

Untersuchung zur Möglichkeit einer Abdeckung von Kühl- und Tiefkühlmobiliar in Supermärkten

F.A.T.M. Ligthart

Januar 2008

Hinweis zur Verantwortung für diese Untersuchung

Dieses Gutachten wurde im Auftrag der Abteilung Umwelt- und Bauaufsicht mit der ECN-Projektnummer 7.4995 angefertigt.

Einleitung

Die Abteilung Umwelt- und Bauaufsicht in Amsterdam hat ECN mit der Beantwortung der Frage betraut, welche Amortisierungszeit im Hinblick auf die Abdeckung bestehenden Kühl- und Tiefkühlmobiliars angenommen werden kann. Dabei ist insbesondere auf Folgendes zu achten:

1. Energieverbrauch des Kühlmöbels;
2. Energiepreis;
3. Preis für die Abdeckung

Die Amortisationszeit wird dadurch berechnet, dass der Investitionsbetrag für die Abdeckung des Kühlmöbels durch die Kostenreduzierung aufgrund von Energieeinsparung pro Jahr dividiert wird, vermindert um eventuelle zusätzliche Kosten für die Maßnahme.

Die Amortisationszeit für die Abdeckung stehender vertikaler Kühlvitrienen in Supermärkten liegt bei 2,9 Jahren mit einer Marge von $\pm 0,9$ Jahren. Bei horizontalem Tiefkühlmobiliar liegen die Amortisationszeiten für Abdeckungen bei etwa 2,4 Jahren mit einem Maximum von 2,5 und einem Minimum von 1,3 Jahren. Bei horizontalem Kühlmobiliar liegt die Amortisationszeit bei 9,4 Jahren. Die Amortisationszeiten bei der Nachtdeckung liegen zwischen 1,8 und 4,1 Jahren.

Untersuchungen haben gezeigt, dass der Umsatz nicht unter den Einsparungsmaßnahmen leidet und dass das Komfortniveau im Supermarkt erheblich steigt, wenn Kühl- und Tiefkühlmobiliar abgedeckt wird.

Inhalt

Liste der Tabellen	4
Liste der Abbildungen	4
1. Introduction	5
1.1 Das Projekt „Handhaven bij supermarkten – een open deur“	5
1.2 Auftrag an ECN	6
2. Gründung der Amorisationszeit im Zusammenhang mit der Abdeckung von vertikalen Kühlvitrienen	7
2.1 Der Energieverbrauch des Vertikalen Kühlmöbels	7
2.1.1 Wissenschaftliche, theoretische Herangehensweis	8
2.1.2 Praxiswerte	8
2.1.3 Der Energieverbrauch	9
2.2 Die Einsparung	9
2.3 Nachtabdeckung	9
2.4 Energiepreise	9
2.5 Heizkosten	10
2.6 Zusätzliche Kosten	10
2.7 Kosten für die Abdeckung	10
2.7.1 Die Abdecktüren	10
2.8 Amortisationszeiten bei der Abdeckung von vertikalen Kühlvitrienen	11
2.8.1 Die Amortisationszeit	11
2.8.2 Amortisationszeit beim Neubau:	11
2.8.3 Schlussfolgerung	11
3. Berechnung der Tagesabdeckung bei horizontalem Tiefkühlmobiliar	12
4. Berechnung zur Tagabdeckung von horizontalem Kühlmobiliar	13
5. Nachtabdeckung	14
6. Allgemeine Schlussfolgerung	16
Appendix A Kosten für Reinigung und Befüllung von Kühl- und Tiefkühlmobiliar	17
Appendix B Entgangener Umsatz	18
Appendix C Komfort bei nicht abgedecktem Kühlmobiliar	19
Appendix D Bestimmung der mittleren Renditeverbesserung durch Abdeckung vertikaler Kühlvitrienen	21
Appendix E Heizverluste, Kühlung des Supermarkts	22
Appendix F Ausarbeitung der Berechnungsbeispiele für die Abdeckung von vertikalen Kühlvitrienen	23

Liste der Tabellen

Tabelle 1.1	<i>Einsparperspektiven in Supermärkten</i>	6
-------------	--	---

Liste der Abbildungen

Abbildung 1.1	<i>Übersicht über den Sachstand im Zusammenhang mit der MJA (Quelle Novem)</i>	5
Abbildung 2.1	<i>Vertikale Kühlvitrine</i>	7
Abbildung 3.1	<i>horizontales Tiefkülmobiliar</i>	12
Abbildung 5.1	<i>Rollschirm für die Nachtabdeckung</i>	14

1. Introduction

Bei einem durchschnittlichen Supermarkt entfallen 62 % des Stromverbrauchs auf Kühlen und Tiefkühlen. Ein großer Supermarkt verbraucht zehnmal so viel Strom wie ein Bürogebäude gleicher Größe (Quelle: Zahlen und Tabellen, Novem).

Es gab also durchaus Gründe dafür, mit dieser Branche landesweit eine gesonderte Vereinbarung zur Energieeinsparung zu treffen – das war die Mehrjahresvereinbarung zur Energieeinsparung in Supermärkten (MJA) aus dem Jahre 1999. Darin hat die Supermarktbranche zugesagt, im Jahre 2010 jährlich etwa 32 % weniger Energie im Vergleich zum Jahre 1995 zu verbrauchen. 2004 stellte sich allerdings heraus, dass die Branche viel zu wenig unternahm, um dieses Ziel zu erreichen, und dass zu diesem Zeitpunkt die Einsparungen bei nur 4,7% stagnierten.

Das ist für die Abteilung Umwelt- und Bauaufsicht Amsterdam und für den Umweltdienst IJmond Grund genug gewesen, um das Projekt „Handhaven bij supermarkten – een open deur“ [etwa: Maßnahmen in Supermärkten – eine offene Tür] ins Leben zu rufen. Im Rahmen dieses Projekts wird auf der Grundlage des Umweltschutzgesetzes bewertet, ob alle Maßnahmen mit einer Amortisationszeit von fünf Jahren oder weniger von den Supermärkten auch tatsächlich ergriffen werden.

ERGEBNIS	
Energieverbrauch im Monitoring	3,583 PJ (1995) und 9,577 PJ (2004)
Energieverbrauch im gesamten Sektor	11,8 PJ (1995) und 12,7 PJ (2004)
Ziel der MJA!	32% Energieeffizienz-Verbesserung 5 % nachhaltige Energie im Jahre 2010 im Vergleich zum Jahre 1995
Ergebnis 2004	1,8% Gesamtverbesserung bei der Energieeffizienz
Ergebnis 1995 bis 2004	4.7 % Gesamtverbesserung bei der Energieeffizienz

Abbildung 1.1 Übersicht über den Sachstand im Zusammenhang mit der MJA (Quelle Novem)

1.1 Das Projekt „Handhaven bij supermarkten – een open deur“

Mit dem Projekt „Handhaven bij supermarkten – een open deur“ wird eine erhebliche Energieeinsparung realisiert. Unter dem Gesichtspunkt groß angelegter Kontrolle auf landesweitem und europäischem Niveau ist das Einsparungspotenzial vom Umfang her gewaltig.

Fast 2/3 des Stromverbrauchs in einem Supermarkt entfallen auf das Kühlen und Tiefkühlen von Produkten. Bei Supermärkten sind die Verbrauchszahlen hoch, die meisten Verbräuche liegen zwischen 300 und 500 MWh auf Jahresbasis. In Amsterdam gibt es einen Supermarkt, der 1 300 MWh verbraucht, das entspricht 1,3 Mio. KWh. Durch den Einbau von Türen vor den Kühlvitrinen werden 40 bis 55 % an Energie für die Kühlung eingespart. Die Einsparungsperspektiven lassen sich wie folgt in einer Tabelle darstellen:

Tabelle 1.1 *Einsparperspektiven in Supermärkten*

Einsparungen pro Jahr	kWh	Vergleichbar mit dem Energieverbrauch von:
Pro Supermarkt	127 000	42 Wohnungen
Alle 170 Supermärkte im Rahmen des Projekts	22 860 000	7 620 Wohnungen
Supermärkte in den gesamten Niederlanden	520 000 000	173 500 Wohnungen

Das Projekt mit den 170 Unternehmen ergibt eine Energieeinsparung, die dem Energieverbrauch von etwa 7 500 Wohnungen entspricht. Deutlicher noch wäre der Einfluss des Projekts, wenn es auf europäischer Ebene umgesetzt würde. In diesem Falle würden pro Jahr rund 10 Mrd. kWh eingespart, das entspricht dem Verbrauch von 3,1 Mio. Wohnungen! In den Niederlanden gibt es etwa 6 Mio. Wohnungen.

Die Bedingungen für die Reproduzierbarkeit dieses Projekts sind günstig. Supermärkte in den Niederlanden und anderen Ländern sind vom Aufbau, vom Sortiment und von der Technik her weitgehend miteinander vergleichbar. Viele Supermarktketten unterhalten Niederlassungen in mehreren europäischen Staaten. Wenn alle Supermärkte eine Tagesabdeckung einführen, haben sie allesamt vergleichbare Investitionen und Betriebskosten. In diesem Punkt kann dann von einem „Level Playing Field“ ohne Wettbewerbsverzerrung gesprochen werden. Mit anderen Worten: Wenn die Branche dieses Projekt überhaupt akzeptiert – auf erzwungenem Wege oder freiwillig – wird es rasch von anderen Unternehmen im Land übernommen.

Es ist klar, dass bei der Energieeinsparung Maßnahmen, die kaum oder überhaupt kein Geld kosten, zuerst ergriffen werden. Die Realisierung von Folgemaßnahmen kostet - verglichen mit den Erträgen - stets mehr Geld und Mühe. Daher ist es um so bedenklicher, dass die Differenz zwischen dem Stand der Dinge und dem Ziel für das Jahr 2010 noch so groß ist (4,7 gegenüber 32%). Wenn die Maßnahme mit der Abdeckung nicht ergriffen wird, ist die Gefahr groß, dass gegen Ende der vereinbarten Laufzeiten in aller Eile Maßnahmen ergriffen werden müssen, die vielleicht eine Amortisationszeit von über fünf Jahren aufweisen. Die Abdeckung von Kühlmobiliar ist unter diesem Aspekt eine optimale Lösung, weil kostspielige Investitionen vermieden werden. Damit könnte das Ziel der MJA (32%) problemlos erreicht werden.

1.2 Auftrag an ECN

Die Abteilung Umwelt- und Bauaufsicht in Amsterdam hat ECN mit der Beantwortung der Frage betraut, welche Amortisationszeit im Hinblick auf die Abdeckung bestehenden Kühl- und Tiefkühlmobiliars angenommen werden kann. Dabei ist insbesondere auf Folgendes zu achten:

1. Energieverbrauch des Kühlmöbels;
2. Energiepreis;
3. Preis für die Abdeckung.

Die Amortisationszeit wird dadurch berechnet, dass der Investitionsbetrag für die Abdeckung des Kühlmöbels durch die Kostenreduzierung aufgrund von Energieeinsparung pro Jahr dividiert wird, vermindert um eventuelle zusätzliche Kosten für die Maßnahme.

In diesem Gutachten kommen zwei Arten von Mobiliar zur Sprache:

- die vertikale Kühlvitrine
- die horizontale Kühl- und Tiefkühlinsel.

2. Gründung der Amorisationszeit im Zusammenhang mit der Abdeckung von vertikalen Kühlvitrienen

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der vertikalen Kühlvitrine.



Abbildung 2.1 *Vertikale Kühlvitrine*

Bei der Berechnung der Amortisationszeit spielen folgende Parameter eine Rolle:

1. Energieverbrauch des Kühlmöbels;
2. Einsparung durch die Abdeckung;
3. Einsparung durch die bereits großräumig eingeführte Nachtdeckung. Die Einsparung muss von der Einsparung durch die Tagesabdeckung abgezogen werden, weil diese tatsächlich die Nachtdeckung während der Nacht ersetzt;
4. Energiekosten;
5. Anstieg bei den Heizkosten, weil der Supermarkt aufgrund des „Verlusts“ von Kälte zusätzlich auskühlt und durch die Heizung zusätzlich beheizt werden muss;
6. Zusatzkosten wie etwa Pflege der Türen. Die Reinigung wurde außer Betracht gelassen, weil dazu zu wenig Daten zur Verfügung stehen. Der entgangene Umsatz wird jedoch mitberechnet;
7. Kosten für die Abdecktüren oder Abdeckfenster.

2.1 Der Energieverbrauch des Vertikalen Kühlmöbels

Der durchschnittliche Energieverbrauch vertikalen Kühlmöbels liegt laut der Eurovent Certification Database vom Oktober 2005^[1] bei etwa 20 kWh pro laufenden Kühlvitrienen-Meter und Tag, abgekürzt als 20 kWh/m/T. Dieser Wert kann als repräsentativer Wert für den Energieverbrauch vertikalen Kühlmöbels gelten, weil er aus vielen Messwerten besteht, die sowohl aus Testeinrichtungen als auch aus der täglichen Praxis stammen. Daher wird er im

[1]

http://www.eurovent-certification.com/en/Programmes/Characteristics.php?rub=02&srub=01&ssrub=&lg=en&select_prog=RDC

Der angegebene Verbrauch liegt zwischen 17 und 23 kWh/m/T

Rahmen unserer Berechnungen herangezogen. Neben der Eurovent Certification Database können auch andere Quellen herangezogen werden, um einen Referenzwert für den Verbrauch bei Kühl- und Tiefkühlmobiliar zu ermitteln. Es gibt beispielsweise Simulationsmodelle wie etwa EKS und Stimec-Labormessungen, zu denen im Folgenden erläutert wird, weshalb sie im Rahmen dieser Untersuchung als weniger repräsentativ angesehen werden.

2.1.1 Wissenschaftliche, theoretische Herangehensweis

Das EKS-Simulationsprogramm (Energieeinsparung im Supermarkt^[2]) ist ein Hilfsmittel, das benutzt wird, um den Energieverbrauch verschiedenen Kühl- und Tiefkühlmobiliars unter unterschiedlichen Bedingungen miteinander zu vergleichen. Die Einsatzrichtlinien für das Programm besagen ausdrücklich, dass der tatsächliche Energieverbrauch mithilfe von Messungen ermittelt werden muss. Wir haben deswegen diese Berechnungsmethode für die Bestimmung des mittleren Energieverbrauchs des Kühl- und Tiefkühlmobiliars in der Praxis nicht benutzt.

Die Stimec-Messung (Stimulation of efficient commercial cooling^[3]), die ebenfalls regelmäßig zum Einsatz gelangt, und die abgeleitet ist von der Eurovent Certification Database, wird vor allem unter „Labor“-Bedingungen ausgeführt und nicht in der täglichen Praxis. Dieser Wert ist daher nicht für den Energieverbrauch während des Supermarktbetriebs maßgeblich, und wir haben ihn daher ebenfalls nicht in die Berechnungen einbezogen.

2.1.2 Praxiswerte

In den verschiedenen Praxisuntersuchungen scheint Konsens darüber zu bestehen, wie viel Energie durch die Abdeckungsmaßnahme eingespart werden kann. Im Rahmen unserer Berechnung wird eine Zahl von 55 % verwendet, die einen Durchschnitt von Messwerten diverser Orte darstellt. In Anlage D wird angegeben, auf welche Weise dieser Durchschnittswert ermittelt wurde. Diese Zahl steht auch nicht zur Diskussion.

Der Grund dafür, dass im Rahmen dieser Untersuchung großer Wert auf Praxismessungen und weniger Wert auf theoretische Berechnungen, Simulationen und Labortests gelegt wird, ist, dass sich die Umstände in Supermärkten stark von denen in Testräumen unterscheiden. Im Folgenden werden einige Situationen dargestellt, die zwar einen negativen Einfluss auf den Energieverbrauch des Kühl- und Tiefkühlmobiliars ohne Abdeckung haben, jedoch in einem Testraum in einem Forschungsinstitut nur schwer nachzuahmen sind.

1. Die Luft rund um das Kühl- und Tiefkühlmobiliar ist durch die sich bewegenden Menschen und durch die Entnahme von Produkten ständig stark in Bewegung, wodurch beispielsweise die Wirkung des Luftvorhangs im Falle einer vertikalen Kühlvitrine fast kontinuierlich gestört wird und seine Wirkung verliert.
2. Oft stehen Produkte ganz oder teilweise auf dem Rost des Luftvorhangs oder im Luftstrom, wodurch der Vorhang einen erheblichen Teil seiner Funktion verliert oder in manchen Fällen der kalte Luftstrom sogar direkt in den Supermarkttraum geleitet wird.
3. Oft stehen in Supermärkten durch die konstante Anlieferung und den Abtransport von Produkten gegenüberliegende Türen offen. Dadurch entsteht eine konstante Luftbewegung entlang des Mobiliars, was zu Kälteverlust führt.
4. Wegen der vielen Menschen in einem Supermarkt ist die Atmosphäre recht feucht, insbesondere dann, wenn es regnet und die Kunden mit feuchter Kleidung in den Supermarkt kommen. Die feuchte Luft vermischt sich mit der Luft im Mobiliar und sorgt

[2]

http://www.tno.nl/bouw_en_ondergrond/bouwinnovatie/koudetechniek_en_warmtepo/koelsystemen_voor_superma/supermarket_energy_consum/index.xml

[3]

http://www.tno.nl/bouw_en_ondergrond/bouwinnovatie/koudetechniek_en_warmtepo/koelsystemen_voor_superma/the_stimeck_list/

- für zusätzliche Kondensation auf den Verdunstern, die mehr Energie verbrauchen, und auch auf den Produkten, die dadurch ein weniger attraktives Aussehen (Kondensat) erhalten.
5. Die Verdunster verschmutzen durch die erheblichen Luftmengen, die hindurchströmen und die stark durch die Aktivitäten im Supermarkt verunreinigt sind, wie auch in Anlage A beschrieben. Nur direkt nach der Reinigung ist die Wirkung optimal. Für den Kondensator gilt ebenfalls, dass er allmählich verschmutzt und dadurch immer schlechter arbeitet.
 6. Das Befüllen und Reinigen des Mobiliars führt noch einmal zusätzlich zu erhöhtem Energieverbrauch.

Aus diesen Gründen kann der Energieverbrauch bei Kühl- und Tiefkühlmobiliar in der Praxis erheblich höher sein als unter Laborbedingungen.

2.1.3 Der Energieverbrauch

Als Grundlage für den Verbrauch des Kühlmobiliars wurde vom Mittelwert ausgegangen, der in der Eurovent Certification Database enthalten ist. Um die Amortisationszeit möglichst kritisch zu ermitteln, wurden zwei andere Cases mit Energieverbräuchen herangezogen, die unter dem mittleren Praxiswert liegen. Die folgenden Zahlen wurden benutzt:

Case 1: die Mittelwerte aus den Werten der Eurovent Certification Database für diese Art von Anlagen;

Case 2: die Untergrenze aus den von Eurovent genannten Energieverbrauchswerten bei verschiedenen Arten von vertikalen Kühlvitrienen;

Case 3: ein spezifischer Fall eines großen Supermarktkonzerns mit besonders sparsamen Geräten.

2.2 Die Einsparung

Zu den Einsparungen durch Abdeckungen sind die Ansichten nicht so unterschiedlich. In Anlage D wird aufgezeigt, wie der Wert einer Einsparung von 55% ermittelt wurde.

2.3 Nachtabdeckung

Die Nachtabdeckung ist schon seit Jahren übliche Praxis in Supermärkten, weil es sich dabei um eine einfache und preiswerte Maßnahme mit einer kurzen Amortisationszeit handelt. Aus diesem Grund wurde diese Maßnahme in der EIA-Regelung nicht mehr aufgegriffen. Die Abdeckung funktioniert wie ein Rollvorhang, der sowohl manuell als auch motorisch bedient werden kann. Das Material ist meist ein Polyester-Gewebe, versehen mit einer reflektierenden Metallbeschichtung. Nach Ladenschluss werden die Rollvorhänge geschlossen und bilden so eine Sperre zwischen dem kalten Innenklima im Mobiliar und dem relativ warmen Klima im Supermarktraum. Dadurch wird der Wärmeaustausch vor allem durch Konvektion und auch teilweise durch Strahlung und Transmission vermieden. Die Zahlen im Zusammenhang mit der Nachtabdeckung sind in Kapitel 4 zu finden. Die für die vertikalen Kühlvitrienen relevanten Zahlen werden im Folgenden aufgeführt.

2.4 Energiepreise

Die Energiepreise, die in den Machbarkeitsberechnungen genannt werden, liegen bei den verschiedenen Konzernen zwischen 8 und 10,5 Cent pro kWh. In den Berechnungen wurde der Energiepreis benutzt, den ein großer Konzern als durchschnittlich hantiert. Dieser Mittelwert liegt bei 8,8 Eurocent pro kWh. Die Konzerne, die diese Daten vorgelegt haben, sind in alphabetischer Reihenfolge: AH, Lidl, und Schuitema.

Die Energiepreise stiegen in den letzten fünf Jahren um etwa 4 % jährlich, was aus den von „ECN Beleidsstudies“ für das Wirtschaftsministerium erarbeiteten Zahlen hervorgeht. Erwartungsgemäß wird sich dieser Trend in den nächsten Jahren fortsetzen. Da diese Zahl über

der Inflationsrate liegt, hat sie vermutlich einen dämpfenden Effekt auf die Amortisierungszeiten in den nächsten Jahren.

2.5 Heizkosten

Durch das Ausströmen von Kälte aus dem Kühl- und Tiefkühlmobiliar kühlt der Supermarktraum ab. Die Wärme, die dem Kühl- und Tiefkühlmobiliar entzogen wird, wird in den meisten Fällen nach außen abgeleitet, und zwar über die Kühlmaschine und den Kondensator auf dem Dach. Die Heizungsanlage im Supermarkt selbst muss die Wärme wieder ergänzen und heizt daher mehr, als es ohne das Kühl- und Tiefkühlmobiliar der Fall wäre. Die Senkung der Heizkosten durch Abdeckung des Kühlmobiliars wird von uns in der Berechnung als eine zusätzliche Energieeinsparung (Anlage E) berücksichtigt. Der Anteil, den das Mobiliar an der Kühlung des Supermarkts hat, wird nicht berücksichtigt, weil es auf ein komfortables Innenklima keine Auswirkung hat. Dafür ist eine entsprechend entworfene Komfortkühlanlage vorgesehen (siehe Anlage C).

2.6 Zusätzliche Kosten

Die zusätzlichen Zeiten für das Füllen und für Unterhalt wurden aus dem Gutachten von TNO 2006-A-R0054/B und aus dem Van Beek-Gutachten 275, Fassung 1.0, endgültig, 28. April 2004 übernommen. Die zusätzlichen Kosten, die die Zusatzreinigungskosten umfassen, werden in Anlage A diskutiert.

In Anlage B kommt der entgangene Umsatz zur Sprache. Aufgrund der hier genannten Argumente wird bei der Amortisationszeit für die Abdeckung entgangener Umsatz nicht berücksichtigt.

2.7 Kosten für die Abdeckung

Die Kosten für die Abdeckung wurden durch Ermittlung des durchschnittlichen Preises berechnet, der im Wettbewerb auf dem freien Markt verlangt und bezahlt wird. Die Zusatzkosten für Montage und Einstellung werden in der gleichen Weise ermittelt. Es gibt auch Lieferanten, die das Zwei- bis Dreifache dieses Preises verlangen. Jeder Unternehmer hat die freie Auswahl, aber im Rahmen dieser Untersuchung wurde von Türen ausgegangen, die den billigerweise an sie zu stellenden Anforderungen genügen. Dabei geht es um beispielsweise Isolationswert, Spaltendichtheit, Sicherheit, Bedienkomfort, Lebensdauer des Bewegungsmechanismus usw.

2.7.1 Die Abdecktüren

Die Kosten für die hier genannten Abdeckungen (Türen) liegen nicht weit auseinander, abgesehen von einem Ausreißer. Als Grundlage für die Berechnungen haben wir den Mittelwert aus allen vier Preisen für die Abdeckungen herangezogen. In der ersten Spalte steht ein Buchstabe, der unten in der Formel benutzt wird und der den mittleren Preis für die Türen darstellt.

D	Türpreise €/m ^[4]	596	622	1.142	705	Mittelwert:	766
---	------------------------------	-----	-----	-------	-----	-------------	-----

Alle Zahlen und Werte in diesem Gutachten sind anonymisiert. D. h., dass bei ECN bekannt ist, von wem diese Zahlen vorgelegt werden oder in welchem Unternehmen die Messungen erfolgt sind. Diese Unternehmen werden zwar in dem Gutachten genannt, weil sie daran mitgewirkt haben, aber die Verbindung zwischen Name der Unternehmen und Daten wurde bewusst fortgelassen. Diese Vorgehensweise verhindert eventuelle Vor- oder Nachteile für das

^[4] Preise einschließlich Montage, Veränderungen beim Mobiliar, Montage und Einstellung, allerdings ohne EIA-Abzug. Die Preise sind von den folgenden Türlieferanten angegeben worden, die hier in alphabetischer Reihenfolge genannt werden: Smeva, Tahob, Van Beek, Veld.

betreffende Unternehmen und macht es gleichzeitig möglich, das Gutachten zu veröffentlichen, sodass mehr Unternehmen diese Einsparungsmaßnahmen kennenlernen können.

2.8 Amortisationszeiten bei der Abdeckung von vertikalen Kühlvitrienen

Der Inhalt der vorausgehenden Abschnitte wird nun mithilfe von Beispielen und der Berechnung von Amortisationszeiten verdeutlicht.

2.8.1 Die Amortisationszeit

Die Amortisationszeit wird in Anlage F berechnet. Dort findet sich eine Übersicht über die verschiedenen Energieverbräuche bei Vitrinen, die nicht abgedeckt sind, bei Vitrinen mit Nachtdeckung, dann Angaben zur Gaseinsparung durch die Tagesabdeckung und Angaben zu übrigen Einsparungen und Kosten. Dadurch, dass die Investition in die Türen durch die jährliche Einsparung in kWh dividiert wird, zuzüglich Gaseinsparung und reduziert um Kosten für Wartung und Befüllungszeiten, wird die Amortisationszeit ermittelt. Die Formel sieht dann in kompakter Form wie folgt aus: $T = D/B$.

Der insgesamt zu amortisierende Betrag pro Jahr B beträgt:	Case 1	Case 2	Case 3
B Stromeinsparung durch Abdeckung einschl. Mindereinsparung durch Nachtdeckung, Gaseinsparung, reduziert um zusätzliche Befüllungs- und Wartungskosten (€)	379	257	193
T Amortisationszeit in Jahren	2.0	2.9	3.8

Zu den Details siehe o. g. Anlage.

2.8.2 Amortisationszeit beim Neubau:

Bei einer Abnahme der benötigten Kühlleistung durch Abdeckung, die auf mindestens 20 % geschätzt wird - was unter Berücksichtigung der Einsparung von durchschnittlich 50 % gerechtfertigt zu sein scheint - kann auch die installierte Leistung der Elektroanlage reduziert werden. Das kann im Falle einer Erweiterung oder eines Neubaus von Niederlassungen zum Tragen kommen. Dadurch wird die Amortisationszeit der Abdeckung in diesen Fällen oftmals negativ. Mit anderen Worten: Abdecken ist ab der Eröffnung des Supermarkts preiswerter als nicht Abdecken, weil die Kosten etwa für einen leistungsfähigeren elektrischen Anschluss oder einen größeren Transformator um ein Vielfaches höher sind als die Kosten für die Abdeckung. Außerdem sind die Kühlanlagen mit geringeren Leistungen auch noch preiswerter.

2.8.3 Schlussfolgerung

Auf der Grundlage der o. g. Daten und der Aspekte, die in den Anlagen A bis E aufgeführt werden, wurde eine Amortisationszeit errechnet. Diese Zahl liegt bei der Abdeckung vertikalen Kühlmobiliars bei 2,9 Jahren mit einer Marge von $\pm 0,9$ Jahren.

Im Falle einer Erweiterung oder dem Neubau von Niederlassungen kann die Amortisationszeit bei der Abdeckung in vielen Fällen negativ werden, weil Investitionen in einen leistungsfähigeren elektrischen Anschluss oder in einen größeren Transformator nicht notwendig sind. Auch die Kühlmaschinen werden aufgrund eines um etwa 20 % geringeren Leistungsbedarfs preiswerter.

3. Berechnung der Tagesabdeckung bei horizontalem Tiefkühlmobiliar

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit horizontalem Tiefkühlmobiliar, zu dem hier eine Abbildung als Beispiel zu sehen ist.



Abbildung 3.1 horizontales Tiefkühlmobiliar

Bei der Feststellung der Amortisationszeit von Abdeckungen bei horizontalem Tiefkühlmobiliar wurde mit der gleichen Systematik gearbeitet wie bei der Abdeckung vertikaler Kühlvitrinen. Hier folgt nun eine Zusammenfassung der untersuchten Werte.

Horizontales Tiefkühlmobiliar					Mittelwert
Türpreise ^[5] [€/m ²]	271	366		211	282
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	
Energieverbrauch ^[6] [kWh/m ² /T]	13,0	13,0	13,0	11,7	
Einsparung durch Abdeckung	52 %	40 %	40 %	40 %	
Idem [kWh/m ² /T]	6,76	5,20	5,20	4,67	
Mindereinsparung durch Nachtdeckung durch Rollschirme [kWh/m ² /T]	2,34	2,34	2,34	2,10	
Einsparung beim Gas ^[7] [€/m ² /T]	0,11	0,09	0,09	0,08	
Energiekosten [€/kWh]	0,11	0,088	0,080	0,088	
Zusätzlich Wartung Befüllungszeiten ^[8] [€/m ² /T]	0	0	0	0	

Schlussfolgerung:

Bei horizontalem Tiefkühlmobiliar liegen die Amortisationszeiten mit einer Nachtdeckung bei etwa 2,4 Jahren, wobei als Maximum 2,5 Jahre und als Minimum 1,3 Jahre gelten.

^[5] Lieferanten in alphabetischer Reihenfolge: Deen, Dirk van den Broek, MGB, Zürich, Smeva.

^[6] Nach Eurovent Certification Database

^[7] Berechnet aus der Kältezufuhr mit 25 Cent als Gaskosten.

^[8] Siehe Anlage A

4. Berechnung zur Tagabdeckung von horizontalem Kühlmobiliar

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit horizontalem Kühlmobiliar, das etwa das gleiche Aussehen hat wie horizontales Tiefkühlmobiliar.

Bei der Feststellung der Amortisationszeit von Abdeckungen bei horizontalem Kühlmobiliar wurde mit der gleichen Systematik gearbeitet wie bei der Abdeckung vertikaler Kühlvitrinen. Hier folgt nun eine Zusammenfassung der untersuchten Werte.

Horizontales Kühlmobiliar	
Türpreise ^[9] [€/m ²]	274
Energieverbrauch [kWh/m ² /T]	6,0
Einsparung durch Abdeckung	17 %
Idem [kWh/m ² /T]	1,04
Mindereinsparung durch Nachtdeckung durch Rollschirme [kWh/m ² /T]	0,36
Einsparung beim Gas ^[10] [€/m ² /T]	0,02
Energiekosten [€/kWh]	0,088
Zusätzlich Wartung Befüllungszeiten ^[11] [€/m ² /T]	0
Amortisationszeit in Jahren	9,4

Schlussfolgerung:

Bei horizontalem Kühlmobiliar liegt die Amortisationszeit bei 9,4 Jahren.

^[9] Nach Eurovent Certification Database.

^[10] Berechnet aus der Kältezufuhr mit 25 Cent als Gaskosten

^[11] Siehe Anlage A

5. Nachtabdeckung

Die Nachtabdeckung ist schon seit Jahren übliche Praxis in Supermärkten, weil es sich um eine einfache, preiswerte Maßnahme mit kurzer Amortisationszeit handelt. Aus diesem Grunde wurde diese Maßnahme auch nicht mehr in die EIA-Regelung übernommen.



Abbildung 5.1 Rollschirm für die Nachtabdeckung.

Die Abdeckung funktioniert wie ein Rollvorhang, der sowohl manuell als auch motorisch bedient werden kann. Das Material ist meist ein Polyester-Gewebe, versehen mit einer reflektierenden Metallbeschichtung. Nach der Ladenschlusszeit werden die Rollvorhänge geschlossen und bilden so eine Sperre zwischen dem kalten Innenklima im Möbel und dem relativ warmen Klima im Supermarkt. Auf diese Weise wird der Wärmeaustausch vor allem durch Konvektion und teilweise auch durch Strahlung und Transmission vermieden. Praxisdaten für die Nachtabdeckung in einem Supermarkt sehen so aus:

Vertikales Möbel	
Kosten für die motorbetriebene Abdeckung [€/m]	124
Einsparung [kWh/m/T]	2,12
Energiekosten [€/kWh]	0,088
Amortisationszeit in Jahren	1,8

Auch horizontales Mobiliar wird nachts abgedeckt. Wegen der Form und Aufstellung ist das eine einfache Angelegenheit. Ein paar Plexiglas-Scheiben oder eine Rolle Folie sind bereits ausreichend. Die Kosten sind zu vernachlässigen, die erzielte Energieeinsparung jedoch nicht. Ein großer Supermarkt hat Letztere einmal untersucht und eine Einsparung von 18,1 % durch die Nachtabdeckung ermittelt.

Van Beek nennt in dem Gutachten „Energieeinsparung jenseits von Umbaumaßnahmen“ eine Einsparung durch die Nachtabdeckung von 20%. Geschätzt wird die Investition auf € 100,-/m. Van Beek berechnet eine Amortisationszeit von 4,1 Jahren.

Das TNO kommt in dem Gutachten „Energieeinsparung durch Nachtdeckung, praktische Messung bei einer Supermarktfiliale“ für eine ganze Reihe von Kühl- und Tiefkühlmöbel auf eine mittlere Einsparung^[12] von 1,8 kWh/T/m.

Schlussfolgerung:

Die Amortisationszeiten bei der Nachtdeckung liegen zwischen 1,8 und 4,1 Jahren. Die Einsparung beträgt etwa 2 kWh/m/T.

^[12] Schlussfolgerung aus Gutachten R 91/294, Seite 11

6. Allgemeine Schlussfolgerung

Die Amortisationszeit bei der Abdeckung bestehender vertikaler Kühlvitrienen in Supermärkten beträgt 2,9 Jahre mit einer Marge von $\pm 0,9$ Jahren.

Bei horizontalem Tiefkühlmobiliar liegen die Amortisationszeiten für die Nachtdeckung bei etwa 2,4 Jahren, maximal gelten 2,5 und minimal 1,3 Jahre.

Bei horizontalem Kühlmobiliar beträgt die Amortisationszeit 9,4 Jahre.

Die Amortisationszeiten bei der Nachtdeckung schwanken zwischen 1,8 und 4,1 Jahren.

Im Falle einer Erweiterung oder eines Neubaus von Niederlassungen kann die Amortisationszeit bei der Abdeckung in vielen Fällen negativ werden, und zwar aufgrund der nicht erforderlichen Investition in leistungsfähigere elektrische Anschlüsse oder einen größeren Transformator. Auch die Kühlmaschinen werden preiswerter, weil der Leistungsbedarf um etwa 20 % gesenkt ist.

Appendix A Kosten für Reinigung und Befüllung von Kühl- und Tiefkühlmobiliar

In mehreren Berechnungen werden Kosten für die Reinigung der Glasabdeckungen vertikaler Kühlvitrinen aufgeführt. Es bleibt aber in allen Fällen eine erhebliche Kosteneinsparung unerwähnt. In eine tagsüber nicht abgedeckte Vitrine geraten ungehindert Staub, Ungeziefer und organisches Material von den Menschen, die den Supermarkt aufsuchen. Daher muss die Vitrine intensiver gereinigt werden, als wenn sie abgedeckt wäre. Der HACCP zufolge müssen die Kühl- und Tiefkühlmöbel regelmäßig gereinigt werden, aber das kostet mehr Zeit, wenn die Verschmutzung schwerwiegender ist. Die Kostenreduzierung durch weniger intensive Reinigung infolge einer Abdeckung taucht in den Berechnungen nicht auf. In unserer Berechnung der Amortisationszeit wurde daher der Posten für die Reinigung von Türen fortgelassen, weil dem eine Kostenreduzierung gegenübersteht, für die es keine zuverlässigen Daten gibt. Ob die Netto-Reinigungskosten positiv oder negativ ausfallen, müssen genauere Untersuchungen zeigen. Auf jeden Fall ist es so, dass die Zusatzkosten teilweise durch zusätzliche Vorteile wieder ausgeglichen werden^[13].

Für horizontales Mobiliar gilt das Gleiche wie für vertikales Mobiliar, soweit es die Reinigung angeht, aber es kommt noch ein weiterer Aspekt hinzu. Die Befüllung horizontalen Mobiliars wird nämlich durch die Abdeckung vereinfacht. Die Abdeckung wird in der Praxis benutzt, um Produkte vorübergehend darauf abzulegen, sodass das Personal das Mobiliar problemloser befüllen kann als von einer Transportvorrichtung aus. Außerdem ist das horizontale Mobiliar problemloser zu befüllen, weil es darin nur eine Produktebene gibt, während bei vertikalem Mobiliar mehrere Regalfächer befüllt werden müssen. Aus diesen Gründen lassen wir die Kosten für die zusätzlichen Befüllungszeiten bei der Berechnung der Amortisationszeiten für horizontales Kühl- und Tiefkühlmobiliar weg.

^[13] Aus dem Gutachten von MGB Logistik-TA Zürich. Dieses Institut hat seinen Sitz in der Schweiz und kann mit dem niederländischen Normeninstitut verglichen werden, hier aber speziell für diese Art von Geräten.

Appendix B Entgangener Umsatz

Im TNO-Gutachten „Covering of freezer units with glass panels“, TNO 93-340, September 1993, wird wissenschaftlich nachgewiesen, dass die Abdeckung dieses Mobiliars keinen nachweislichen Effekt auf den Umsatz hat. MGB Logistik-TA Zürich kommt zum gleichen Ergebnis.

Das Risiko der Aussortierung von Produkten während einer Stichprobe durch die „Voedsel en Waren Autoriteit“ [etwa Behörde für Nahrungsmittel und Waren, Anm. d. Ü.] wurde nicht mit einkalkuliert. Dieses Risiko ist wegen der größeren Temperaturunterschiede im Mobiliar erheblich höher, wenn Kühlmobiliar nicht abgedeckt ist^[14].

^[14] Aus dem Gutachten von MGB Logistik-TA Zürich.

Appendix C Komfort bei nicht abgedecktem Kühlmobiliar

Der Komfort im betreffenden Raum ist eine direkte Folge der Energieverwendung für Kühlung und Heizung. Daher ist auch dieser Aspekt von uns theoretisch und teilweise auch praktisch untersucht worden. Das Innenklima in der Umgebung offener Kühlvitri­nen genügt nicht den für Aufenthaltsräume geltenden Normen, die u. a. im Rahmen der Arbeitsschutzbestimmungen gelten. Diese Normen beziehen sich auf die folgenden physikalischen Größen:

1. Lufttemperatur,
2. Luftgeschwindigkeit,
3. Luftfeuchtigkeit,
4. Strahlungstemperatur der umgebenden Flächen.

Alle diese Werte liegen bei offenen Kühlvitri­nen jenseits der üblichen Normen.

Zu 1

Die Innentemperatur im Supermarkt ist meist auf einen normalen Wert von etwa 21 °C eingestellt. Mehrere Filialleiter haben mir das telefonisch bestätigt. In der Nähe offener Kühlvitri­nen erfolgt eine Luftdurchmischung, und zwar von Luft mit 21 °C und Luft mit 4 – 7°, je nach Art des Mobiliars und abhängig vom Inhalt. Der Vermischungsgrad hängt von den Situationen ab, die in Kapitel 2.1.2 beschrieben sind. Das führt zu einer Innenlufttemperatur von zwischen 21° und 4 – 7 °C, je nach Durchmischungsgrad, der sich ja ständig verändert. Die Durchmischung beträgt den Energiezahlen zufolge etwa 55%, wodurch wir im Hinblick auf die Innentemperatur einen Mittelwert von 15,5°C feststellen. Der Grafik nach dem ASHRAE-Standard 55-74 zufolge darf die Temperatur nicht unter 20 °C liegen, wenn das Innenklima als komfortabel gelten soll. Es ist klar, dass das Innenklima in der Nähe der Kühlvitri­nen dieser Anforderung nicht genügt.

Zu 2

Um Zug zu vermeiden, darf die Luftgeschwindigkeit in Aufenthaltsräumen gemäß Komfortnormen nicht über 0,15 m/Sek. betragen. Angesichts der Temperaturdifferenz zwischen der aus den Vitri­nen entweichenden Kaltluft und der Umgebungsluft mit 21 °C ist physikalisch nachweisbar, dass diese Geschwindigkeitsanforderung erheblich überschritten wird. Das habe ich im Übrigen auch durch eigene Messungen festgestellt.

Zu 3

Aus einem psychometrischen Diagramm kann abgeleitet werden, dass Luft mit einer Temperatur von 7 °C, die auf 21 °C aufgewärmt wird, mehr als 50 % ihrer Feuchtigkeit verliert. Das bedeutet, dass die Luftfeuchtigkeit in der Nähe einer Vitri­ne bis auf 20 % abnehmen kann, wenn die Feuchtigkeit des Raumes bei 70 % liegt, was ein häufig auftretender Wert ist. Eine Feuchtigkeit von 20 % führt bei vielen Menschen zu Beschwerden wie bspw. trockene Schleimhäute in den Atemwegen, wodurch die Infektionsgefahr steigt.

Zu 4

Die Innenwände des Mobiliars und die Produkte selbst haben etwa dieselbe Temperatur wie die Luft in der Vitri­ne, die meist zwischen 4 und 7 °C beträgt. Die Strahlungstemperatur wird dann mit 4 oder 7 °C angenommen, je nach herrschender Temperatur. Zum Vergleich: In einem Büro, dessen Wände am Montagmorgen etwa 17 °C warm sind, kann der Komfort dennoch annehmbar sein, wenn die Temperatur der Innenluft auf 23 °C angehoben wird. Das eine kompensiert das andere. Wenn der Temperaturunterschied zu groß wird, funktioniert das nicht mehr. Hier ist nicht mehr die Rede von Kompensation, sondern von Addition. Der negative Effekt der zu niedrigen Lufttemperatur muss zum negativen Effekt der Kältestrahlung

hinzugezählt werden. Auch die nicht komfortablen Effekte von Zug könnten normalerweise dadurch kompensiert werden, dass Luft zusätzlich erwärmt wird, aber an der Kühltruhe findet das Gegenteil statt. Es liegt hier also eine Anhäufung von Faktoren vor, die für eine sehr unkomfortable Situation sorgen, in der sich Menschen nicht länger als unbedingt nötig aufhalten möchten.

Komfortkühlung

Der kühlende Effekt der Kühlabteilung im Supermarkt auf das Innenklima im Sommer genügt aus den gleichen Gründen, die oben bereits aufgezeigt wurden, nicht den gängigen Normen für Kühlanlagen für den Innenkomfort^[15].

Um ein besseres Innenklima in Supermärkten zu erreichen, sollte das Tief- und Tiefkühlmobiliar abgedeckt werden und kühle Luft müsste gleichmäßig im Raum verteilt von oben einströmen und sich mit der Innenluft vermischen. Auf diese Weise kann im Sommer nötigenfalls eine gleichmäßige Innentemperatur (abhängig von der Außentemperatur) zwischen 21 und 25 °C erreicht werden.

^[15] Aus dem Gutachten von MGB Logistik-TA Zürich.

Appendix D Bestimmung der mittleren Renditeverbesserung durch Abdeckung vertikaler Kühlvitrienen

The table below shows the efficiency improvements gained from closing upright refrigerated display cabinets, as reported in various studies on this topic.

Tabelle 1: Renditeverbesserung durch Abdeckung vertikaler Kühlvitrienen

Büro, Institut oder Einrichtung	Berichtete Renditeverbesserung (%)
Van Beek	55
TNO	55
Eurovent ^[16]	50
AGM, Schweiz	86

55% ist ein konservativer Mittelwert aus den Renditen, die genannt werden.

^[16] Eurovent is an European association of air handling and refrigerating equipment. Performance testing is carried out by independent laboratories under contract with Eurovent.

Appendix E Heizverluste, Kühlung des Supermarkts

Die Steigerung bei den Heizkosten wird dadurch berechnet, dass während der Heizsaison der Kälteverlust des Mobiliars mit Wärmeverlust gleichgesetzt wird. Auf diese Weise ist bekannt, wie viel Wärme zugeführt werden muss. Anschließend wird diese Wärmemenge in die Erdgasmenge umgerechnet, die zur Erzeugung dieser Wärme nötig ist. Die Ausgangswerte dabei sind eine Heizungsanlage mit einem Gesamtwirkungsgrad von 80 % und Gas zu einem Preis von 25 Cent pro m³.

Berechnungsbeispiel mit den Zahlen aus Anlage F:

Der Verbrauch von 20 kWh pro Tag pro Meter wird mit der Einsparung oder dem Kälteverlust von 55 % multipliziert. Die Kälte muss mithilfe der Zentralheizung aufgeheizt werden, die einen Gesamtwirkungsgrad von etwa 80 % hat. Die erforderliche Wärme, die gleich dem Kälteverlust ist, geteilt durch den Wirkungsgrad der Heizungsanlage, ergibt Kilowattstunden pro Tag und Meter, die von der Zentralheizungsanlage während der Heizsaison erzeugt werden müssen. Die Heizsaison wird in diesem Falle mit einem halben Jahr angenommen. 10 kWh entsprechen etwa 1 m³ Erdgas, für das ein Preis von € 0,25 angenommen wurde. In der Formel ist der Faktor 3 der COP der Kühlmaschine, die also aus jedem kWh Strom 3 kWh Kälte erzeugt. Es wurde davon ausgegangen, dass die Besetzung des Supermarkts 0,3 % der Woche beträgt und dass nachts und am Wochenende nicht geheizt wird. Es wird dann allerdings gekühlt. Es handelt sich also um eine recht konservative Vorgehensweise.

Einsparung bei den Heizkosten: $20 \times 0,55 \times 3 \times 0,5 \times 0,36/0,8/10 \times 0,25 = 18$ Cent pro Tag und Meter.

Appendix F Ausarbeitung der Berechnungsbeispiele für die Abdeckung von vertikalen Kühlvitrienen

Die Buchstaben, die in der folgenden Formel benutzt werden, finden sich in der ersten Spalte der Tabellen.

Das „D“ steht für den durchschnittlichen Marktpreis der Abdecktüren. Für die Amortisationszeit „T“ gilt:

$T = \frac{\text{Kosten Tagesabdeckung}}{(\text{Energieeinsparung Tagesabdeckung} + \text{zusätzliche Einsparung}) - \text{Zusatzkosten}}$

$$T = D / (((V \times C - N) \times F + E - G) \times 365)$$

Die Amortisationszeiten wurden ausgerechnet, wobei die linke Spalte in der Tabelle die günstigste und die rechte Spalte die ungünstigste Kombination aus Kosten und Erträgen darstellen.

Energie

	Zur Beschreibung der Cases: siehe Fußnoten	Case 1	Case 2	Case 3	Siehe Fußnote
V	Energieverbrauch [kWh/m/T]	20 ^[17]	17	14,3 ^[18]	
C	Einsparung durch Abdeckung	55 %	55 %	55 %	^[19]
N	Mindereinsparung bei Nachtdeckung durch Rollschirme [kWh/m/T]	2,1	1,8	1,5	^[20]
E	Einsparung bei Gas [€/m/T]	0,18	0,15	0,13	

Energiepreise

	Energiepreis ^[21] [€/kWh]			
F	Schwankungen bei den Energiekosten in den verschiedenen Supermärkten	0,11	0,088	0,080

Zusatzkosten

G	Zusätzliche Wartung ^[22] [€/m/T]	0,08	0,08	0,08
---	---	------	------	------

Siehe folgende Seite zur Fortsetzung der Berechnung.

^[17] Auslegung verschiedener Zahlen nach Eurovent Certification Database.

^[18] Ein spezifischer Fall eines großen Supermarktkonzerns mit besonders sparsamen Geräten.

^[19] Durchschnittswert aus Praxismessungen und Messungen durch Institute.

^[20] Ergebnis aus der Praxismessung Kapitel 4, Nachtdeckung.

^[21] ECN-C—06-012

^[22] Die Reinigungsmaßnahmen wurden dabei außer Betracht gelassen, weil diesbezüglich keine Klarheit besteht. Sie können positiv und negativ ausfallen, siehe Anlage A.

Der Teil unter dem Teilungsstrich wurde von uns als „B“ bezeichnet:

$$B = ((V \times C - N) \times F + E - G) \times 365$$

Die Amortisationszeit beträgt jetzt $T = D/B$

	Der insgesamt zu amortisierende Betrag pro Jahr B beträgt:	Case 1	Case 2	Case 3
B	Stromeinsparung durch Abdeckung einschließlich Mindereinsparung durch Nachtdeckung, Gaseinsparung, reduziert um die Zusatzkosten für Befüllung und Wartung	379	257	193

T	Amortisationszeit in Jahren	2,0	2,9	3,8
---	------------------------------------	-----	-----	-----