
Leistung Licht (Datenaufnahme)	[W]	114
Abtauleistung (Messung)	[W]	Umluft
Abtauzeit/Betriebszeit	[%]	Umluft
Begleitheizungen	[W]	49
Leistung Lüfter für Umluft im Kühlregal	[W]	114
mittlere Kälteleistung (el) Regal ohne Nachtdeckung	[kW]	0,658
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo offen (Hochrechnung)	[kW]	1,10
Kälteleistung (el) Rollo zu (Nacht) gemessen	[kW]	0,218
Kälteleistung (el) Rollo zu korrigiert auf $T_{u, \text{Tag-Messperiode}}$	[kW]	0,25
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo zu (Hochrechnung)	[kW]	0,55
spezifischer Verbrauch Regal (Messung 52 % offen)	[kWh/m•a]	1.759
Lüfter-Verflüssiger-Schätzung 10 % der Verdichterleistung	[kWh/a]	735
spezifischer Verbrauch Regal (21 °C, 50 %) TRY-Zone 13	[kWh/m•a]	2.674
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Messung	[kWh/m•a]	468
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Jahresklima	[kWh/m•a]	642
Jahres-Arbeitszahl der Kälteerzeugung ca.	[kWh _{th} /kW _{hel}]	5,25

Tabelle 4. Ergebnisse Messung Kühlregal „Aindling II“

1.4 Messung Kühlregal und Temperaturen „Aindling I“

Diese Einzelanlage ist am gleichen Innen-Verflüssiger im Maschinenraum wie die Anlage Aindling II angeschlossen. Die Kondensationstemperaturen sind daher vergleichbar, wie aus der Charakteristik der Lastgänge der Verdichter hervorgeht.



Abbildung 5. Kühlregal „Aindling I“ mit Einzelanlage aus 1979

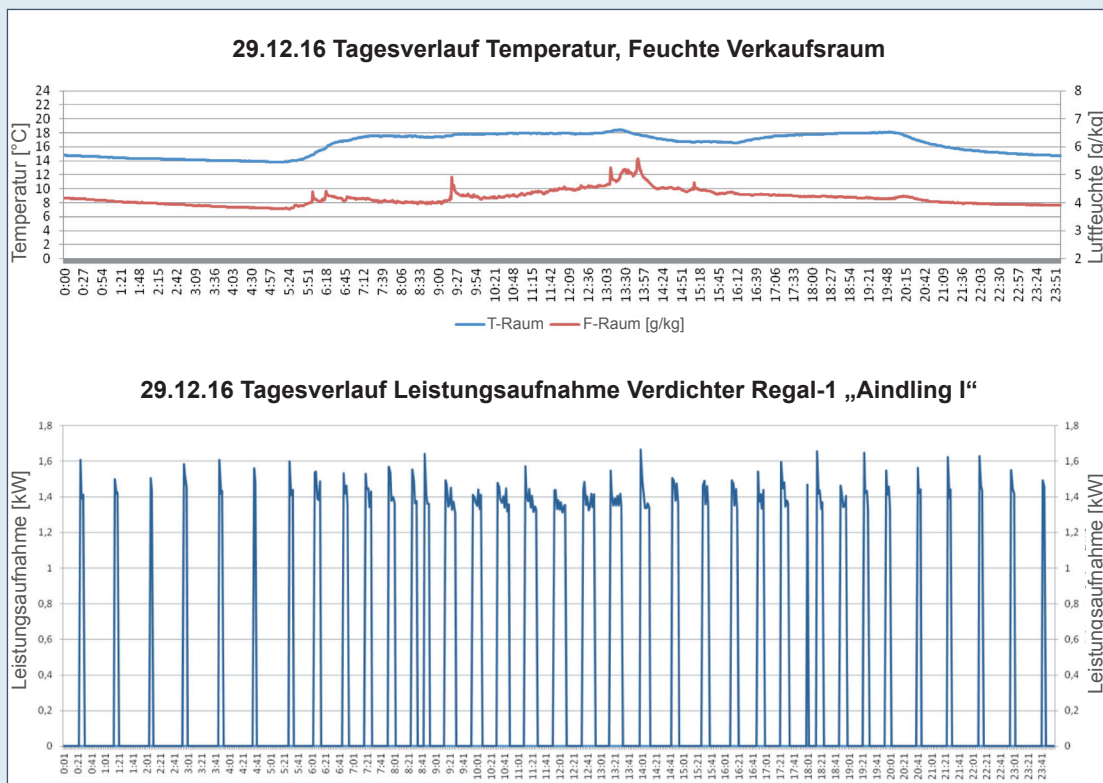


Abbildung 6. Tagesverlauf, Leistung Regal-1 „Aindling I“

Bei einer Temperatur-Handmessung zeigt das Mopro-Regal-1 eine etwa 2 °C höhere Temperatur im Vergleich zu Regal-2. Dies stimmt mit den geringeren Produkthanforderungen überein. Im Lastgang können keine gezielten Abtauzeiten erkannt werden. Das geöffnete Rollo kann jedoch gut zugeordnet werden.

Messung/Parameter/Ort		Aindling I
Regaltemperatur Zuluft offen/Tag	[°C]	1,3
Regalfeuchte Zuluft ohne Abdeckung, Erfahrungswert (Mittel)	[g/kg][%]	80 %
Regal/Zulufttemperatur/Nacht, Annahme	[°C]	3,8
Regal/Zuluftfeuchte/Nacht	[g/kg][%]	82 %
Raumtemperatur/Tag	[°C]	16,8
Raumfeuchte/Tag	[g/kg][%]	35 %
Raumtemperatur/Nacht	[°C]	14,5
Raumfeuchte/Nacht	[g/kg][%]	38 %
Mehrbedarf für Wärmeleitung ($T_u = 21 \text{ °C}$) auf Basis Nachttemp.		84,1 %
Mehrbedarf Kälteerzeugung für Infiltration (aus Saldo/Interp.)		75 %
Annahme mittleres Jahres-Raumklima	[°C; % r. F.]	21; 50
Kältemittel		R409A
Verdichter-Kapazität	[m³/h]	12,9
Messperiode von/bis		27.12.–10.01.17
Temperatur-Klasse des Kühlregals nach DIN 23953		k. A.
Nutzbreite Regal	[m]	2,5
Leistung Licht (Datenaufnahme)	[W]	76
Abtauleistung (Messung)	[W]	Umluft
Abtauzeit/Betriebszeit	[%]	Umluft
Begleitheizungen	[W]	38
Leistung Lüfter für Umluft im Kühlregal	[W]	76
mittlere Kälteleistung (el) Regal ohne Nachtdeckung	[kW]	0,552
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo offen (Hochrechnung)	[kW]	1,23
Kälteleistung (el) Rollo zu (Nacht) gemessen	[kW]	0,191
Kälteleistung (el) Rollo zu korrigiert auf $T_{u, \text{Tag-Messperiode}}$	[kW]	0,22
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo zu (Hochrechnung)	[kW]	0,44
spezifischer Verbrauch Regal (Messung 52 % offen)	[kWh/m•a]	2.163
Lüfter-Verflüssiger-Schätzung 10 % der Verdichterleistung	[kWh/a]	745
spezifischer Verbrauch Regal (21 °C, 50 %) TRY-Zone 13	[kWh/m•a]	3.815
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Messung	[kWh/m•a]	571
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Jahresklima	[kWh/m•a]	1.412
Jahres-Leistungszahl der Kälteerzeugung ca.	[kWh _{th} /kW _{hel}]	5,25

Tabelle 5. Ergebnisse Messung Kühlregal „Aindling I“

1.5 Messung Kühlregal und Temperaturen „Aindling IV“

Diese Anlage ist am gleichen Innen-Verflüssiger im Maschinenraum wie Anlage „Aindling II“ angeschlossen. Die Kondensationstemperaturen sind daher vergleichbar, wie aus der Charakteristik der Lastgänge der Verdichter hervorgeht.

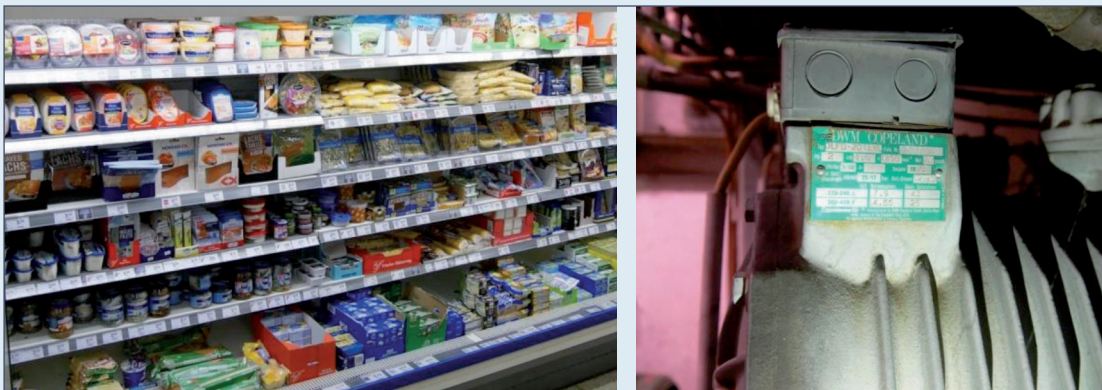


Abbildung 7. Kühlregal „Aindling IV“ mit Einzelanlage aus 1979

Bei einer Temperatur-Handmessung zeigt das Kühlregal „Aindling IV“ ebenfalls eine etwa 2 °C höhere Temperatur im Vergleich zu „Aindling II“. Bei diesem Regal wurde die Gesamtleistungsaufnahme erfasst.

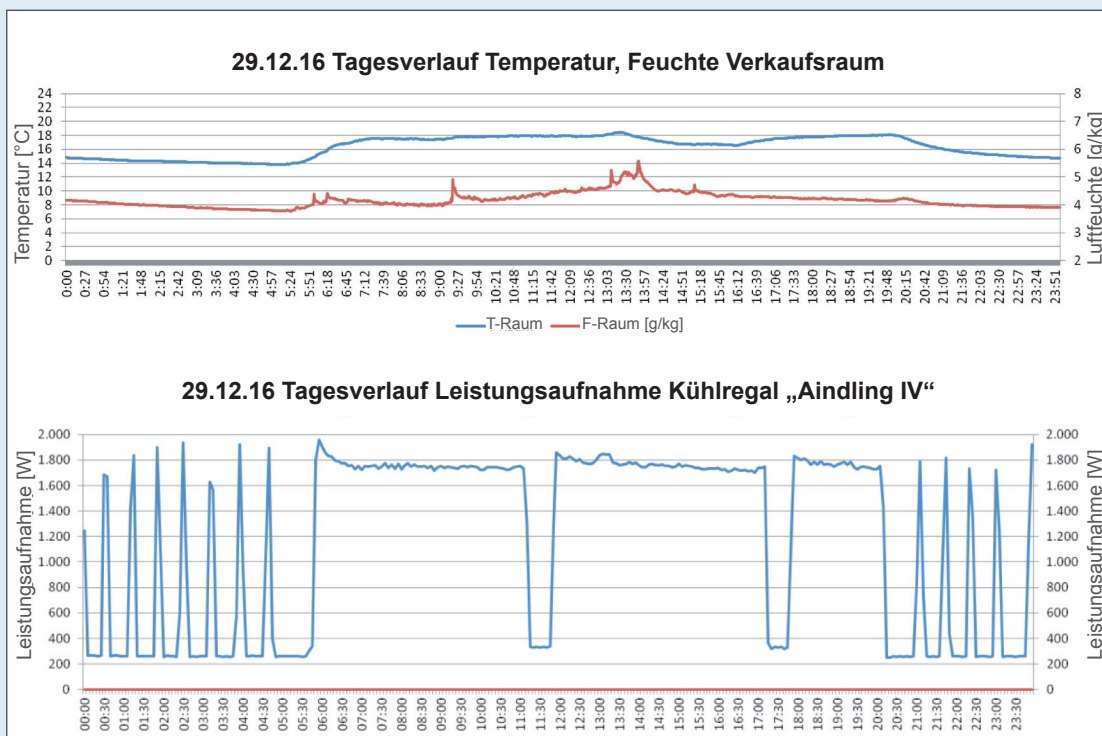


Abbildung 8. Tagesverlauf Leistungsaufnahme „Aindling IV“²

² Lastmessung mit 5-Minutenintervallen und Mittelwertermittlung. Dadurch zeigt sich bei geschlossenem Rollo ein anderes Bild (Mittelwerte) als bei Messungen mit 2-Minutenintervallen und Spitzenwertaufzeichnung.

Messung/Parameter/Ort		Aindling IV
Regaltemperatur Zuluft offen/Tag	[°C]	1,3
Regalfeuchte Zuluft ohne Abdeckung, Erfahrungswert (Mittel)	[g/kg][%]	80 %
Regal/Zulufttemperatur/Nacht, Annahme	[°C]	3,5
Regal/Zuluftfeuchte/Nacht	[g/kg][%]	82 %
Raumtemperatur/Tag	[°C]	16,8
Raumfeuchte/Tag	[g/kg][%]	35 %
Raumtemperatur/Nacht	[°C]	14,5
Raumfeuchte/Nacht	[g/kg][%]	38 %
Mehrbedarf für Wärmeleitung ($T_u = 21 \text{ °C}$) auf Basis Nachttemp.		79,1 %
Mehrbedarf Kälteerzeugung für Infiltration (aus Saldo/Interp.)		ausgelastet
Annahme mittleres Jahres-Raumklima	[°C; % r. F.]	21; 50
Kältemittel		R409A
Verdichter-Kapazität	[m ³ /h]	12,9
Messperiode von/bis		27.12.–10.01.17
Temperatur-Klasse des Kühlregals nach DIN 23953		k. A.
Nutzbreite Regal	[m]	3,75
Leistung Licht (Datenaufnahme)	[W]	70
Abtauleistung (Messung)	[W]	Umluft
Abtauzeit/Betriebszeit	[%]	Umluft
Begleitheizungen	[W]	0
Leistung Lüfter für Umluft im Kühlregal	[W]	261
mittlere Kälteleistung (el) Regal ohne Nachtdeckung	[kW]	1,235
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo offen (Hochrechnung)	[kW]	1,87
Kälteleistung (el) Rollo zu (Nacht) gemessen	[kW]	0,331
Kälteleistung (el) Rollo zu korrigiert auf $T_{u, \text{Tag-Messperiode}}$	[kW]	0,47
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo zu (Hochrechnung)	[kW]	0,74
spezifischer Verbrauch Regal (Messung 52 % offen)	[kWh/m•a]	2.876
Lüfter-Verflüssiger-Schätzung 10 % der Verdichterleistung	[kWh/a]	1.164
spezifischer Verbrauch Regal (21 °C, 50 %) TRY-Zone 13	[kWh/m•a]	4.109
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Messung	[kWh/m•a]	917
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Jahresklima	[kWh/m•a]	1.356
Jahres-Leistungszahl der Kälteerzeugung ca.	[kWh _{th} /kW _{hel}]	5,25

Tabelle 6. Ergebnisse Messung Kühlregal „Aindling IV“

Auch bei diesem Regal zeigt sich, dass die Kälteanlage ausgereizt ist und bei geöffnetem Rollo nicht mehr abschaltet. Eine Hochrechnung für den Jahres-Energiebedarf erfolgt daher nur für die Kondensationstemperatur bei erhöhter Jahres-Umgebungstemperatur und bei geschlossenem Rollo.

1.6 Messung MoPro-Regal

Bei dieser aus dem Jahr 2001 stammenden R404A-Einzelanlage, die ein 7,5 Meter langes MoPro-Regal in einem Markt in Waldkraiburg mit Kälte versorgt, zeigten sich mehrere typische Probleme der betrieblichen Praxis. So wurde das Nachtrollo während der Messperiode mehrfach nicht geschlossen. Es mussten daher sehr gezielt Zeiträume ausgewählt werden, welche für einen ordnungsgemäßen Normalbetrieb stehen.

Die Verflüssigungstemperatur ist mit 25 °C bis 38 °C stark schwankend.



Abbildung 9. Regal mit Produkten einheitlicher Anforderung < 8 °C

Insgesamt lag der Strombedarf des Regals während der Messung sehr niedrig. Dies geht einher mit einer relativ hohen Temperatur im Kühlregal (> 4 °C Zuluft) und einer relativ niedrigen Temperatur im Markt bei gleichzeitig niedriger Luftfeuchte. Dies ist nur möglich, wenn im Regal sortenreine Produkte gelagert werden, die für Temperaturen bis 8 °C geeignet sind.

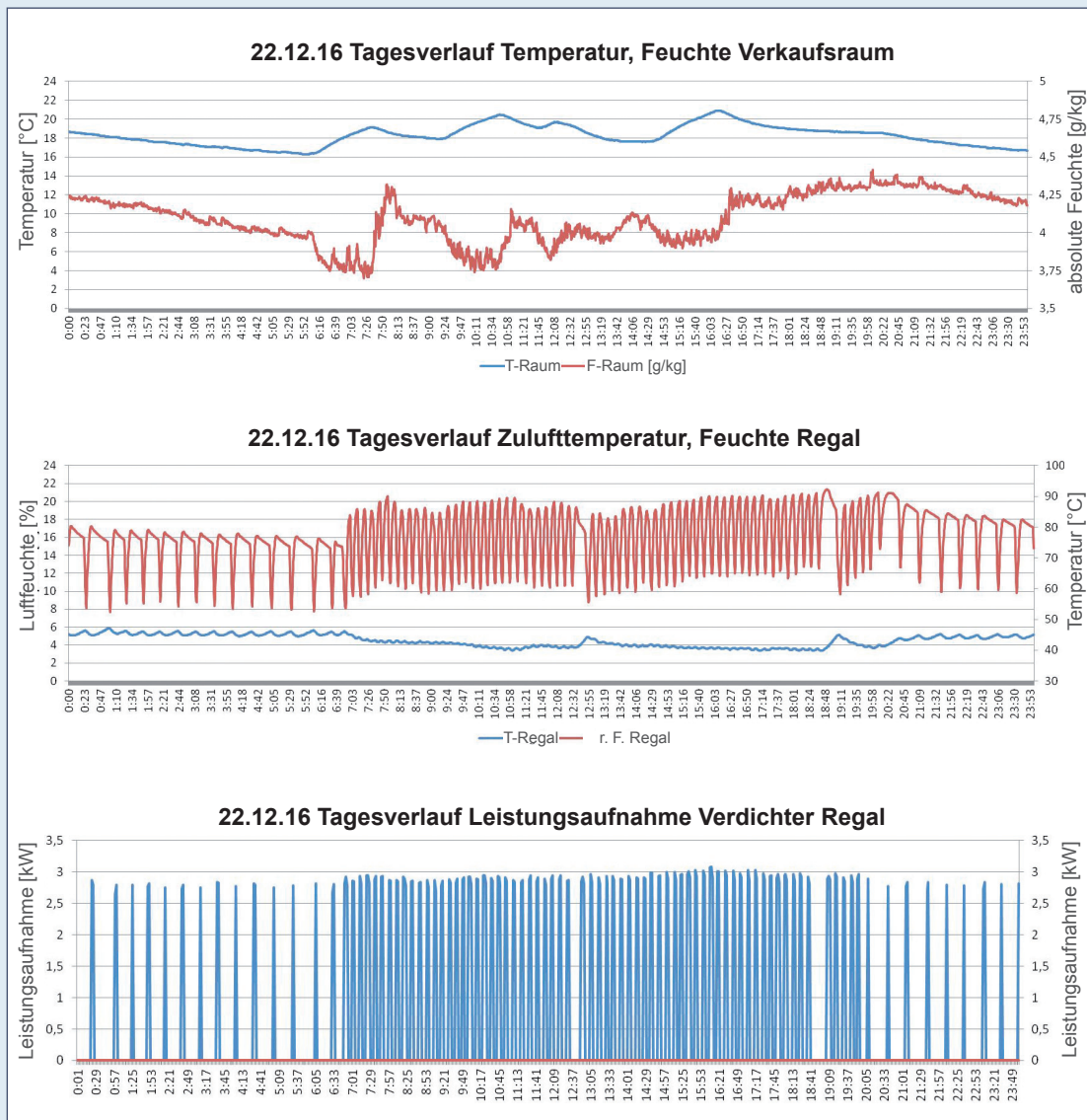


Abbildung 10. Leistung, Temperaturen, Feuchte „Waldkraiburg“

Ein auf mittleres Normklima im Markt (21 °C und 50 % relative Feuchte) hochgerechnetes Ergebnis liegt mit 3.110 kWh/m•a vergleichsweise hoch. Dies basiert auf Annahmen in Bezug auf stark schwankenden Verflüssigungsdruck. Es wird ein Defekt in der Steuerung des Verflüssigers vermutet.

Messung/Parameter/Ort		Waldkraiburg
Regaltemperatur Zuluft offen/Tag	[°C]	4,6
Regalfeuchte Zuluft ohne Abdeckung, Erfahrungswert (Mittel)	[g/kg] [%]	78 %
Regal/Zulufttemperatur/Nacht, Annahme	[°C]	5,7
Regal/Zuluftfeuchte/Nacht	[g/kg] [%]	79 %
Raumtemperatur/Tag	[°C]	18,9
Raumfeuchte/Tag	[g/kg] [%]	33 %
Raumtemperatur/Nacht	[°C]	17,2
Raumfeuchte/Nacht	[g/kg] [%]	35 %
Mehrbedarf für Wärmeleitung (Tu = 21 °C) auf Basis Nachttemp.		30,2 %
Jahreswert Kälteerzeugung für Wärmeleitung (Hochrechnung)	[kWh/a]	3.079
Anteil Kälteerzeugung für Infiltration (direkte Messung 52 % offen)	[kWh/a]	3.569
Mehrbedarf Kälteerzeugung für Infiltration (aus Saldo/Interp.)		108 %
Annahme mittleres Jahres-Raumklima	[°C; % r. F.]	21; 50
Kältemittel		R409A
Verdichter-Kapazität	[m³/h]	20
Messperiode von/bis		20.12.–23.12.16
Temperatur-Klasse des Kühlregals nach DIN 23953		k. A.
Nutzbreite Regal	[m]	7,5
Leistung Licht (Datenaufnahme)	[W]	320
Abtauleistung (Messung)	[W]	Umluft
Abtauzeit/Betriebszeit	[%]	Umluft
Begleitheizungen	[W]	0
Leistung Lüfter für Umluft im Kühlregal	[W]	228
mittlere Kälteleistung (el) Regal ohne Nachtabdeckung	[kW]	1,09
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo offen (Hochrechnung)	[kW]	3,41
Kälteleistung (el) Rollo zu (Nacht) gemessen	[kW]	0,27
Kälteleistung (el) Rollo zu korrigiert auf Tu _{Tag-Messperiode}	[kW]	0,31
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo zu (Hochrechnung)	[kW]	0,60
spezifischer Verbrauch Regal (Messung 52 % offen)	[kWh/m•a]	1.515
Lüfter-Verflüssiger-Schätzung 10 % der Verdichterleistung	[kWh/a]	1.806
spezifischer Verbrauch Regal (21 °C, 50 %) TRY-Zone 13	[kWh/m•a]	3.110
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Messung	[kWh/m•a]	398
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Jahresklima	[kWh/m•a]	1.625
Jahres-Arbeitszahl der Kälteerzeugung ca.	[kWh _{th} /kW _{hei}]	2,50

Tabelle 7. Ergebnisse Messung Verdichter „Waldkraiburg“

1.7 Messung Kühlregale an Verbundanlage „Würzburg I“

Die Verbundanlage aus dem Jahr 2002 versorgt 13,75 m MoPro-Regale mit Nachrollo, 3,75 m Fleischregale mit Türen, zwei Kühlräume als auch eine mittelgroße Bedientheke. Die klassische Verbundanlage mit drei einzelnen Verdichtern ist einfach, aber solide aufgebaut (keine Frequenzumrichter, kein innerer Wärmeaustauscher).

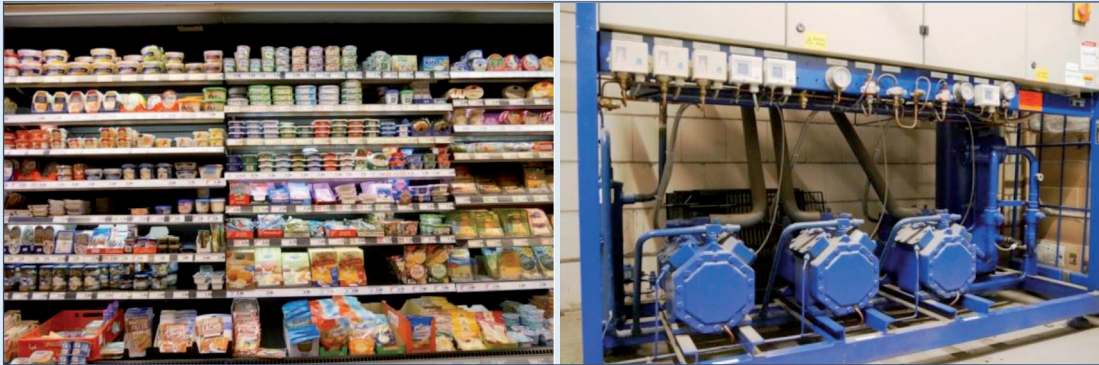


Abbildung 11. MoPro-Regal mit Verbundanlage



Abbildung 12. Fleischregal mit Verbundanlage

Im folgend dargestellten Tagesverlauf ist gut sichtbar, wie die Luft im Verkaufsraum bei abgeschalteter Lüftungsanlage nachts entfeuchtet wird. Die Regale öffnen vor Verkaufsbeginn und dem Einschalten der Lüftungsanlage. Nach dem Öffnen fällt die Feuchte weiter ab, bis mit Ladenöffnung die Feuchte, besonders während der Abtauzeiten, wieder ansteigt.

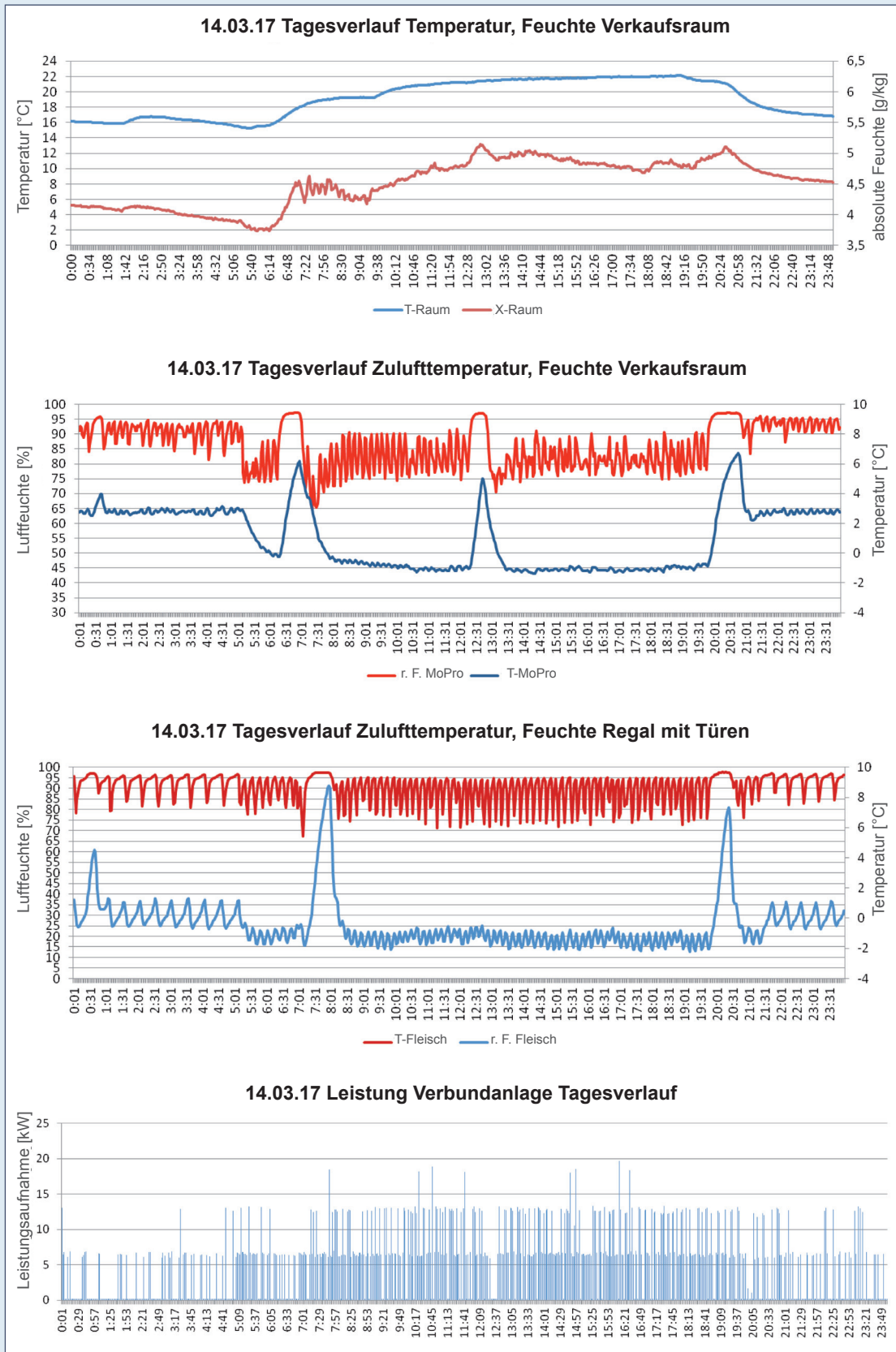


Abbildung 13. Temperaturen, Leistung „Würzburg I“

Messung/Parameter/Ort		Würzburg I
Regaltemperatur Zuluft offen/Tag	[°C]	-0,5
Regalfeuchte Zuluft ohne Abdeckung, Erfahrungswert (Mittel)	[g/kg] [%]	86 %
Regal/Zulufttemperatur/Nacht, Annahme: wie Tag	[°C]	2,4
Regal/Zuluftfeuchte/Nacht	[g/kg] [%]	93 %
Mittlere Temperatur während Messperiode (Tag/Nacht)	[°C]	18,3
Raumtemperatur/Tag	[°C]	21,5
Raumfeuchte/Tag	[g/kg] [%]	33 %
Raumtemperatur/Nacht	[°C]	16,6
Raumfeuchte/Nacht	[g/kg] [%]	40 %
Mehrbedarf für Wärmeleitung ($T_u = 21 \text{ °C}$) auf Basis Nachttemp.		27,5 %
Jahreswert Kälteerzeugung für Wärmeleitung (Hochrechnung)	[kWh/a]	30.739
Anteil Kälteerzeugung für Infiltration (direkte Messung 52 % offen)	[kWh/a]	19.904
Mehrbedarf Kälteerzeugung für Infiltration (aus h-x-Diagramm)		33 %
Rückrechnung Jahres-Raumklima aus Vergleich für Infiltration	[°C; % r. F.]	21; 50
Kältemittel		R404A
Verdichter-Kapazität	[m ³ /h]	97,5
Messperiode von/bis		14.03.–18.03.17
Temperatur-Klasse des Kühlregals nach DIN 23953		k. A.
Nutzbreite Regal	[m]	13,75
Leistung Licht (Datenaufnahme)	[W]	607
Abtauleistung (Messung)	[W]	k. A.
Abtauzeit/Betriebszeit	[%]	k. A.
Begleitheizungen	[W]	0
Leistung Lüfter für Umluft im Kühlregal	[W]	330
mittlere Kälteleistung (el) Regal ohne Nachtabdeckung	[kW]	7,96
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo offen (Hochrechnung)	[kW]	9,60
Kälteleistung (el) Rollo zu (Nacht) gemessen	[kW]	2,7919
Kälteleistung (el) Rollo zu korrigiert auf $T_{u, \text{Tag-Messperiode}}$	[kW]	3,59
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo zu (Hochrechnung)	[kW]	3,61
spezifischer Verbrauch Regal (Messung 52 % Öffnungszeit)	[kWh/m•a]	k. A.
spezifischer Ist-Verbrauch Regal (Basis-Verbrauch 2013)	[kWh/a]	k. A.
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Messung	[kWh/m•a]	1.384
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Jahresklima	[kWh/m•a]	1.919
Jahres-Arbeitszahl der Kälteerzeugung ca.	$[\text{kWh}_{\text{th}}/\text{kW}_{\text{heI}}]$	3,16

Tabelle 8. Ergebnis Unterschied Tag/Nacht Verbundanlage

Bedingt durch die gemeinschaftliche Versorgung der Kühlstellen können die absoluten Verbräuche einzelner Kühlstellen nicht abschließend bewertet werden. Der Unterschied zwischen Tag- und Nachtbetrieb lässt aber eine grobe Abschätzung des unterschiedlichen Verbrauchs mit offenem und geschlossenem Nachtrollo zu.

Das Ergebnis wird ggf. etwas durch den Gebrauch der Kühltheken und Kühlräume verfälscht, da durch die höheren Temperaturen tagsüber auch der Verbrauch dieser Kühlstellen gegenüber nachts zunimmt.

Aber der relativ hohe Verbrauch steht im Zusammenhang mit einer sehr niedrigen Zulufttemperatur im Regal von **-0,5 °C** und einer mit **21,5 °C** relativ hohen Raum-Umgebungstemperatur.

Gut sichtbar ist hier, dass eine gemeinsame Kälteanlage den Nachteil einer gemeinsamen Verdampfungstemperatur beinhaltet. Eine energiesparende individuelle Einstellung nach dem Bedarf einzelner Regale ist nicht möglich.

1.8 Messung MoPro-Regal „Würzburg II“

Bei dem Markt handelt es sich um einen typischen Innenstadtmarkt. Die Verkaufsfläche befindet sich im Erdgeschoss eines Gebäudes mit Wohn- und Geschäftsräumen in den Obergeschossen. Untersucht wurde ein 10 Meter langes MoPro-Regal an einer Einzelanlage in Würzburg. Das Regal wurde als „Würzburg II“ bezeichnet.



Abbildung 14. MoPro-Regal



Abbildung 15. Einzelverdichter

Bei Innenstadtmärkten befinden sich die Kältemaschinen zusammen mit ihren Verflüssigern in einem lärmgeschützten Kellerraum. Mit der Verfügbarkeit leiser Ventilatoren findet man immer häufiger Anlagen, bei denen im Rahmen einer Sanierung die Kältemaschine im Keller verbleibt, aber der Verflüssiger im Außenbereich (Dach/Innenhof) installiert wird. Diese Anlage aus dem Jahr 2000 ist ein typisches Anwendungsbeispiel.

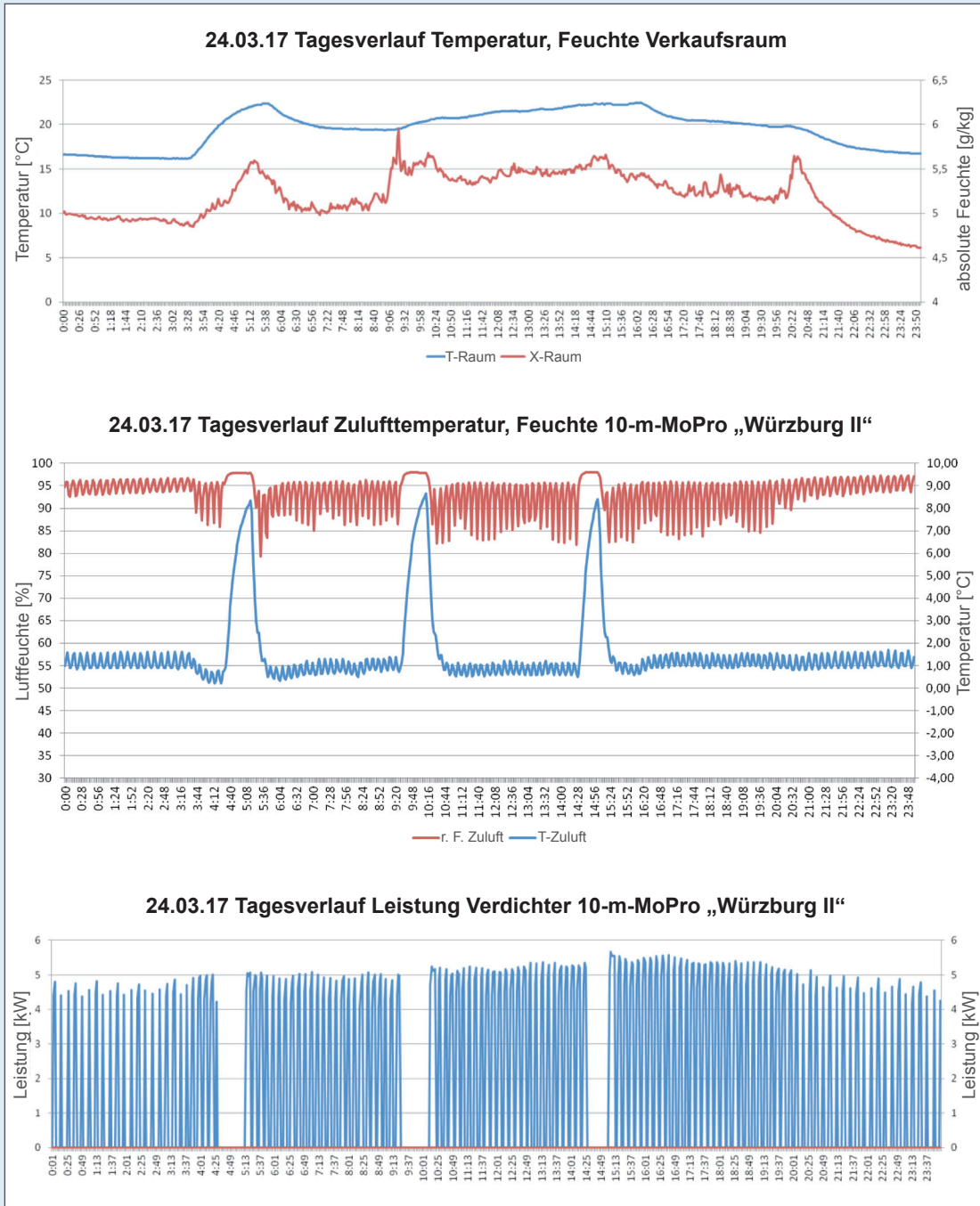


Abbildung 16. Temperaturen, Leistung Verbundanlage „Würzburg II“

Messung/Parameter/Ort		Würzburg II
Regaltemperatur Zuluft offen/Tag	[°C]	1,4
Regalfeuchte Zuluft ohne Abdeckung, Erfahrungswert (Mittel)	[g/kg]	4
Regal/Zulufttemperatur/Nacht, Annahme: wie Tag	[°C]	1,34
Regal/Zuluftfeuchte/Nacht	[g/kg]	3,99
Raumtemperatur/Tag	[°C]	22,7
Raumfeuchte/Tag	[g/kg]	5,5
Raumtemperatur/Nacht	[°C]	18,5
Raumfeuchte/Nacht	[g/kg]	4,8
Mehrbedarf für Wärmeleitung ($T_u = 21\text{ °C}$) auf Basis Nachttemp.		14,6 %
Jahreswert Kälteerzeugung für Wärmeleitung (Hochrechnung)	[kWh/a]	13.354
Anteil Kälteerzeugung für Infiltration (direkte Messung 52 % offen)	[kWh/a]	4.798
Mehrbedarf Kälteerzeugung für Infiltration (aus Saldo/Interpret.)		21 %
Rückrechnung Jahres-Raumklima aus Vergleich für Infiltration	[°C; % r. F.]	21; 50
Kältemittel		R404A
Verdichter-Kapazität	[m³/h]	28,4
Messperiode von/bis		23.03.–06.04.17
Temperatur-Klasse des Kühlregals nach DIN 23953		k. A.
Nutzbreite Regal	[m]	10
Leistung Licht (Datenaufnahme)	[W]	1.600
Abtauleistung (Messung)	[W]	Umluft
Abtauzeit/Betriebszeit	[%]	Umluft
Begleitheizungen	[W]	256
Leistung Lüfter für Umluft im Kühlregal	[W]	304
mittlere Kälteleistung (el) Regal ohne Nachtabdeckung	[kW]	2,71
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo offen (Hochrechnung)	[kW]	2,94
Kälteleistung (el) Rollo zu (Nacht) gemessen	[kW]	1,33
Kälteleistung (el) Rollo zu korrigiert auf $T_{u, \text{Tag-Messperiode}}$	[kW]	1,66
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo zu (Hochrechnung)	[kW]	1,60
spezifischer Verbrauch Regal (Messung 52 % Öffnungszeit)	[kWh/m³a]	3.214
spezifischer Ist-Verbrauch Regal (21 °C, 50%) TRY-Zone 13	[kWh/a]	3.432
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Messung	[kWh/m³a]	272
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Jahresklima	[kWh/m³a]	401
Jahres-Arbeitszahl der Kälteerzeugung ca.	$[\text{kWh}_{\text{th}}/\text{kW}_{\text{hel}}]$	3,50

Tabelle 9. Ergebnisse Rollo Auf-Zu „Würzburg II“

1.9 Messung Wurstregal „Würzburg III“

Der Markt ist ein typischer Innenstadtmarkt. Die Verkaufsfläche befindet sich im Erdgeschoss eines Gebäudes mit Wohn- und Geschäftsräumen in den Obergeschossen. Gemessen wurde ein 3,75 Meter langes Wurstregal an einer Einzelanlage in Würzburg. Das Regal wurde als „Würzburg III“ bezeichnet.



Abbildung 17. Wurstregal



Abbildung 18. Verflüssiger

Bei der Kälteanlage handelt es sich um eine R404A-Einzelanlage mit Verflüssigungssatz im Maschinenraum mit Fremdbelüftung aus dem Jahr 2000.

Im Lastgang des Verdichters sind keine Abtauzeiten sichtbar. Da keine elektrische Abtauung vorhanden ist, hat sich vermutlich ein Gleichgewichtszustand mit vereistem Verdampfer eingestellt. Die kondensierte Feuchte fällt in diesem Fall flüssig an.

Das Nachtrollo wird nur an wenigen Tagen geschlossen.

Eine Bewertung des absoluten Verbrauchs kann daher nur auf einer Soll-Hochrechnung basieren. Für die Bewertung wird die Fremdbelüftung vernachlässigt, da diese für eine Vielzahl von Einzelanlagen zuständig ist.

Bei einer Leistungsaufnahme des Verdichters zwischen 2,5 kW und 2,7 kW liegt die Kondensationstemperatur des Verdichters im Bereich oberhalb von 50 °C. Die Verdampfungstemperatur liegt damit im Bereich -5 °C bis -8 °C. Tiefere Verdampfungstemperaturen kommen nicht infrage, da ansonsten die gemessene Leistungsaufnahme nicht mehr erreicht wird (z. B. bei -15 °C und 50 °C eine P_{el} von 2,15 kW).

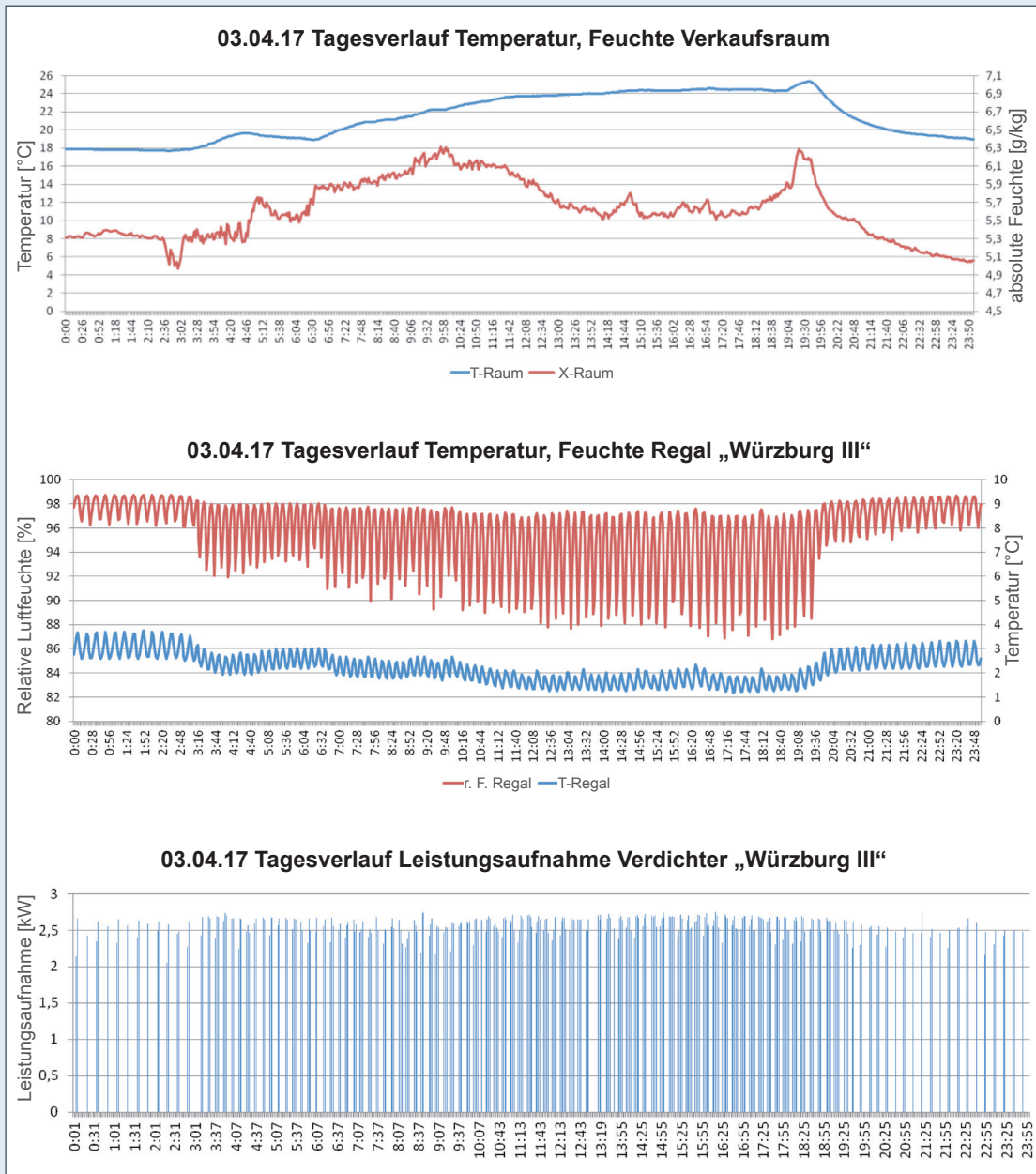


Abbildung 19. Temperaturen, Leistung Verdichter „Würzburg III“

Messung/Parameter/Ort		Würzburg III
Regaltemperatur Zuluft offen/Tag	[°C]	2,0
Regalfeuchte Zuluft ohne Abdeckung, Erfahrungswert (Mittel)	[g/kg]	4
Regal/Zulufttemperatur/Nacht, Annahme: wie Tag	[°C]	2,8
Regal/Zuluftfeuchte/Nacht	[g/kg]	4,5
Mittlere Temperatur während Messperiode (Tag/Nacht)	[°C]	k. A.
Raumtemperatur/Tag	[°C]	21,9
Raumfeuchte/Tag	[g/kg]	5,4
Raumtemperatur/Nacht	[°C]	20,5
Raumfeuchte/Nacht	[g/kg]	5,3
gemessener Jahresverbrauch	[kWh/a]	k. A.
Anteil Kälteerzeugung (Verdichter + Verflüssigung)		k. A.
Anteil Kälteerzeugung für Tc-Jahresmittelwert (+0 %)	[kWh/a]	k. A.
Mehrbedarf für Wärmeleitung (Tu = 21 °C) auf Basis Nachttemp.		2,7 %
Verbleibender Kälteerzeugungsbedarf (Infiltration)		k. A.
Mehrbedarf Kälteerzeugung für Infiltration (aus Saldo/Interpret.)		21 %
Rückrechnung Jahres-Raumklima aus Vergleich für Infiltration	[°C; % r. F.]	21; 50
Kältemittel		R404A
Verdichter-Kapazität	[m³/h]	9,54
Messperiode von/bis		02.04.–05.04.17
Temperatur-Klasse des Kühlregals nach DIN 23953		k. A.
Nutzbreite Regal	[m]	3,75
Leistung Licht (Datenaufnahme)	[W]	496
Abtauleistung (Messung)	[W]	Umluft
Abtauzeit/Betriebszeit	[%]	Umluft
Begleitheizungen	[W]	96
Leistung Lüfter für Umluft im Kühlregal	[W]	114
mittlere Kälteleistung (el) Regal ohne Nachtdeckung	[kW]	1,71
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo offen (Hochrechnung)	[kW]	1,91
Kälteleistung (el) Rollo zu (Nacht) gemessen	[kW]	0,58
Kälteleistung (el) Rollo zu korrigiert auf Tu _{Tag-Messperiode}	[kW]	0,62
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo zu (Hochrechnung)	[kW]	0,60
spezifischer Verbrauch Regal (Messung 52 % Öffnungszeit)	[kWh/m•a]	4.119
Lüfter-Verflüssiger-Schätzung 10 % der Verdichterleistung	[kWh/a]	1.120
spezifischer Ist-Verbrauch Regal (21 °C, 50 %) TRY-Zone 13	[kWh/m•a]	4.380
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Messung	[kWh/m•a]	918
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Jahresklima	[kWh/m•a]	1.195
Jahres-Arbeitszahl der Kälteerzeugung ca.	[kWh _{th} /kW _{he}]	1,50

Tabelle 10. Kenndaten Wurstregal „Würzburg III“

1.10 Messung Fleischregal mit Türen „Würzburg IV“

Dieses 4,38 Meter lange Fleischregal mit Türen wird von einer R134a-Einzelanlage mit Kälte versorgt und stammt, soweit ersichtlich, aus dem Jahr 2000. Die Kältemaschine steht im Kältemaschinenraum, der Verflüssiger auf dem Dach.



Abbildung 20. Regal mit Türen



Abbildung 21. Anlage „Würzburg IV“

Das Regal ist mit einer relativ hohen Beleuchtungsleistung auf mehreren Ebenen ausgestattet.

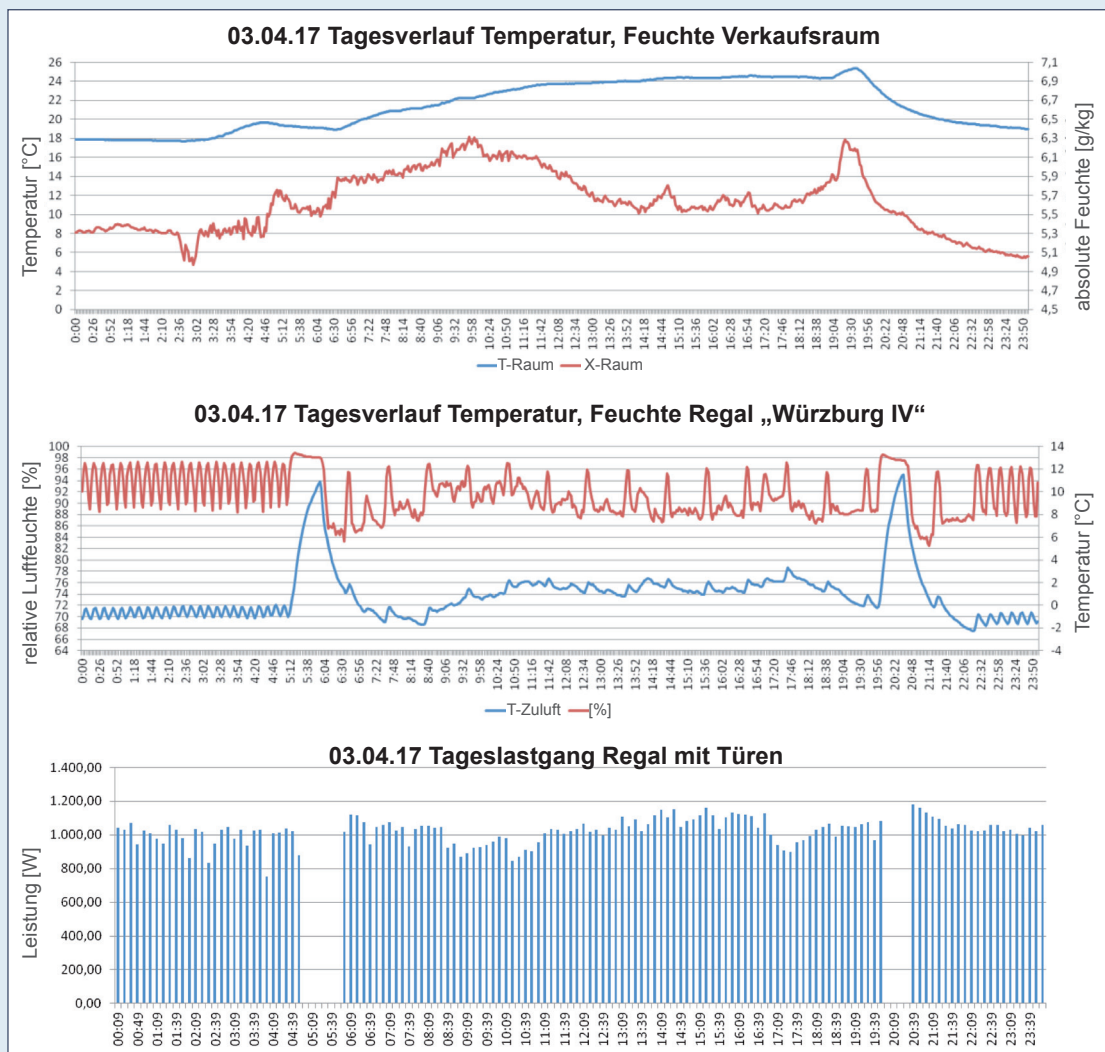


Abbildung 22. Temperaturen, Lastgang, Regal mit Türen „Würzburg IV“

Es lassen sich trotz hoher Beleuchtungsleistung keine Unterschiede bei der Leistung der Kälteerzeugung zwischen Tag- und Nachtbetrieb erkennen.

Messung/Parameter/Ort		Würzburg Türen
Regaltemperatur/Zuluft offen/Tag	[°C]	1,0
Regalfeuchte/Zuluft ohne Abdeckung Erfahrungswert (Mittel)	[g/kg]	4
Mittlere Raumtemperatur während Messperiode (Tag/Nacht)	[°C]	k. A.
Raumtemperatur/Tag	[°C]	21,43
Raumfeuchte/Tag	[g/kg]	5,62
Kältemittel		R134a
Verdichter-Kapazität	[m³/h]	16,2
Messperiode von/bis		03.04.2017
Temperatur-Klasse des Kühlregals nach DIN 23953		k. A.
Nutzbreite Regal	[m]	4,38
Leistung Licht (Datenaufnahme)	[W]	725
Abtauleistung (Typschild)	[W]	1.400
Abtauzeit/Betriebszeit	[%]	6
Begleitheizungen	[W]	109
Leistung Lüfter für Umluft im Kühlregal	[W]	228
mittlere Kälteleistung (el) Regal	[kW]	0,8489
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo offen (Hochrechnung)	[kW]	k. A.
Kälteleistung (el) Rollo zu (Nacht) gemessen	[kW]	0,8489
spezifischer Verbrauch Regal (Messung 52 % Öffnungszeit)	[kWh/m•a]	3.464
Jahres-Arbeitszahl der Kälteerzeugung ca.	[kWh _{tr} /kW _{neI}]	k. A.

Tabelle 11. Kennzahlen Regal mit Türen „Würzburg IV“

Im Temperaturverlauf lässt sich erkennen, dass der Verdichter ca. 1 x pro 12 Minuten einschaltet. In diesem Markt standen für die Messung nur Intervalle von 10 Minuten zur Verfügung. Eine Aussage über die Effizienz der Kälteerzeugung ist daher über die Kennlinie des Verdichters nicht möglich. Etwa 60 % des Energiebedarfs werden für die Kälteerzeugung benötigt.

1.11 Messung Regal „Frankfurt“

In einem Markt in Frankfurt wurde ein 35 Meter langes Regal gemessen, bei dem fünf Meter mit Glastüren ausgestattet waren. Die Kälteanlage und die Regale stammen aus dem Jahr 2012.

Da für diese Anlage Ist-Verbräuche aus 2013 und 2014 zur Verfügung standen, konnten die 2-Wochen-Messungen gegen reale Werte abgeglichen werden.

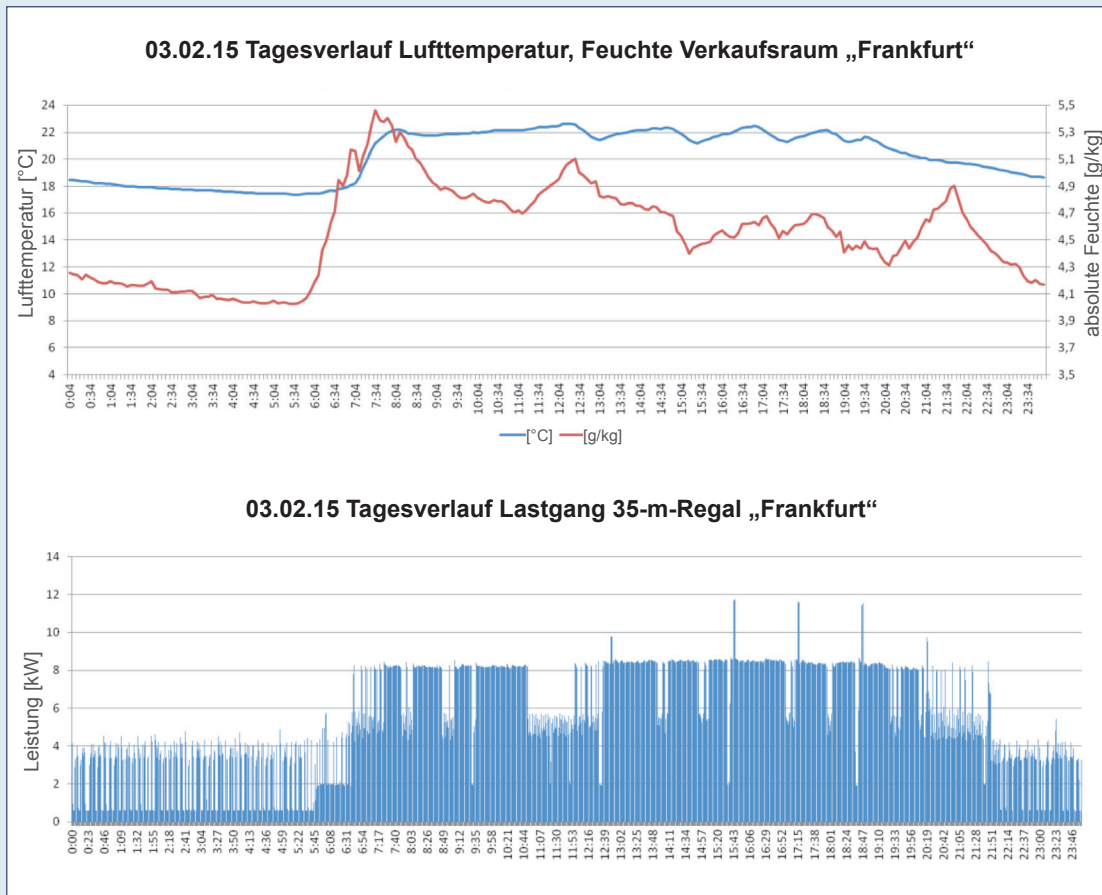


Abbildung 23. Raumtemperatur, Leistung Kälteanlage „Frankfurt“

Der Einfluss der offenen Kühlregale auf das Klima bzw. die Luftfeuchte im Markt ist in der Gegenüberstellung des Stroms für die Kälteerzeugung und der Zu- bzw. Abnahme der Luftfeuchte im Verkaufsraum gut zu sehen. Während der Abtauphasen nimmt die Luftfeuchte deutlich zu.

Im Lastgang sind auch die einzelnen Elemente (Lüfter im Regal, Beleuchtung und Verdichter in Stufenschaltung) gut erkennbar. Die Beleuchtung schaltet etwa 30 Minuten vor Öffnung der Rollos ein.

Messung/Parameter/Ort		Frankfurt I
Regaltemperatur Zuluft offen/Tag	[°C]	2,0
Regalfeuchte Zuluft ohne Abdeckung, Erfahrungswert (Mittel)	[g/kg]	1
Regal/Zulufttemperatur/Nacht, Annahme: wie Tag	[°C]	k. A.
Regal/Zuluftfeuchte/Nacht	[g/kg]	k. A.
Mittlere Temperatur während Messperiode (Tag/Nacht)	[°C]	19,8
Raumtemperatur/Tag	[°C]	21,2
Raumfeuchte/Tag	[g/kg]	4,5
Raumtemperatur/Nacht	[°C]	18,3
Raumfeuchte/Nacht	[g/kg]	4,5
gemessener Jahresverbrauch	[kWh/a]	57.865
Anteil Kälteerzeugung (Verdichter + Verflüssigung)	[kWh/a]	47.143
Anteil Kälteerzeugung für Tc-Jahresmittelwert (+25 %)	[kWh/a]	9.429
Mehrbedarf für Wärmeleitung (Tu = 20 °C)		6,7 %
Jahreswert Kälteerzeugung für Wärmeleitung (Hochrechnung)	[kWh/a]	17.766
Anteil Kälteerzeugung für Infiltration (direkte Messung 52 % offen)	[kWh/a]	15.314
Verbleibender Kälteerzeugungsbedarf (Infiltration)	[kWh/a]	4.634
Mehrbedarf Kälteerzeugung für Infiltration (aus Saldo)		30 %
Rückrechnung Jahres-Raumklima aus Vergleich für Infiltration	[°C; % r. F.]	21; 50
Kältemittel		R404A
Verdichter-Kapazität	[m³/h]	68,24
Messperiode von/bis		27.01.–08.02.15
Temperatur-Klasse des Kühlregals nach DIN 23953		k. A.
Nutzbreite Regal	[m]	35
Leistung Licht (Datenaufnahme)	[W]	1.200
Abtauleistung (Messung)	[W]	1.600
Abtauzeit/Betriebszeit	[%]	k. A.
Begleitheizungen	[W]	0
Leistung Lüfter für Umluft im Kühlregal (Messungen)	[W]	600
mittlere Kälteleistung (el) Regal ohne Nachtdeckung	[kW]	5,6
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo offen (Hochrechnung)	[kW]	8,01
Kälteleistung (el) Rollo zu (Nacht) gemessen	[kW]	1,9
Kälteleistung (el) Rollo zu korrigiert auf Tu _{Tag-Messperiode}	[kW]	2,24
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo zu (Hochrechnung)	[kW]	2,54
spezifischer Verbrauch Regal (Messung 52 % Öffnungszeit)	[kWh/m•a]	1.263
spezifischer Ist-Verbrauch Regal (Basis: Verbrauch 2013)	[kWh/m•a]	1.653
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Messung	[kWh/m•a]	480
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Jahresklima	[kWh/m•a]	800
Jahres-Arbeitszahl der Kälteerzeugung ca.	[kWh _{th} /kW _{hel}]	5,90

Tabelle 12. Kennzahlen 35-m-Regal „Frankfurt 2013“

Messung/Parameter/Ort		Frankfurt II
Regaltemperatur Zuluft offen/Tag	[°C]	2,0
Regalfeuchte Zuluft ohne Abdeckung, Erfahrungswert (Mittel)	[g/kg]	1
Regal/Zulufttemperatur/Nacht, Annahme: wie Tag	[°C]	k. A.
Regal/Zuluftfeuchte/Nacht	[g/kg]	k. A.
Mittlere Temperatur während Messperiode (Tag/Nacht)	[°C]	19,8
Raumtemperatur/Tag	[°C]	21,2
Raumfeuchte/Tag	[g/kg]	4,5
Raumtemperatur/Nacht	[°C]	18,3
Raumfeuchte/Nacht	[g/kg]	4,5
gemessener Jahresverbrauch	[kWh/a]	64.851
Anteil Kälteerzeugung (Verdichter + Verflüssigung)	[kWh/a]	54.129
Anteil Kälteerzeugung für Tc-Jahresmittelwert (+29 %)	[kWh/a]	12.168
Mehrbedarf für Wärmeleitung (Tu = 20 °C)		6,7 %
Jahreswert Kälteerzeugung für Wärmeleitung (Hochrechnung)	[kWh/a]	17.766
Anteil Kälteerzeugung für Infiltration (direkte Messung 52 % offen)	[kWh/a]	15.314
Verbleibender Kälteerzeugungsbedarf (Infiltration)	[kWh/a]	8.880
Mehrbedarf Kälteerzeugung für Infiltration (aus Saldo)		58 %
Rückrechnung Jahres-Raumklima aus Vergleich für Infiltration	[°C; % r. F.]	21; 67
Kältemittel		R404A
Verdichter-Kapazität	[m³/h]	68,24
Messperiode von/bis		27.01.–08.02.15
Temperatur-Klasse des Kühlregals nach DIN 23953		k. A.
Nutzbreite Regal	[m]	35
Leistung Licht (Datenaufnahme)	[W]	1.200
Abtauleistung (Messung)	[W]	1.600
Abtauzeit/Betriebszeit	[%]	k. A.
Begleitheizungen	[W]	0
Leistung Lüfter für Umluft im Kühlregal (Messungen)	[W]	600
mittlere Kälteleistung (el) Regal ohne Nachtdeckung	[kW]	5,6
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo offen (Hochrechnung)	[kW]	9,47
Kälteleistung (el) Rollo zu (Nacht) gemessen	[kW]	1,9
Kälteleistung (el) Rollo zu korrigiert auf Tu _{Tag-Messperiode}	[kW]	2,24
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo zu (Hochrechnung)	[kW]	2,62
spezifischer Verbrauch Regal (Messung 52 % Öffnungszeit)	[kWh/m•a]	1.263
spezifischer Ist-Verbrauch Regal (Basis: Verbrauch 2013)	[kWh/m•a]	1.853
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Messung	[kWh/m•a]	478
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Jahresklima	[kWh/m•a]	1.008
Jahres-Arbeitszahl der Kälteerzeugung ca.	[kWh _{th} /kW _{hel}]	5,60

Tabelle 13. Kennzahlen 35-m-Regal „Frankfurt 2014“

Bei dieser Untersuchung standen ausführliche Handmessungen der Regaltemperaturen als auch eine Aufzeichnung von Temperatur und Feuchtigkeit im Markt zur Verfügung. Der Markt verfügt über eine Teil-Klimaanlage. Über Kassettenelemente kann der Verkaufsraum gekühlt werden. Die Frischluftversorgung ist unabhängig davon. Bei größeren Anlagen kann die Abtauzeit nicht mehr separat erfasst werden. Die elektrische Abtauleistung ist daher in der Leistung der Kälteerzeugung enthalten.

Mit dem vereinfachten Modell wurde berechnet, auf Basis welchen Jahresklimas sich der tatsächlich gemessene Verbrauch ergibt. Für das Jahr 2013 ergibt sich mit geschätzten 21 °C und 50 % r. F. ein Wert exakt auf Höhe der HAUSER-Studie. Für das Jahr 2014 ergibt sich mit 21 °C und 67 % r. F. ein rechnerisch deutlich höherer Wert. Gleichzeitig war das Jahr im Mittel ca. 0,5 °C bis 1 °C wärmer, was dazu führt, dass die Kälteanlage aufgrund der Witterung rechnerisch eine ca. 4 % schlechtere Effizienz aufwies.

Der reale Verbrauch im Mittel der Jahre 2013/2014 betrug für dieses 35-m-Regal mit 5 m Anteil an Türen **1.753 kWh pro m**.

Mit Türen vor den offenen Regalen könnten nach der Modellrechnung ca. **840 kWh/lfm•a** eingespart werden.

Während der 7-tägigen Messung betrug der Verbrauch ca. **1.260 kWh pro m**.

1.12 Messung 27,5-m-Regal „Weinsberg“

Bei dieser Messung wurden Regale mit einer Gesamtlänge von 27,5 Metern gemessen. Die Kühlregale werden von einer CO₂-Anlage (R744, CO₂-NK-Verbund) mit Kälte versorgt. Da für diese Anlage Ist-Verbräuche aus 2016 zur Verfügung standen, konnten die 2-Wochen-Kurzzeitmessungen gegen Ganzjahreswerte abgeglichen werden.

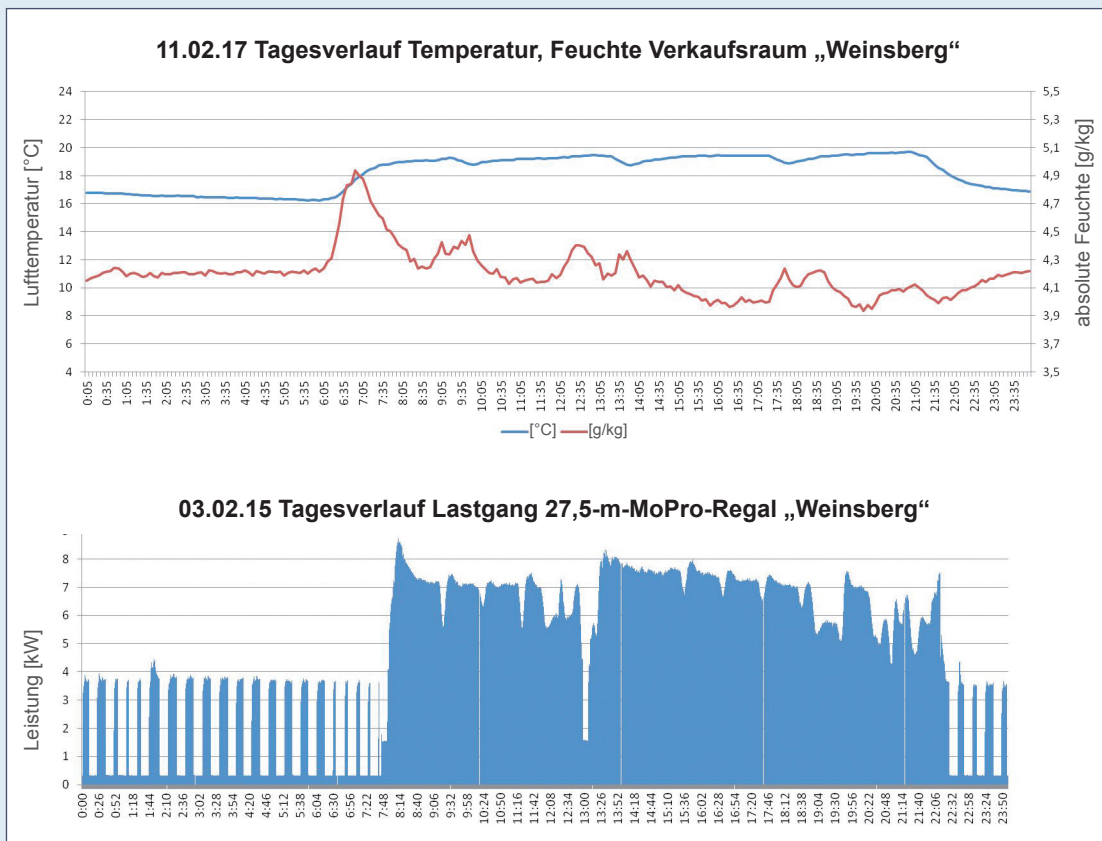


Abbildung 24. Raumtemperatur, Leistung Kälteanlage „Weinsberg“

Unter den gegebenen Annahmen liegt auch in diesem Markt das rechnerische mittlere Jahresklima im Verkaufsräum mit 21 °C und 49 % r. F. relativ dicht an der Annahme der HAUSER-Studie mit 21 °C und 50 % r. F.

Messung/Parameter/Ort		Weinsberg
Regaltemperatur Zuluft offen/Tag	[°C]	1,4
Regalfeuchte Zuluft ohne Abdeckung, Erfahrungswert (Mittel)	[%]	87
Regal/Zulufttemperatur/Nacht, Annahme: wie Tag	[°C]	k. A.
Regal/Zuluftfeuchte/Nacht	[g/kg]	k. A.
Mittlere Temperatur während Messperiode (Tag/Nacht)	[°C]	18,3
Raumtemperatur/Tag	[°C]	19,3
Raumfeuchte/Tag	[g/kg]	4,2
Raumtemperatur/Nacht	[°C]	17
Raumfeuchte/Nacht	[g/kg]	4,3
gemessener Jahresverbrauch 2013	[kWh/a]	59.411
Anteil Kälteerzeugung (Verdichter + Verflüssigung)	[kWh/a]	53.755
Anteil Kälteerzeugung für Tc-Jahresmittelwert (+11 %)	[kWh/a]	5.327
Mehrbedarf für Wärmeleitung (Tu = 21 °C) auf Basis Nachttemp.		25,6 %
Jahreswert Kälteerzeugung für Wärmeleitung (Hochrechnung)	[kWh/a]	15.959
Anteil Kälteerzeugung für Infiltration (direkte Messung 52 % offen)	[kWh/a]	19.857
Verbleibender Kälteerzeugungsbedarf (Infiltration)	[kWh/a]	12.612
Mehrbedarf Kälteerzeugung für Infiltration (aus Saldo)		64 %
Rückrechnung Jahres-Raumklima aus Vergleich für Infiltration	[°C; % r. F.]	21; 49
Kältemittel		R744/CO ₂
Verdichter-Kapazität	[m ³ /h]	13
Messperiode von/bis		27.01.–08.02.15
Temperatur-Klasse des Kühlregals nach DIN 23953		k. A.
Nutzbreite Regal	[m]	27,5
Leistung Licht (Datenaufnahme)	[W]	607
Abtauleistung (Messung)	[W]	k. A.
Abtauzeit/Betriebszeit	[%]	k. A.
Begleitheizungen	[W]	0
Leistung Lüfter für Umluft im Kühlregal (Messungen)	[W]	330
mittlere Kälteleistung (el) Regal ohne Nachtdeckung	[kW]	6,023
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo offen (Hochrechnung)	[kW]	9,93
Kälteleistung (el) Rollo zu (Nacht) gemessen	[kW]	1,45
Kälteleistung (el) Rollo zu korrigiert auf Tu _{Tag-Messperiode}	[kW]	1,66
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo zu (Hochrechnung)	[kW]	2,02
spezifischer Verbrauch Regal (Messung 52 % Öffnungszeit)	[kWh/m•a]	1.425
spezifischer Ist-Verbrauch Regal (Basis: Verbrauch 2013)	[kWh/m•a]	2.160
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Messung	[kWh/m•a]	699
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Jahresklima	[kWh/m•a]	1.287
Jahres-Arbeitszahl der Kälteerzeugung ca.	[kWh _{th} /kW _{hel}]	4,30

Tabelle 14. Kennzahlen Kälteanlage und Kühlregale „Weinsberg“

1.13 Messung Regal „Ulm“

Bei diesen Kühlregalen mit einer Länge von 35 Metern ist die R134a-Kältemaschine direkt in jedem einzelnen Regal von 2,5 m bis 3,75 m eingebaut.

Die Wärmeabfuhr erfolgt im Kühlregal mithilfe eines solegekühlten Wasserkreislaufs, der seine Wärme wiederum ins Freie abführt. Auf der Euroshop® 2017 wurde diese Konstruktion von der Mehrheit der Anbieter als Semi-Plug-in bezeichnet. Häufig wird auch die Bezeichnung Kühlregal mit Wasseranschluss gewählt.

Da für diese Anlage Ist-Verbräuche aus 2016 zur Verfügung standen, konnten die 2-Wochen-Messungen gegen die Jahreswerte abgeglichen werden.

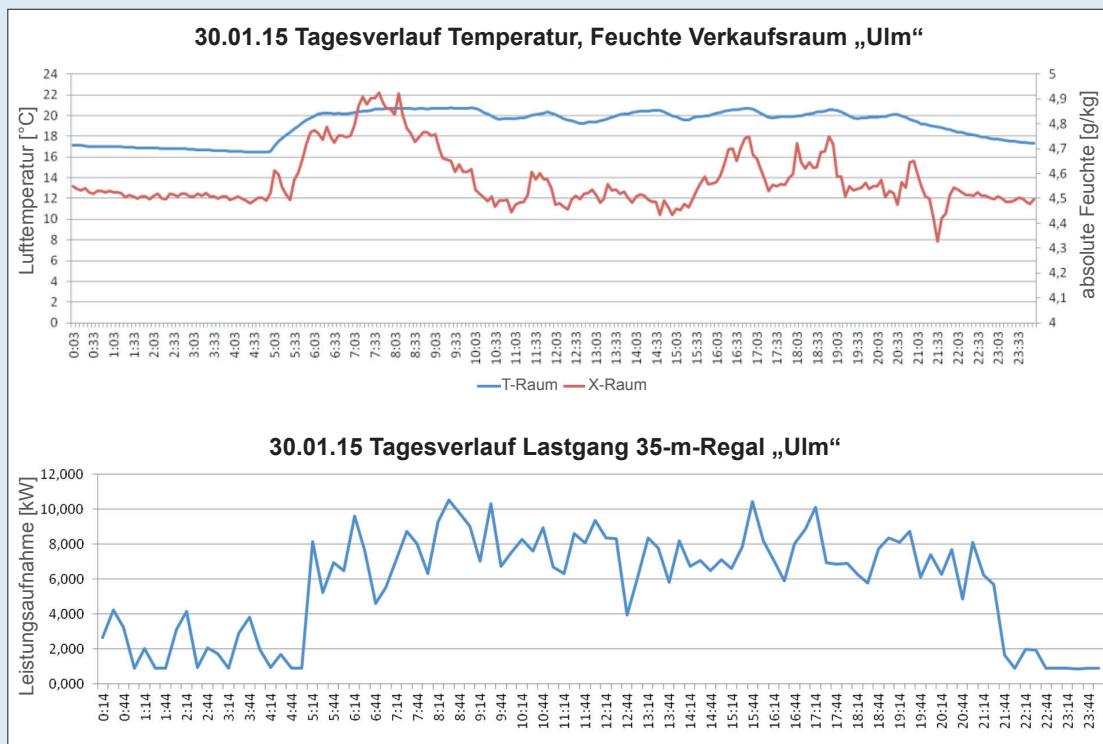


Abbildung 25. Raumtemperatur, Leistung Kälteanlage Messung „Ulm“

Messung/Parameter/Ort		Ulm
Regaltemperatur Zuluft offen/Tag	[°C]	1,5
Regalfeuchte Zuluft ohne Abdeckung, Erfahrungswert (Mittel)	[%]	87
Regal/Zulufttemperatur/Nacht, Annahme: wie Tag	[°C]	k. A.
Regal/Zuluftfeuchte/Nacht	[g/kg]	k. A.
Mittlere Temperatur während Messperiode (Tag/Nacht)	[°C]	19,6
Raumtemperatur/Tag	[°C]	20,7
Raumfeuchte/Tag	[g/kg]	4,3
Raumtemperatur/Nacht	[°C]	18,2
Raumfeuchte/Nacht	[g/kg]	4,2
gemessener Jahresverbrauch 2014	[kWh/a]	69.760
Anteil Kälteerzeugung (Verdichter + Verflüssigung)	[kWh/a]	k. A.
Anteil Kälteerzeugung für Tc-Jahresmittelwert (+55 %)	[kWh/a]	k. A.
Mehrbedarf für Wärmeleitung (Tu = 20 °C) auf Basis Nachttemp.		16,8 %
Jahreswert Kälteerzeugung für Wärmeleitung (Hochrechnung)	[kWh/a]	k. A.
Anteil Kälteerzeugung für Infiltration (direkte Messung 59 % offen)	[kWh/a]	22.608
Verbleibender Kälteerzeugungsbedarf (Infiltration)	[kWh/a]	k. A.
Mehrbedarf Kälteerzeugung für Infiltration (aus Saldo)		50 %
Rückrechnung Jahres-Raumklima aus Vergleich für Infiltration	[°C; % r. F.]	20; 43
Kältemittel		R134a
Verdichter-Kapazität	[m³/h]	k. A.
Messperiode von/bis		27.01.–28.02.15
Temperatur-Klasse des Kühlregals nach DIN 23953		k. A.
Nutzbreite Regal	[m]	35
Leistung Licht (Datenaufnahme)	[W]	644
Abtauleistung (Messung)	[W]	k. A.
Abtauzeit/Betriebszeit	[%]	k. A.
Begleitheizungen	[W]	0
Leistung Lüfter für Umluft im Kühlregal (Messungen)	[W]	700
mittlere Kälteleistung (el) Regal ohne Nachtdeckung	[kW]	5,616
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo offen (Hochrechnung)	[kW]	12,12
Kälteleistung (el) Rollo zu (Nacht) gemessen	[kW]	1,08
Kälteleistung (el) Rollo zu korrigiert auf Tu _{Tag-Messperiode}	[kW]	1,24
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo zu (Hochrechnung)	[kW]	1,95
spezifischer Verbrauch Regal (Messung 52 % Öffnungszeit)	[kWh/m•a]	1.210
spezifischer Ist-Verbrauch Regal (Basis: Verbrauch 2013)	[kWh/m•a]	2.072
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Messung	[kWh/m•a]	554
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Jahresklima	[kWh/m•a]	1.308
Jahres-Arbeitszahl der Kälteerzeugung ca.	[kWh _{th} /kW _{hel}]	5,51

Tabelle 15. Kennzahlen Kälteanlage und Kühlregale „Ulm“

Der tatsächliche Strombedarf liegt trotz einer Öffnungszeit von 59 % (gegenüber üblichen 52 %) bei **1.993 kWh/m•a**.

1.14 Messung Regal „München“

Bei diesen Kühlregalen mit einer Länge von 31,5 Metern ist die R290-Kältemaschine direkt in jedem einzelnen Regal von 2,5 m bis 3,75 m eingebaut.

Die Wärmeabfuhr erfolgt im Kühlregal mithilfe eines solegekühlten Wasserkreislaufs, der seine Wärme wiederum ins Freie abführt. Auf der Euroshop® 2017 wurde diese Konstruktion von der Mehrheit der Anbieter als Semi-Plug-in bezeichnet. Häufig wird auch die Bezeichnung Kühlregal mit Wasseranschluss gewählt.

Während der Messung wurde in drei Abschnitten das Nachrollo nicht geschlossen. Die Markttemperatur lag mit 18 °C (2,3 m Höhe) vergleichsweise niedrig.

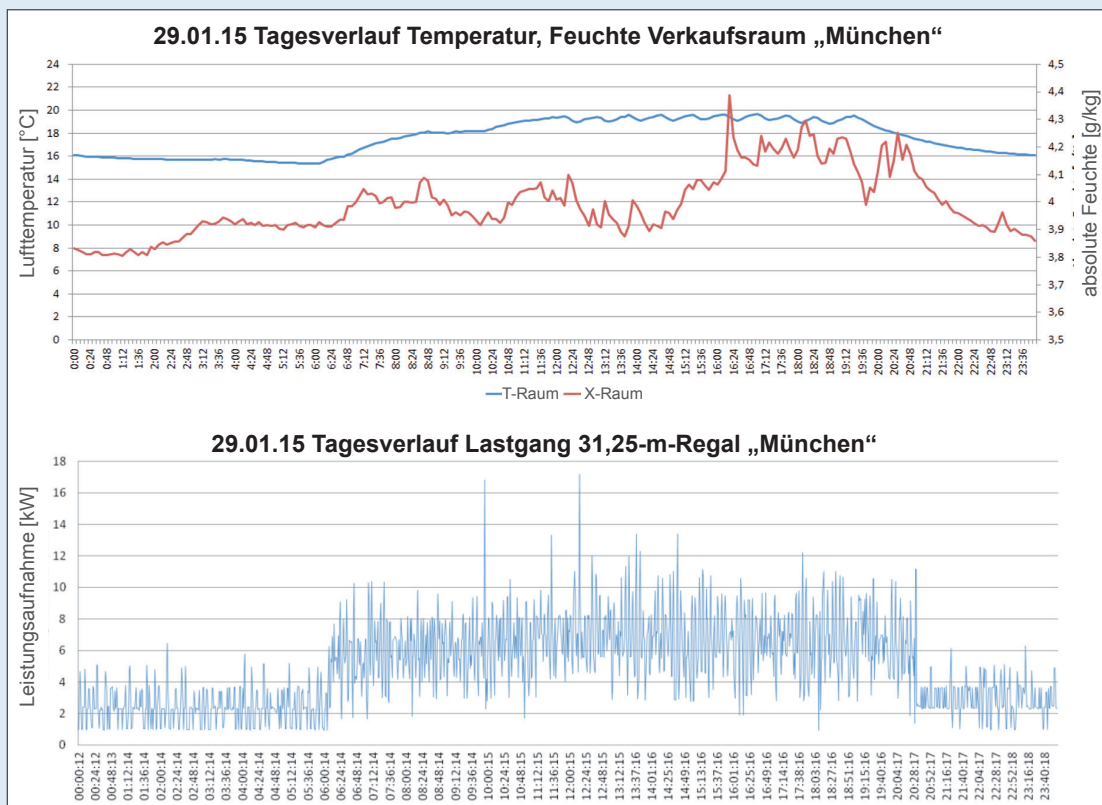


Abbildung 26. Raumtemperatur, Leistung Kälteanlage Messung „München“

Messung/Parameter/Ort		München
Regaltemperatur Zuluft offen/Tag	[°C]	1,7
Regalfeuchte Zuluft ohne Abdeckung, Erfahrungswert (Mittel)	[%]	87
Regal/Zulufttemperatur/Nacht, Annahme: wie Tag	[°C]	k. A.
Regal/Zuluftfeuchte/Nacht	[g/kg]	k. A.
Mittlere Temperatur während Messperiode (Tag/Nacht)	[°C]	16,7
Raumtemperatur/Tag	[°C]	18
Raumfeuchte/Tag	[g/kg]	3,4
Raumtemperatur/Nacht	[°C]	15,7
Raumfeuchte/Nacht	[g/kg]	3,2
hochgerechneter Jahresverbrauch 2014 aus 6 Monaten Messung	[kWh/a]	53,189
Anteil Kälteerzeugung (Verdichter + Verflüssigung)	[kWh/a]	k. A.
Anteil Kälteerzeugung für T _c -Jahresmittelwert (+55 %)	[kWh/a]	k. A.
Mehrbedarf für Wärmeleitung (T _u = 21 °C)		37,9 %
Jahreswert Kälteerzeugung für Wärmeleitung (Hochrechnung)	[kWh/a]	22.583
Anteil Kälteerzeugung für Infiltration (direkte Messung 52 % offen)	[kWh/a]	12.995
Verbleibender Kälteerzeugungsbedarf (Infiltration)	[kWh/a]	k. A.
Mehrbedarf Kälteerzeugung für Infiltration (aus Saldo)		71 %
Rückrechnung Jahres-Raumklima aus Vergleich für Infiltration	[°C; % r. F.]	k. A.
Kältemittel		R290
Verdichter-Kapazität	[m ³ /h]	k. A.
Messperiode von/bis		29.01.–09.02.15
Temperatur-Klasse des Kühlregals nach DIN 23953		k. A.
Nutzbreite Regal	[m]	31,25
Leistung Licht (Datenaufnahme)	[W]	590
Abtauleistung (Messung)	[W]	k. A.
Abtauzeit/Betriebszeit	[%]	k. A.
Begleitheizungen	[W]	0
Leistung Lüfter für Umluft im Kühlregal (Messungen)	[W]	630
mittlere Kälteleistung (el) Regal ohne Nachtdeckung	[kW]	5,03
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo offen (Hochrechnung)	[kW]	11,56
Kälteleistung (el) Rollo zu (Nacht) gemessen	[kW]	1,87
Kälteleistung (el) Rollo zu korrigiert auf T _{u,Tag-Messperiode}	[kW]	2,18
mittlere Jahres-Kälteleistung (el) Rollo zu (Hochrechnung)	[kW]	4,00
spezifischer Verbrauch Regal (Messung 52 % Öffnungszeit)	[kWh/m•a]	1.247
spezifischer Ist-Verbrauch Regal (TRY(13) 21 °C 50 % r. F.)	[kWh/m•a]	2.485
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, Basis: Messung	[kWh/m•a]	455
rechnerische Einsparung „Türen“ pro Meter, TRY(13) 21 °C 50 % r. F.)	[kWh/m•a]	1.235
Jahres-Arbeitszahl der Kälteerzeugung ca.	[kWh _{th} /kW _{he}]	5,51

Tabelle 16. Kennzahlen Kälteanlage „München“

Eine Hochrechnung auf Basis einer Verbrauchsmessung von 6 Monaten ergab einen spezifischen Ist-Verbrauch von **1.702 kWh/m•a**.

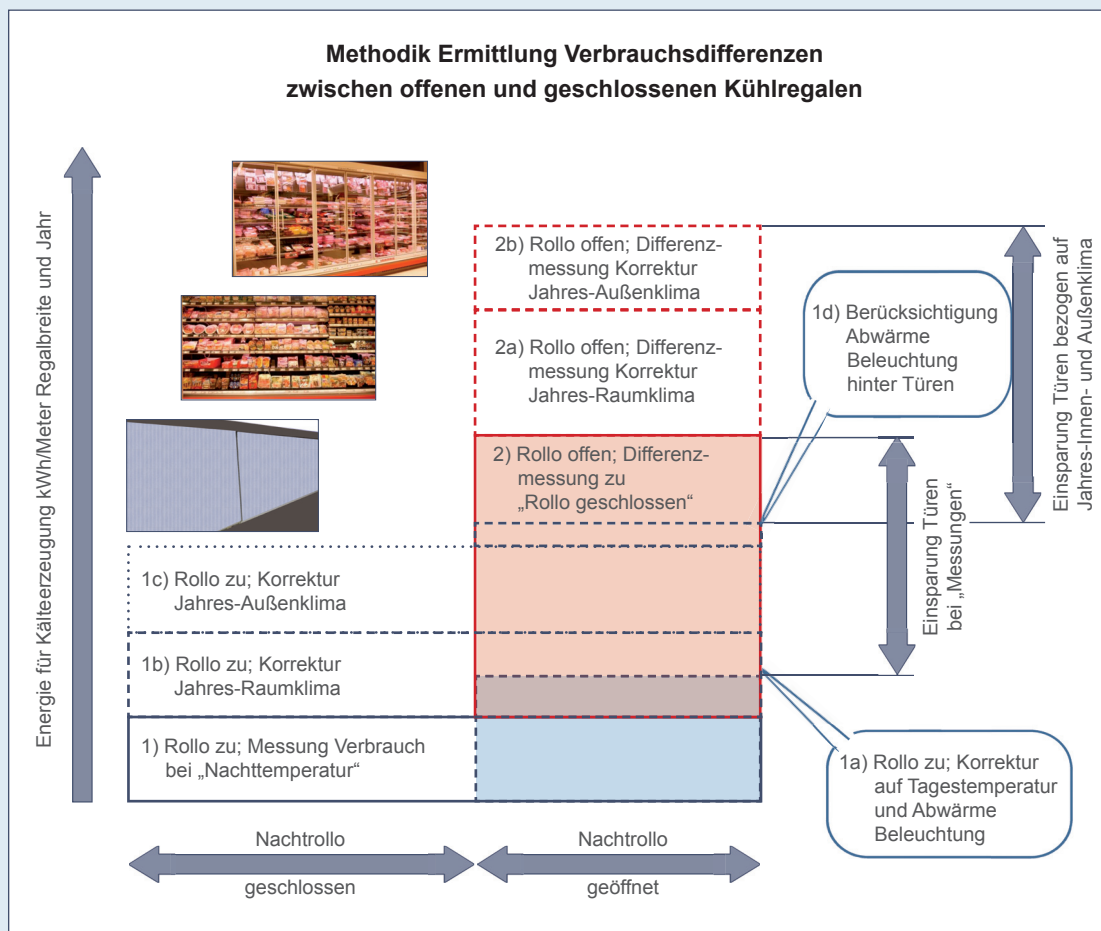


Abbildung 27. Verbrauchsdifferenzen Kühlregale mit und ohne Türen

Die Grundannahme bei der Ermittlung der Einsparung von Türen vor einem offenen Regal besteht darin, dass diese in etwa gleich oder besser isolieren als ein geschlossenes Nachrollo. Unter dieser Voraussetzung muss „nur“ der Verbrauch der Kälteerzeugung bei offenem und geschlossenem Rollo ermittelt werden. Die Problematik liegt allerdings darin, aus dieser Messung einen realistischen Jahreswert abzuleiten. Es sind daher mehrere Korrekturen notwendig.

- 1) Die während einer Messung vorherrschenden klimatischen Bedingungen in der Umgebung des Kühlregals müssen auf einen realistischen Jahres-Durchschnittswert hochgerechnet werden. Dies beeinflusst sowohl den Strombedarf des geschlossenen als auch den Bedarf des offenen Regals.
- 2) Bei einem mit Türen verschlossenen Regal wird die gesamte Abwärme der Beleuchtung gefangen und muss über die Kälteanlage zusätzlich abgeführt werden. Bei einem offenen Regal befindet sich die Beleuchtung oftmals auch außerhalb des Luftschleiers.
- 3) Die mittlere Jahres-Aufwandszahl für die Kälteerzeugung wird in erster Linie durch den Verlauf der Außentemperatur beeinflusst. Die tatsächliche Aufwandszahl während der Messperiode muss ebenfalls auf einen realistischen mittleren Jahreswert umgerechnet werden.

2.1 Einfluss von Temperatur Kühlregal und Umgebungsklima

Es liegt auf der Hand, dass der Temperaturunterschied zwischen Kühlmöbel und Umgebung entscheidenden Einfluss auf den Energieverbrauch ausübt. Leider gibt es so gut wie keine veröffentlichten Messkurven bestehender Kühlmöbel, aufgenommen in einer Klimakammer.

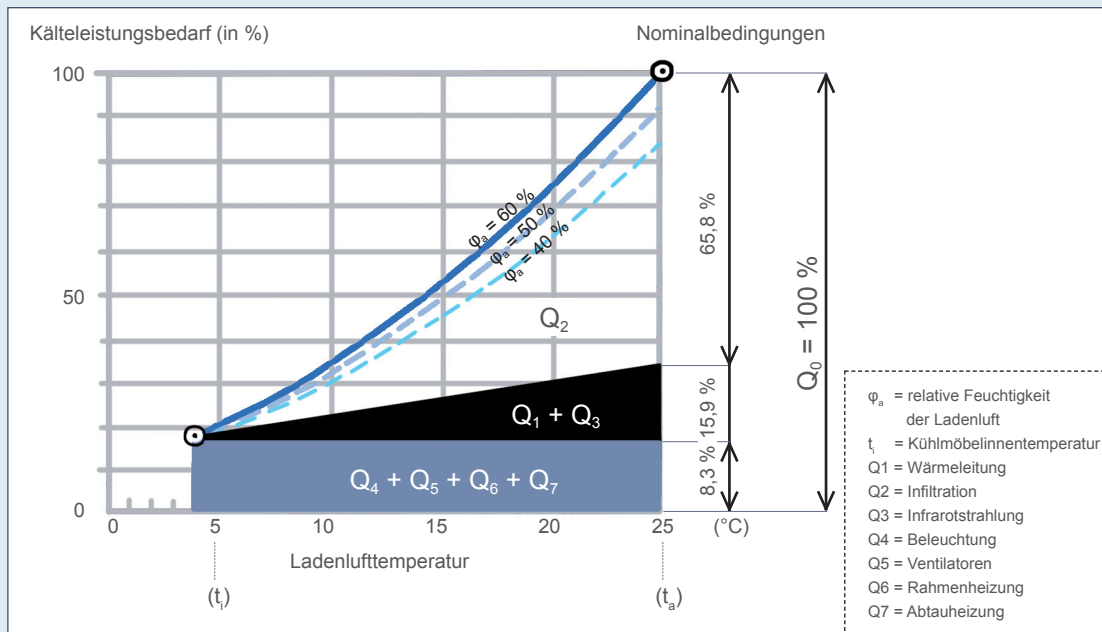


Abbildung 28. Einfluss Umgebungsbedingungen

Obige Abbildung verdeutlicht den Einfluss der Umgebungsbedingungen auf die Kältebedarfsanteile eines Kühlregals.³

Beträgt z. B. der Strombedarf bei einer Raumtemperatur von 15 °C und 40 % Luftfeuchte 100 %, steigt der Kältebedarf für Infiltration bei 20 °C und 50 % Feuchte auf 155 % an.

Im Korrekturmodell wird für Wärmeleitung und Infrarotstrahlung gemeinsam linear ein Zusammenhang zwischen benötigter Kühlleistung und Temperaturdifferenz zwischen Regal und Umgebung unterstellt.

Für die Infiltration wird ein direkter Zusammenhang zwischen dem Energiebedarf zur Abkühlung und Entfeuchtung der Umgebungsluft auf Temperatur und Feuchte nach dem Kühlregister unterstellt. Die Menge der einfallenden Luft wird dabei als gleich angenommen. Wir haben die Werte daher näherungsweise mithilfe des Mollier-Diagramms bestimmt (siehe nachstehendes Beispiel).

³ [Rigot, 1990] Rigot G.: Meubles & Vitrines Frigorifiques, technologie, utilisation, critères de choix; pyc édition, Paris, 1990.

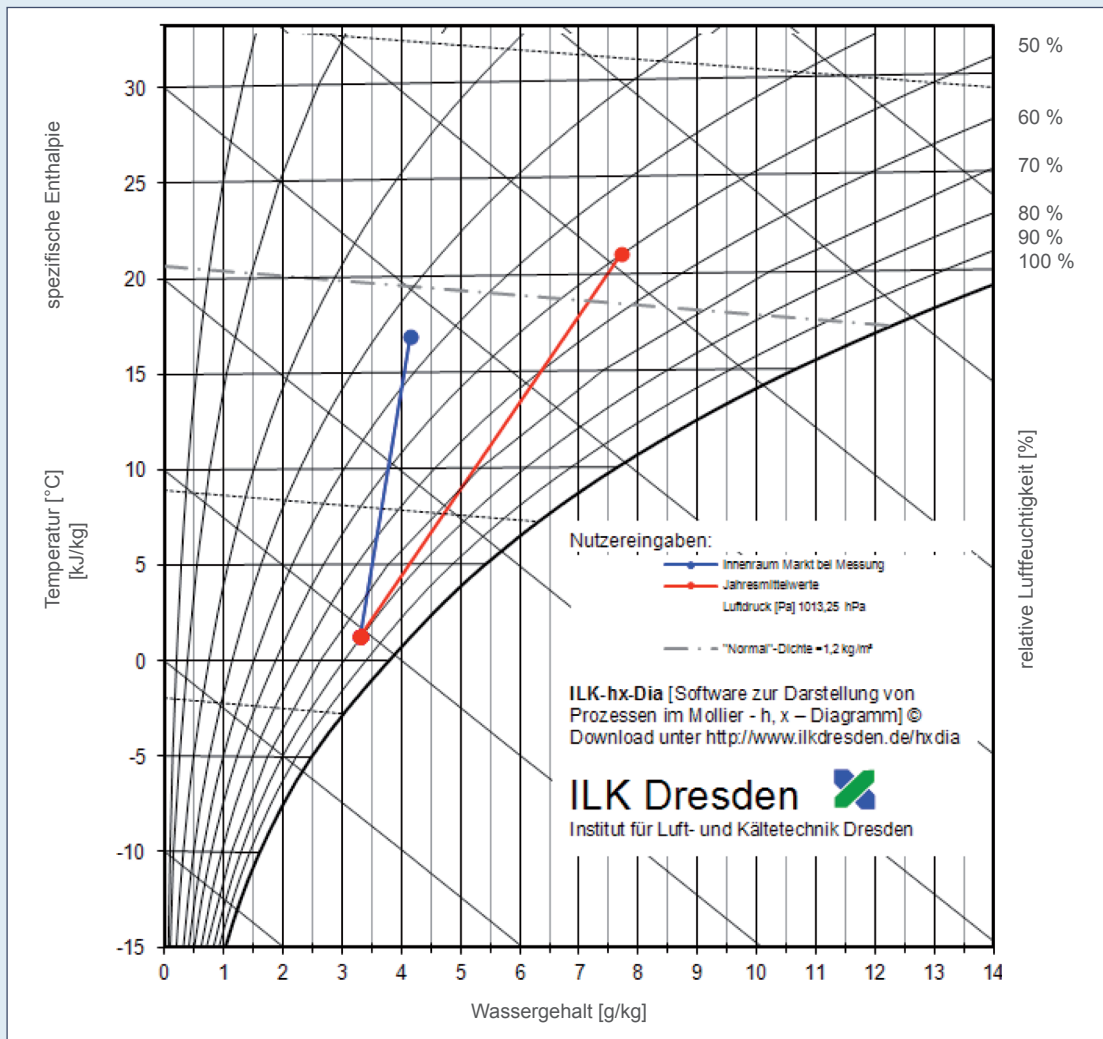


Abbildung 29. Abkühlung und Entfeuchtung im Kühlregal

Während der Messung (blaue Kurve) wurde die Umgebungsluft im Markt von 16,8 °C und 35 % r. F. im Regal auf 1,3 °C und 80 % Luftfeuchte abgekühlt. Für exemplarische 1.000 kg Luft pro Stunde benötigt das Regal eine Leistung von 5,4 kW⁴ inkl. der notwendigen Vereisungswärme.

Für das Jahres-Durchschnittsklima (rote Kurve) von 21 °C und 50 % r. F. wird dagegen bei der gleichen Abkühlung eine Leistung von 8,7 kW (vgl. ILK-Berechnungstool) benötigt. Dies bedeutet, im Jahresmittel wird für die Behandlung der einfallenden Luft im Regal ca. **60 % (!)** mehr Energie benötigt als während der Messung selbst. Die Menge der einfallenden Luft muss dabei nicht bekannt sein. Es kommt bei dieser Vorgehensweise nur auf den relativen Unterschied der benötigten Leistung an.

⁴ Die Werte wurden mit dem h-x-Tool des ILK Dresden berechnet. Vereisungsenergie wurde mit 0,1 kWh/kg Wasser/Eis berücksichtigt.

Verbrauchsunterschiede im idealen Kälteprozess: Die Wahl des Kältemittels hat grundsätzliche Bedeutung für die Energieeffizienz der Kälteanlage. Um die Energieeffizienz verschiedener Kältemittel darzustellen, wurde näherungsweise ein Idealprozess mit einem verlustfreien Verdichter simuliert. Der Vergleich wurde mit der Software Refrigeration Utilities⁵ vorgenommen.

Die folgende Abbildung zeigt den für alle Kältemittel gewählten Referenzprozess.

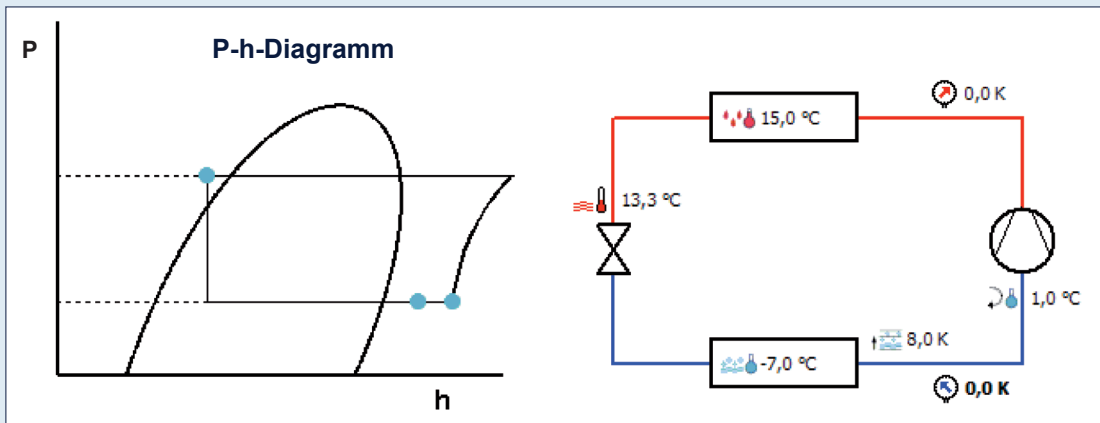


Abbildung 30. Standardprozess für einen Kältemittelvergleich⁶

Das Beispiel eines Berechnungsergebnisses für R290 (Propan) ist in der nachfolgenden Abbildung ersichtlich:

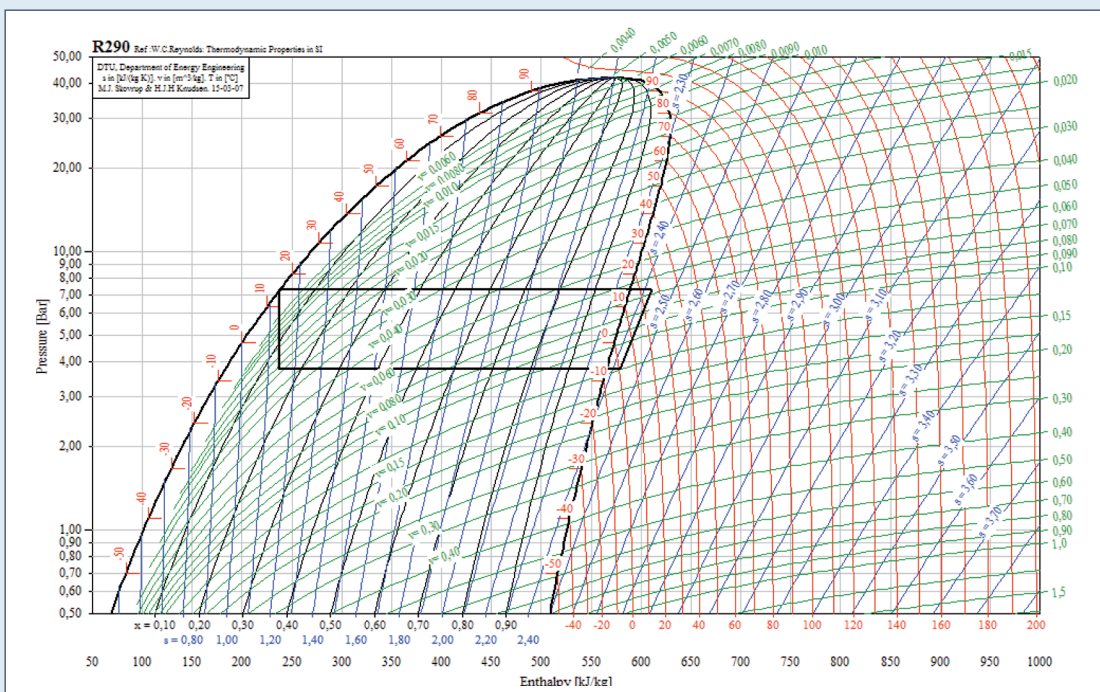


Abbildung 31. Referenzprozess für Kältemittelvergleich R290 (Propan)

⁵ Version 2.84. Technical University of Denmark. www.et.dtu.dk/CoolPack

⁶ Quelle: Select 7.10 Copeland Selection Software Emerson Climate Technologies

Einflüsse des technologischen Aufwandes werden durch einen Prozess ohne Druckverluste in den Leitungen und einem verlustfreien Verdichter mit einem sogenannten Isentropen-Wirkungsgrad von 1,0 eliminiert. Im Diagramm bleibt die Entropie „S“ daher während des Verdichtungs Vorgangs als reversibler Idealprozess unverändert.

Aus der Software lässt sich ein Verhältnis von Leistungsaufnahme Verdichter zu Kälteleistung von $P_{el}/Q_v = 0,0921$ ablesen. Das heißt für eine Kälteleistung von einem Kilowatt müssen 92 W elektrische Energie aufgewendet werden.

Nachstehende Tabelle zeigt beispielhaft die Effizienz von vier überprüften Kältemitteln in einem angenäherten Idealprozess mit einem verlustfreien Verdichter:

	R404A	R744 (CO ₂)	R134a	R290 (Propan)
	100 %	122 %	99 %	97 %
P_{el}/Q_v	0,0953	0,1163	0,0941	0,0921

Tabelle 17. Energieeffizienz verschiedener Kältemittel

An dieser Stelle soll nicht verschwiegen werden, dass – je nach Einsatzbedingungen – CO₂ als Kältemittel auch effizient sein kann. Dies gilt vor allem, wenn Anlagen so ausgelegt sind, dass niedrige Außentemperaturen für die Wärmeabfuhr genutzt werden können. Obige Betrachtung bezieht sich auf den vorliegenden Einsatzfall in NK-Kühlregalen.

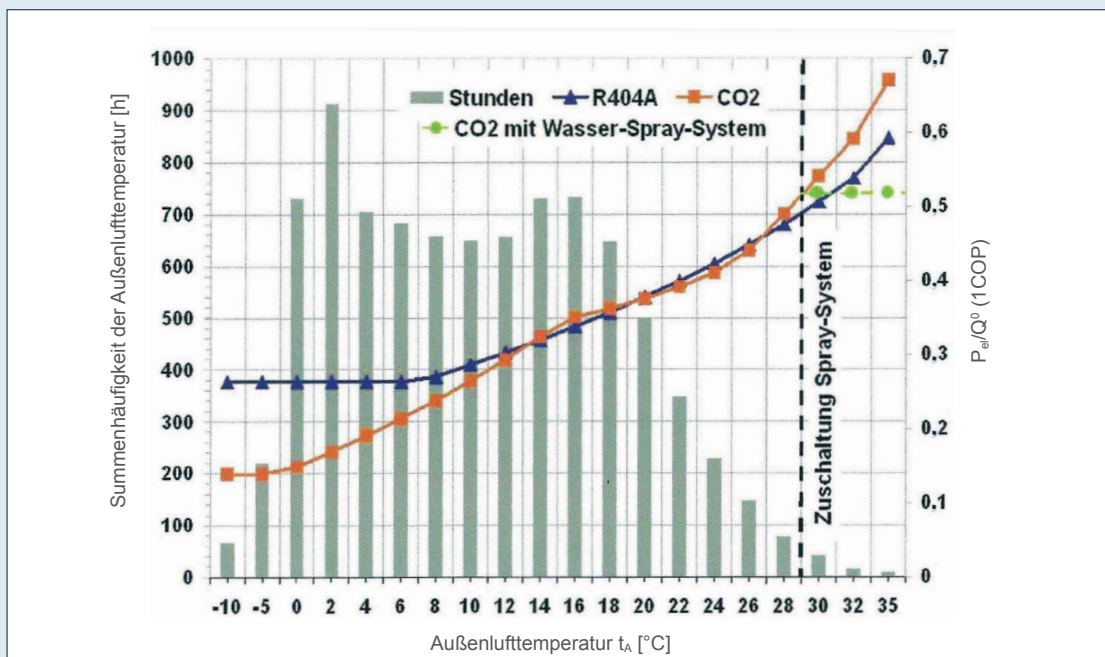


Abbildung 32. Effizienz von CO₂ als Kältemittel⁷

Die Grafik zeigt auf, dass die Stärken von CO₂ in erster Linie bei niedrigen Umgebungstemperaturen liegen.

⁷ Carrier aus: Kältetechnik CO₂ stationär; TWK-GmbH Karlsruhe

In der Norm 23953 ist als Prüfbedingung festgelegt, dass jede Tür eines Möbels bei NK (nicht TK) **10 x pro Stunde für 15 Sekunden** geöffnet wird. Während dieser Zeit muss die Tür für **13 Sekunden** vollständig geöffnet sein. Dies entspricht einer **Öffnungszeit von ca. 4 %**. Die HAUSER-Studie untersucht z. B. Öffnungszeiten von **1 %, 4 %, 10 % und 20 %**. Wie sind diese Werte einzuordnen? Ein Hinweis findet sich im Fraunhofer-Bericht Aldi-Süd⁸. Maximal 100 gleichzeitig anwesende Personen (Auslegung Lüftungskonzept) stehen Kühlregalen mit 28⁹ Türen gegenüber. Öffnet jeder Besucher 1x die Tür, entspricht das einer Öffnungszeit von 4 % und einer mittleren Besuchszeit von 16 Minuten. Auf Tagesbasis entspräche dies bei 12 h Öffnungszeit des Marktes 4.377 Besuchern. Man sieht, dass diese aus der Auslegung stammenden Zahlen in Bezug auf einen Normalbetrieb an allen Seiten überzogen sind. Weder kauft jeder Besucher im Kühlregal, noch öffnet er die Türen für 15 Sekunden, noch ist die Besuchsfrequenz bezogen auf eine vollständige Einkaufswoche realistisch. Der Autor unterstellt in dieser Studie daher eine **maximale mittlere realistische Öffnungszeit von 1 %**. Sollte in diesem Fall Zweifel bestehen, wird empfohlen, eine Rückrechnung anhand von Warengruppen, Umsatz und Kaufakten vorzunehmen. Einen weiteren Hinweis bietet die Map-Funktion von Google. Hier können Stoßzeiten zu mittleren Zeiten in Bezug gesetzt werden.

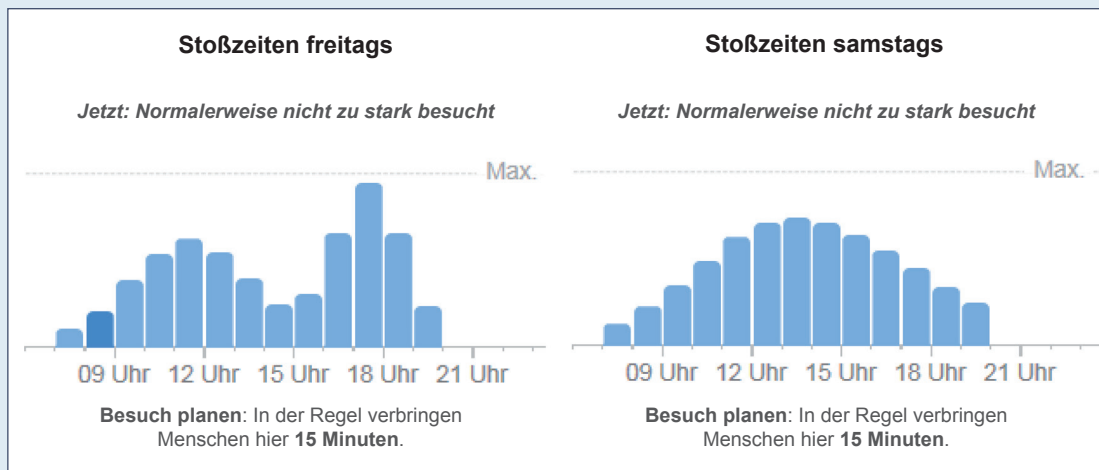


Abbildung 33. Ermittlung Besuchsfrequenz eines Marktes mit Google

Stichprobenartige Besuche zu stark frequentierten Öffnungszeiten¹⁰ lassen vermuten, dass die tatsächlichen Zeiten weit unter 1 % liegen. Die Annahme von 1 % in der HAUSER-Studie ist nach Einschätzung des Autors daher auf der sicheren Seite.

⁸ Aldi 2010 – Hocheffizienter Supermarkt mit geothermiegestütztem Kälteverbund. Abschlussbericht 2013. Fraunhofer ISE. Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Förderkennzeichen 0327894-A.

⁹ Der Markt ist nicht mit Türen ausgestattet. Angenommen werden 2 Türen je Kühlregal-Achse von 1,25 m.

¹⁰ Über Google Maps[®] kann eine Schätzung der Stoßzeiten jedes Geschäfts eingesehen werden. Diese Angaben konnten durch eine Datenaufnahme vor Ort bestätigt werden.

4.1 Beispiel Ermittlung der Besuchsfrequenz eines Marktes

Für den Beispielmarkt ergeben sich über Google folgende relative Stoßzeiten.

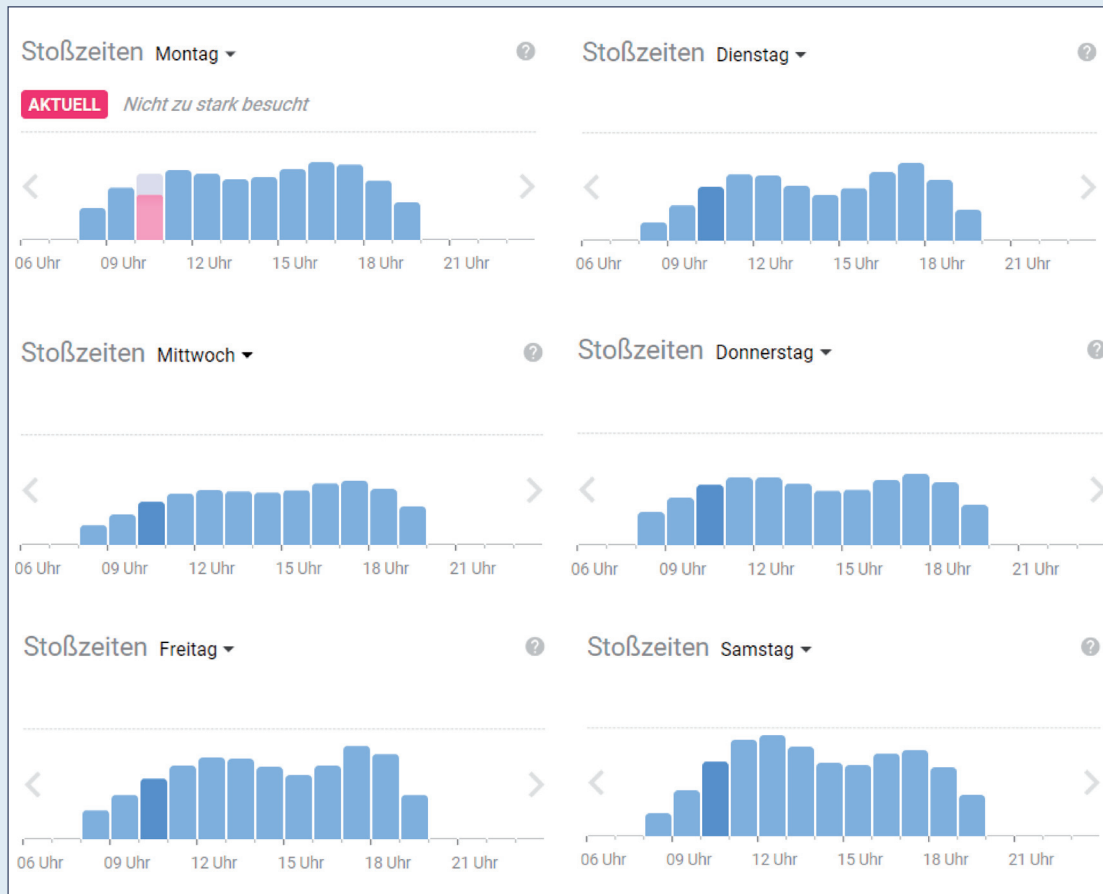


Abbildung 34. Besuchsfrequenz für den Beispielmarkt

Aus der Anwesenheit von z. B. 56 Personen zur Spitzenzeit am Samstag von 12:00 bis 13:00 Uhr und einer Verweildauer von 15 Minuten ergibt sich eine abgeschätzte Anzahl von im Mittel 121 Besuchern pro Stunde. Öffnet jeder 1 x das Kühlregal für 6 Sekunden, ergibt sich bei 65 Türen eine Öffnungszeit von 0,3 %. Rechnet man die gleiche Zeit noch einmal für das Befüllen, läge die Öffnungszeit im Mittel bei **0,6%**.

Zur Erläuterung des Hauptkapitels wird an dieser Stelle die Datenbasis näher beschrieben.

Wann fühlen Kunden und Mitarbeiter sich wohl bzw. welches Klima sollte im Markt angestrebt werden?

Quellen sind technischen Regeln für Arbeitsstätten, als auch Behaglichkeitsangaben verschiedener Autoren, die sich alle ähneln.

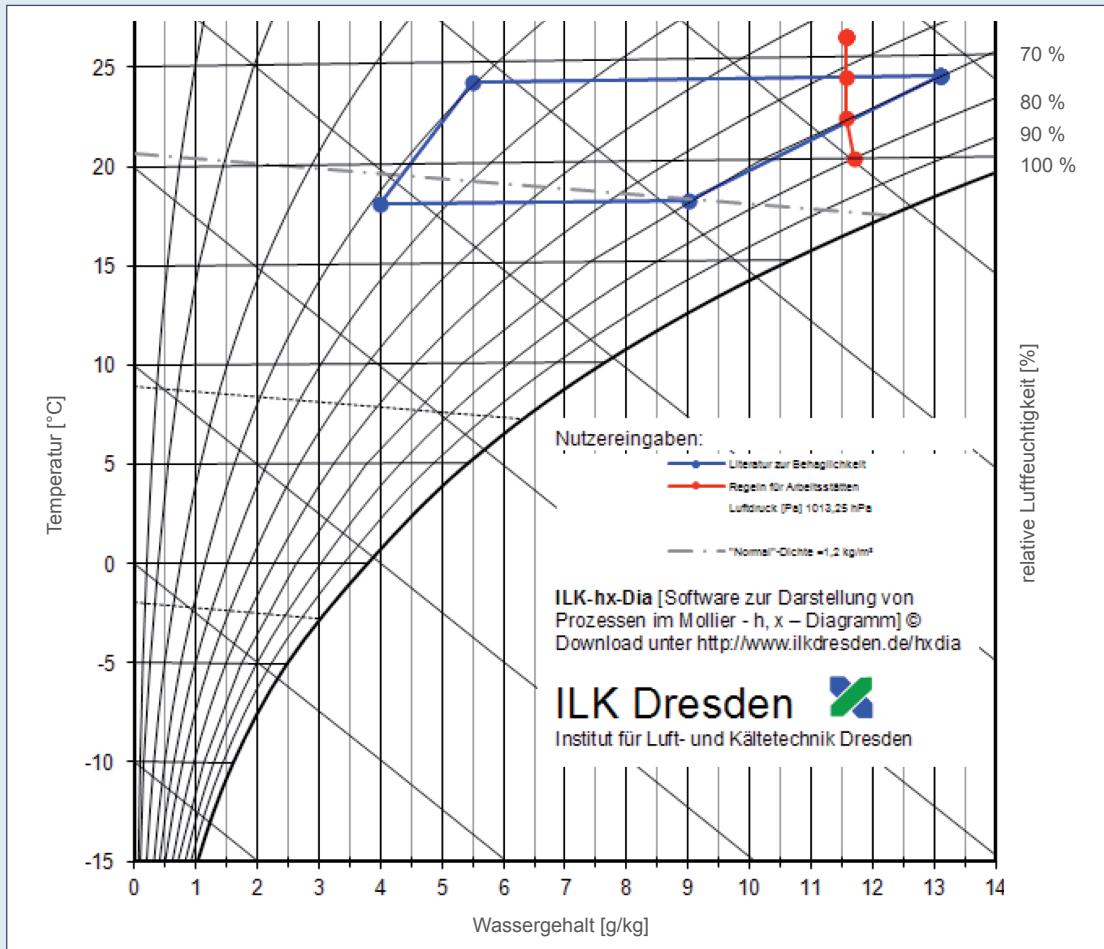


Abbildung 36. Temperaturanforderungen im Mollier-Diagramm¹²

Lufttemperatur	Relative Luftfeuchtigkeit
+20 °C	80 %
+22 °C	70 %
+24 °C	62 %
+26 °C	55 %

Tabelle 18. Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit

¹² Technische Regeln für Arbeitsstätten-ASR A3.6, Januar 2012, www.baua.de Lüftung Januar 2012

Die Grenzwerte aus den technischen Regeln für Arbeitsstätten geben eine Grenze für die Luftfeuchte von ca. 11,5 g/kg Luft vor (rot). Die Grenzen für Behaglichkeit in einer Büroumgebung sind etwas weiter gefasst.

Wird davon ausgegangen, dass es für Kunden und Mitarbeiter im Verkaufsraum auch im Sommer bei insgesamt leichter Bekleidung noch „behaglich“ ist, sollte es im Markt nicht wärmer als 24 °C bei grob 60 % Luftfeuchtigkeit werden.

Zusätzlich gibt es eine Grenze für die Einsatzfähigkeit der verwendeten Kühlmöbel. Diese werden überwiegend nach Klimaklasse 3 (DIN 23953) verkauft. Mit anderen Worten: Es sollte im Markt nicht wärmer werden als 25 °C bei 60 % relativer Feuchte.

Die Randbedingungen im Kältemittel und Kälteanlage können wie folgt beschrieben werden:

7.1 Referenzklima

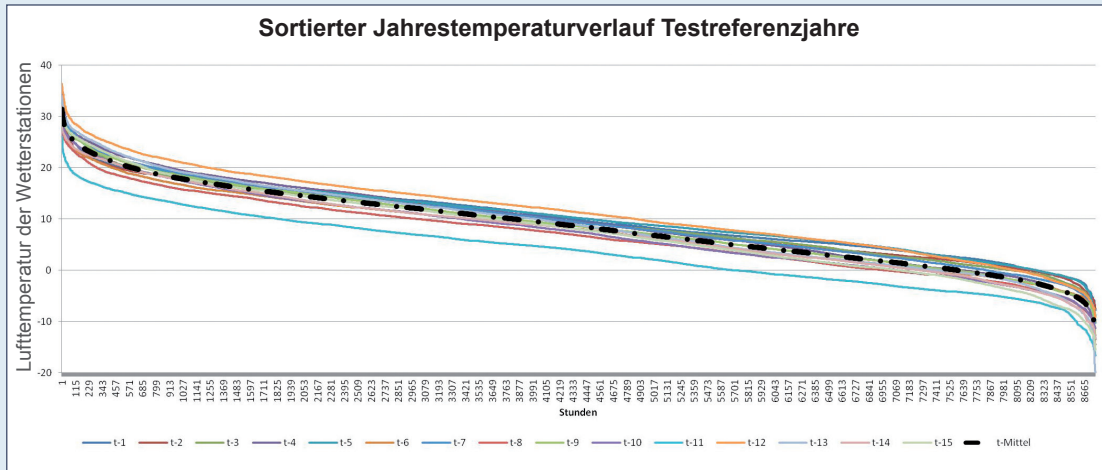


Abbildung 37. Sortierte Jahrestemperaturverläufe Testreferenzjahre

Als Vergleichsgrundlage wurde ein mittleres Klima in Deutschland berechnet. Dazu wurden die Temperaturverläufe der 15 Testreferenzjahre (TRY) des Deutschen Wetterdienstes zuerst sortiert und anschließend ein Mittelwert gebildet.

7.2 Kondensationstemperaturen

Für Verflüssiger bzw. Gaskühler wurde eine Temperaturdifferenz zwischen Lufttemperatur und Austrittstemperatur des Kältemittels von $7,5 \text{ °C}^{13}$ unterstellt. Die minimale Verflüssigungstemperatur wurde mit 15 °C angesetzt.

Daraus ergeben sich 3.996 Stunden im Jahr mit einer Außentemperatur kleiner $7,5 \text{ °C}$ und einer minimalen Verflüssigungstemperatur von 15 °C . Für Temperaturen unterhalb von 25 °C Lufttemperatur wird bei CO_2 -Anlagen ein subkritischer Betrieb unterstellt. Daraus ergeben sich 4.648 Stunden im Temperaturbereich zwischen $7,5 \text{ °C}$ und 25 °C Außentemperatur. Der Mittelwert beträgt 14 °C . Daraus ergibt sich eine mittlere Kondensationstemperatur von $21,5 \text{ °C}$.

Für 116 Stunden liegt die Temperatur im Jahr oberhalb von 25 °C . Der Mittelwert beträgt 27 °C . Die mittlere Kondensationstemperatur beträgt in dieser Zeit $34,5 \text{ °C}$.

¹³ Im Gaskühler werden geringere Werte erzielt. Es wurde für CO_2 daher für T-Luft $< 25 \text{ °C}$ ein subkritischer Betrieb unterstellt.

7.3 Sonstige Randbedingungen

Für den weiteren Kältekreislauf wurden folgende Werte unterstellt:

Der Verdichter muss bei maximalen Temperaturen mindestens 5 kW Kälteleistung erbringen.

- Die Verdampfungstemperatur im NK-Kreislauf beträgt -9 °C . Bei der CO_2 -Injektoranlage -4 °C . Die nutzbare Überhitzung ist die Differenz bis 0 °C , also 9 K und 4 K. Die Unterkühlung im Verflüssiger beträgt 0 K. Es ist kein innerer Wärmeaustauscher außer bei Booster-Systemen vorhanden. Aus der nutzbaren Kälteleistung und der Leistungsaufnahme wurde die Leistungszahl ermittelt.
- Für die CO_2 -Boosteranlage mit Parallelverdichter wurde ein Mitteldruck im Abscheider von 40 Bar angenommen. Der Flashgasanteil wurde mit dem kleinsten verfügbaren Verdichter komprimiert. Aus den Massenanteilen wurde eine mittlere Leistungszahl berechnet.
- Alle Berechnungen wurden mit der Bitzer-Software¹⁴ für halbhermetische Kolben bzw. CO_2 -Booster-Systeme vorgenommen.

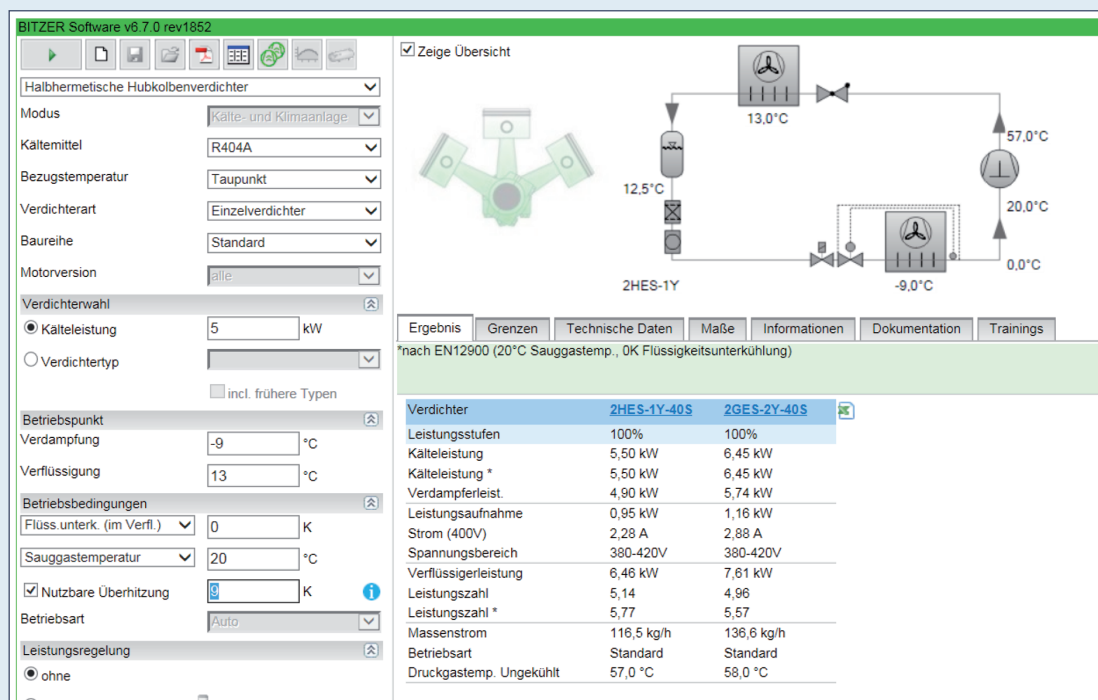


Abbildung 38. Beispiel Bildschirmfoto Bitzer-Berechnung

¹⁴ <https://www.bitzer.de/websoftware/Default.aspx> Version v6.7.0 rev1852

Nr.	Bezeichnung	Seite
1.	Auskondensierte Luftfeuchte und Energiebedarf.....	102
2.	Auskondensierte Feuchte und Türöffnungsgrad.....	103
3.	Kühlregal „A II“ mit Verdichter aus 1979.....	104
4.	Leistungsaufnahme, Temperaturen, Feuchte, Regal-2.....	105
5.	Kühlregal „Aindling I“ mit Einzelanlage aus 1979	107
6.	Tagesverlauf, Leistung Regal-1 „Aindling I“.....	107
7.	Kühlregal „Aindling IV“ mit Einzelanlage aus 1979.....	109
8.	Tagesverlauf Leistungsaufnahme „Aindling IV“.....	109
9.	Regal mit Produkten einheitlicher Anforderung < 8 °C	111
10.	Leistung, Temperaturen, Feuchte „Waldkraiburg“.....	112
11.	Mopro-Regal mit Verbundanlage.....	114
12.	Fleischregal mit Verbundanlage.....	114
13.	Temperaturen, Leistung „Würzburg I“.....	115
14.	MoPro-Regal.....	117
15.	Einzelverdichter.....	117
16.	Temperaturen, Leistung Verbundanlage „Würzburg II“.....	118
17.	Wurstregal.....	120
18.	Verflüssiger.....	120
19.	Temperaturen, Leistung Verdichter „Würzburg III“.....	121
20.	Regal mit Türen.....	123
21.	Anlage „Würzburg IV“.....	123
22.	Temperaturen, Lastgang, Regal mit Türen „Würzburg IV“	123
23.	Raumtemperatur, Leistung Kälteanlage „Frankfurt“.....	125
24.	Raumtemperatur, Leistung Kälteanlage „Weinsberg“.....	129
25.	Raumtemperatur, Leistung Kälteanlage Messung „Ulm“.....	131
26.	Raumtemperatur, Leistung Kälteanlage Messung „München“	133
27.	Verbrauchsdifferenzen Kühlregale mit und ohne Türen.....	135
28.	Einfluss Umgebungsbedingungen.....	136
29.	Abkühlung und Entfeuchtung im Kühlregal.....	137
30.	Standardprozess für einen Kältemittelvergleich.....	138
31.	Referenzprozess für Kältemittelvergleich R290 (Propan).....	138
32.	Effizienz von CO ₂ als Kältemittel.....	139
33.	Ermittlung Besuchsfrequenz eines Marktes mit Google.....	140
34.	Besuchsfrequenz für den Beispielmart.....	141
35.	Entfeuchtung: Schema des Verdampfers.....	142
36.	Temperaturanforderungen im Mollier-Diagramm.....	143
37.	Sortierte Jahrestemperaturverläufe Testreferenzjahre.....	145
38.	Beispiel Bildschirmfoto Bitzer-Berechnung.....	146

Nr.	Bezeichnung	Seite
1.	Übersicht Ergebnisse Messung steckerfertige Kühlregale.....	100
2.	Auswertung Vergleichsmessung steckerfertige Kühlregale	101
3.	Zusammenfassung Ergebnisse HAUSER-Studie.....	104
4.	Ergebnisse Messung Kühlregal „Aindling II“	106
5.	Ergebnisse Messung Kühlregal „Aindling I“	108
6.	Ergebnisse Messung Kühlregal „Aindling IV“	110
7.	Ergebnisse Messung Verdichter „Waldkraiburg“	113
8.	Ergebnis Unterschied Tag/Nacht Verbundanlage	116
9.	Ergebnisse Rollo Auf-Zu „Würzburg II“.....	119
10.	Kenndaten Wurstregal „Würzburg III“	122
11.	Kennzahlen Regal mit Türen „Würzburg IV“	124
12.	Kennzahlen 35-m-Regal „Frankfurt 2013“	126
13.	Kennzahlen 35-m-Regal „Frankfurt 2014“	127
14.	Kennzahlen Kälteanlage und Kühlregale „Weinsberg“	130
15.	Kennzahlen Kälteanlage und Kühlregale „Ulm“	132
16.	Kennzahlen Kälteanlage „München“	134
17.	Energieeffizienz verschiedener Kältemittel	139
18.	Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit	143

DANKSAGUNG

Diese Studie ist eine Teamleistung der Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG. Ohne die fachliche Expertise von Dipl.-Ing. (Univ.) Martin Winkler und die harten Diskussionen, die ich mit ihm führen durfte, hätte diese Studie ein anderes, weniger facettenreiches Gesicht. Dem Einsatz von Dipl.-Ing. (FH), Elektrotechnik, Thomas Wolf, ist es zu verdanken, dass uns deutschlandweit aussagefähige Messwerte von Kühlregalen zur Verfügung standen. Er hat sich bereit erklärt, das komplette Messwesen zu übernehmen und ist Tausende Kilometer, auch bei widrigsten Wetterbedingungen, durch die Republik gefahren. Frau Heidi Seidl hat in bewundernswerter Weise alles koordiniert und das Projekt immer wieder vorangetrieben. Frau Franziska Junghans von Ka&Jott hat nach mehreren Korrekturläufen unseres Teams sofort einen Tippfehler im Inhaltsverzeichnis erspäht, unsere Studie in eine überaus ansprechende Form gebracht und pünktlich ausgeliefert.

Oliver Amler, Inhaber der O&P Werbung aus Trostberg, hat sich bereit erklärt, zur Auflockerung des mitunter anspruchsvollen Textes einige Cartoons für uns anzufertigen.

Viele weitere Personen haben mich auch bei der Erstellung dieser zweiten Basis-Studie unterstützt. Allen voran die selbständigen Einzelhändler, ohne deren Einwilligung zur Veröffentlichung der Messergebnisse diese Studie nicht möglich gewesen wäre. Stellvertretend sollen nur einige wenige namentlich genannt werden:

Herr Heinrich, Wilhelm, Aindling
Herr Klück, Peter, Traunreut
Herr Knappert, Ralf, Nürnberg
Herr Koch, Guido, St. Wendel
Herr Namberger, Anton, Traunstein
Frau Wehnert, Brigitte, Würzburg
Herr Wehnert, Georg, Würzburg
Herr Wittmann, Georg, Waldkraiburg

Ihnen allen meinen herzlichen Dank.

Ihr



Jürgen Steinmaßl

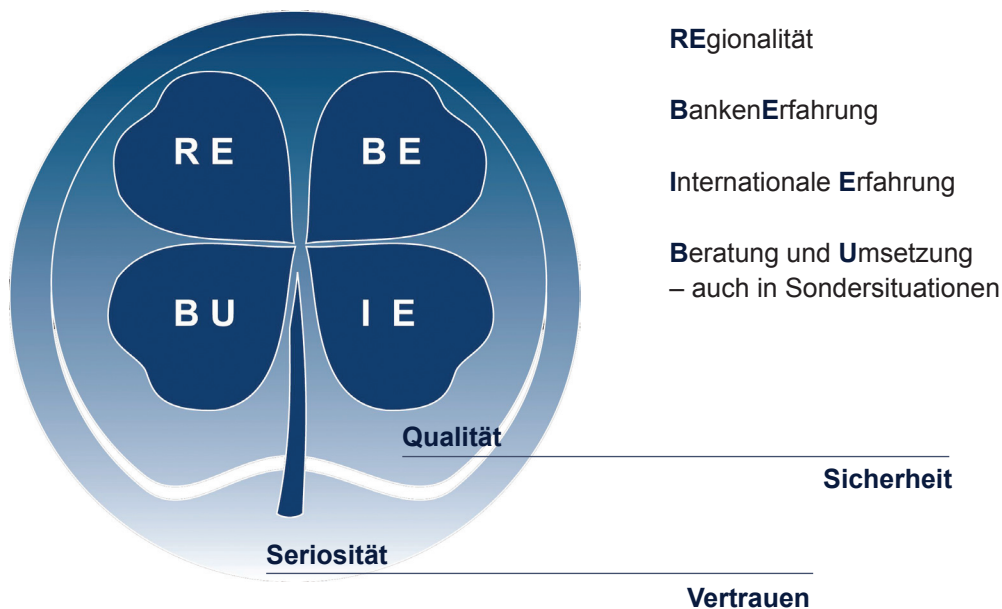
Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG

Die Dr. Steinmaßl MANAGEMENTBERATUNG ist eine Unternehmensberatung für kleine und mittelständische Unternehmen aller Branchen sowie für Unternehmensgründer.

Eine Unternehmensberatung, die nicht nur analysiert und berät, sondern die Umsetzung ihrer Empfehlungen aktiv mitgestaltet.

Eine Beratung, die sich als Partner an Ihrer Seite versteht und dabei den Markt nicht aus den Augen verliert. Ihr Erfolg ist unser Ziel.

Unsere Alleinstellungsmerkmale:



Unternehmensberatung wird von Menschen für Menschen gemacht. Die Chemie muss stimmen. Das bedeutet für uns:

- persönliche Betreuung
- Der Kunde steht immer im Mittelpunkt.
- Vertraulichkeit ist unser oberstes Gebot.
- leistungsgerechte, faire Konditionen
- absolute Praxisorientierung
- zuverlässige Erledigung aller übertragenen Aufgaben
- Entwicklung maßgeschneiderter Lösungen



