

Ein praktisches Beispiel für den Nutzen einer integralen Planung

# Super-ECO Tiefkühlhaus Stadskanaal

Ben G. J. Ernens\*, Rolde (NL) und Peter Weissenborn, Bad Harzburg

Bereits zweimal wurde in der KK (KK 9/2000, Seiten 14–28, und KK 4/2001, Seiten 48–51) über die energetisch richtige Planung von Kälteanlagen und den daraus resultierenden wirtschaftlichen Nutzen für den Betreiber an Hand von Anwendungsbeispielen in den Niederlanden berichtet. Wertvolle Impulse geben hierbei jeweils die STIMEK Industrie- und die EIA-Regelung. Nachfolgend wird über den Nutzen einer integralen Planung am Beispiel des Super-ECO Tiefkühlhauses bei dem Tomas Bakkerij Groothandel in Stadskanaal (Provinz Groningen) berichtet.

## STIMEK Industrie und EIA

Wie inzwischen wohl die meisten deutschen Kälteanlagenbauer wissen, hat sich die früher von Deutschland im Zusammenhang mit dem raschen FCKW- und H-FCKW-Ausstieg beanspruchte „Vorreiterrolle“ etwas nach Westen verlagert: Beispielhaft sind in Holland die schon 1994/1995 in Kraft getretenen Leckdichtheitsvorschriften für Kälteanlagen (hierbei wurde schon im Vorgriff die heutigen Bestimmungen der EN 378 herangezogen) sowie die hiermit einhergehende STEK-Verordnung, die als eine Zertifizierungsmaßnahme von Sachkunde bei Anlagenbauern und zur Registrierung von Betrieben gilt, die mit Kältemitteln und deren Anwendungen zu tun haben. Dagegen hat es Deutschland bis heute nicht geschafft, verordnungsrechtliche Maßnahmen zur Kältemittlemissionskontrolle zu ergreifen.

Vorteile und Nutzen der holländischen STIMEK Industrie Regelung wurde schon in den im Vorspann erwähnten KK-Ausgaben ausführlich behandelt, hier noch einmal eine Erklärung in Kürze: STIMEK Industrie Regelung ist ein Subventionsverfahren des niederländischen Energieversorgers NUON, STIMEK, auch in die deutsche Sprache übersetzt, bedeutet **STIM**ulierung **E**nergieeinsparung industrieller **K**älteanlagen. Des weiteren gibt es STIMECK, wobei das „C“ für „Commercial“ steht und das Verfahren bei rein gewerblichen Kälteanlagen zur Anwendung kommt. Auf den Punkt gebracht: STIMECK ist ein Förderprogramm für energieeffiziente Kühlung, wobei sich die Energieversorger in den Niederlanden von der Prämisse einer ganzheitlichen Betrachtung gegenüber dem Verbraucher in ihrem Subventionsverhalten leiten lassen.

Tabelle 1  
Sollwert nach  
STIMEK-Industrie  
2001 (Auswahl)

	Standard	STIMEK-eis
Eintrittstemperaturdifferenz (DT 1) Luftkühler/Tiefkühlager	7 K	β 6 K
Eintrittstemperaturdifferenz (DT 1) (t <sub>c</sub> -t <sub>v</sub> ) Verflüssiger	15 K	10 K
Minimaler Verflüssigerdruck (bei Außentemperatur 5°C)	28 °C	<= 20 °C
Wärmerückgewinnung	Keine	x kW

### zu den Autoren

Ing. Ben  
G. J. Ernens,  
Inhaber des  
Planungsbüros  
Ernens Consult  
Rolve (NL)



Peter  
Weissenborn,  
Fachjournalist  
Kälte-Klima-  
technik,  
Bad Harzburg



Warum Energie einsparen? Hier die Antwort aus Holland: „Energie kostet Geld und außerdem werden bei der Herstellung von Elektrizität Stoffe freigesetzt, die zu saurem Regen und Treibhauseffekt beitragen. Die Reduzierung des Elektrizitätskonsums ermöglicht eine erhebliche Einschränkung dieser Schadstoffe. Also bringt Energieeinsparung einen doppelten Vorteil: finanziell und für die Umwelt.“ An einem vergleichbaren Verständnis fehlt es in Deutschland: Es wird eine Ökosteuer erhoben, – aber für viele andere Zwecke anstelle eines nachvollziehbaren ökologischen Anreizes verbraten.

\* KK-Autor Ing. Ben G. J. Ernens ist Gewinner der Innovation Trophy 2001 des NVKL, der Nederlandse Vereniging van ondernemingen op het gebied van de Koudetechniek en Luchtbehandeling.



Nach der STIMEK-Industrie-Regelung darf die Eintrittstemperaturdifferenz (DT 1) am Luftkühler/Tiefkühlager (hier Fabrikat Küba) nicht mehr als 6 K betragen, am Verflüssiger 10 K. Hierzu ist die ADAP-Kool-Regelung von Danfoss sehr hilfreich

Im Gegensatz zu STIMEK handelt es sich bei der EIA-Regelung um eine steuerrechtliche Maßnahme. EIA steht für EnergieInvesteringsAftrek, ist also ein Energie-Investitionsabzug von der Steuer und kommt im Bereich der Kältetechnik bei der Wärmedämmung-Ausführung von Kühl- und Tiefkühlräumen/Zellen zur Anwendung; siehe

Isolierwerte in Tabelle 2 (Isolierwerte nach EIA-Regelung). Hierbei kann der maximal mögliche Steuerabzug 55 % der Investition für eine energetisch optimale Wärmedämmung bei Kühl- und Tiefkühlhäusern betragen. Funktionale Unterschiede in der Art von Tiefkühlhaus-Neubauten ist Tabelle 3 (Tiefkühlhaus-Konzept) zu entnehmen.

**Wie energetisch günstig und wirtschaftlich kann ein Tiefkühlhaus sein?**

Wenn man von einer energiesparsamen Kälteinstallation spricht, dann kann man verschiedener Meinung sein, was hierbei unter „wirtschaftlich“ für die Beurteilung der jeweiligen Installationsanwendung zu verstehen ist. Das ist auch nicht verwunderlich, zumal die „Wirtschaftlichkeit“ ein relativer Begriff ist.

Es gibt viele Aspekte bei Neubau eines Tiefkühlagers zu berücksichtigen, was wirtschaftlich ist, – oder nicht. Komponentenlieferanten sprechen zum Beispiel vom energetisch wirksamen Nutzen beim Einbau ihrer Produkte. Für eine gute Beurteilung des gesamten Konzepts muß man hierbei jedoch mehrere im Zusammenhang stehende Aspekte betrachten. Es ist in jedem Fall erforderlich, hierzu das Gesamtkonzept eines Tiefkühlagers hinsichtlich seines erwarteten Energieverbrauchs zu beurteilen, indem man die verschiedenen Disziplinen, wie Elektrotechnik, kältetechnische Installation, Regelungstechnik und werkstoffliche Baukunde in einen integralen Zusammenhang stellt.

Wenn man nun die verschiedenen Fachdisziplinen intensiver betrachtet, dann erhält man eine Beurteilungsgrundlage, mit der man in einem Vergleich den Gesamtwert „Energieeinsparung“ miteinander verbinden und schließlich besser bemessen kann. Hierzu zählen:



Tomas Bakkerij Groothandel Stadskanaal nahm für sein Tiefkühlhaus-Neubau sowohl die STIMEK-Förderung als auch die EIA-Steuerückvergütung in Anspruch

Raumtemperatur in der Zelle (Planung)	Wärmedurchgangswerte entsprechend EIA (NEN 1068)	Polyurethan ( = 0,022 W/mK)	Max. Steuerabzugsbetrag € / m <sup>2</sup>
R <sub>T</sub> ab -16 °C	R <sub>C</sub> † 10,5 m <sup>2</sup> K / W	240 mm (2x120 mm)	Ö54,46
R <sub>T</sub> -11 bis -16 °C	R <sub>C</sub> † 8,9 m <sup>2</sup> K / W	200 mm	Ö49,92
R <sub>T</sub> -6 bis -11 °C	R <sub>C</sub> † 7,3 m <sup>2</sup> K / W	170 mm	Ö45,38
R <sub>T</sub> 0 bis -6 °C	R <sub>C</sub> † 5,2 m <sup>2</sup> K / W	120 mm	Ö34,04
R <sub>T</sub> 0 bis +10 °C	R <sub>C</sub> † 4,0 m <sup>2</sup> K / W	100 mm	Ö27,23

Tabelle 2 Isolierwerte nach EIA-Regelung. R<sub>c</sub> entspricht dem reziproken k-Wert =  $\frac{1}{k}$



*Auf optimale Isolationswerte kommt es im Zusammenhang mit einer energieeffizienten integralen Planung eines Tiefkühlagers an. Bei dem Tomas Bakkerij Groothandel Stadskanaal sind es  $2 \times 120$  mm Decken- und Fußboden-PU-Isolation, für die Umfassungswände sind 170 mm PU das Optimum*

- Isolation von Decke, Wänden und Boden.
- Begehungstüren, Streifenvorhänge am Eingang der Tiefkühlschleuse.
- Eventuelle Integration einer inneren Tiefkühlschleuse mit Kälteanlage für die Entfeuchtung während der Begehung, oder
- Erstellung einer außen liegenden Tiefkühlschleuse, wenn eine Vorabkühlung mit trockener Luft gegeben ist.
- Verdichter, Verflüssiger und Ventilatorluftkühler.
- Rohrnetzberechnung und Planung der Rohrleitungsverlegung sowie Platzierung der Kältemittelsammler bei Direktexpansionssystemen.
- Möglichkeiten zur Nutzung der Wärmerückgewinnung, z. B. für die Fußbodenbeheizung oder als Unterfrierungsschutz.
- Die gesamte Regelungstechnik.
- Für die jeweiligen Luftkühler speziell geeignete Expansionsventile.
- Die Art der Abtauvorrichtung in den Luftkühlern und schließlich
- die richtige Auswahl der Innenraumbeleuchtung.





Im Inneren des Tiefkühlagers platzierte Tiefkühlschleuse mit Gabelstapler-Rammschutz. Der oberhalb des Streifenvorhangs angeordnete Ventilatorluftkühler (Fabrikat Küba) dient vorrangig auch der (Luft)Feuchtebindung

### Förderungsanreize

Nicht unwesentlich für die energetisch richtige Planung von kältetechnischen Objekten ist die Nutzung der in den Niederlanden verfügbaren finanziellen Stimulationen durch den Betreiber. Hierzu zählen ein steuerlicher Energie-Investitionsabzug für die Wärmedämmung entsprechend EIA (EnergieInvestierungs-Aftrek), wie die hierbei gegebenen unterschiedlichen Möglichkeiten in Tabelle 1 dargestellt sind, sowie die STIMEK-Industrie-Regelung, die allerdings nur noch für den Zuständigkeitsbereich des Energieversorgers NUON Gültigkeit hat. Die wichtigsten Voraussetzungen zur Anwendung der STIMEK-Industrie-Regelung sind in Tabelle 1 aufgeführt. Hierzu zählen insbesondere eine niedrige Lufteintrittstemperaturdifferenz (DT 1) am Luftkühler, die im Tiefkühlager 6 K nicht überschreiten darf, ein optimales DT 1 von 10 K am Verflüssiger und ein Verflüssigerdruck von max. 20 °C bei einer Außentemperatur von 5 °C.

Neben der steuerlichen Förderung einer guten und energieeffizienten Isolation besteht innerhalb der EIA-Regelung auch die Möglichkeit, zusätzliche energie-sparende Maßnahmen steuerlich zu fördern, die Komponenten-Auswahl betreffen, und bei denen die investiven Mehraufwendungen bis zu 30 % in einen Steuerabzug gebracht werden können. Dies kann in Frage kommen bei

- elektronischen Expansionsventilen,
- Wärmerückgewinnungssystemen innerhalb der Kälteinstallation,
- Auswahl eines energieeffizienten Beleuchtungssystems,
- Verflüssiger mit einem separaten Unterkühlungskreislauf und
- bei Maßnahmen zur Flüssigkeitsdruckerhöhung vor dem Expansionsventil.



Die Wärmerückgewinnung der Verflüssigerwärme über Plattenwärmetauscher dient hier für die Warmwasserversorgung des Bodenunterfrigungsschutzes des Tiefkühlagers

Es gibt noch einige zusätzliche Möglichkeiten, die das jeweilige Projekt vorteilhaft beeinflussen können, entscheidend ist, daß die Voraussetzungen hierfür in einem frühen Stadium der Projektausbereitung erkannt und erfaßt werden. Für das Jahr 2001 erlaubte die EIA-Regelung die Steuerabzugsfähigkeit von maximal 55 % der Kosten für Isoliermaterial incl. Montagekosten für einen m<sup>2</sup>-Preis, wie er in Tabelle 2 in Abhängigkeit von Isolationswert, -Material und Stärke angegeben ist.

Unter Heranziehung der beschriebenen Voraussetzungen kann man erst beurteilen, ob eine kältetechnische Einrichtung energiewirtschaftlich richtig geplant ist, dazu muß man jedoch die verschiedenen Fachdisziplinen ausreichend beherrschen, um eine integrale Bewertung vornehmen zu können. Meistens wird ein mögliches Energieeinsparpotential von den Lieferanten einzelner Komponenten nur herstellereitig in Prozenten angegeben, die man aber nicht so ohne weiteres addieren kann, um schon planerisch den Energiejahresverbrauch zu errechnen. Derartige energetische Einsparungsgrundlagen sind nur schwer zu bewerten und können daher nicht als Bemessungsgrundlage für die Förderung von Investitionen durch den Betreiber von kältetechnischen Einrichtungen herangezogen werden. Wichtiger für die Gesamtbeurteilung sind betriebsbedingte Einsparungen, die aus dem kWh-Jahresenergieverbrauch zurückgerechnet werden können. Vor allem bei Neubau-



projekten dienen Förderungsmöglichkeiten wie EIA und STIMEK auch dazu, um bei einem Angebots-Leistungsvergleich durch den Investor eventuell vorhandene Zweifel hinsichtlich der Auswahl des energiewirtschaftlich besten Gesamtkonzepts bei der Auftragsvergabe zu beseitigen.

Anhand eines der vorausgegangenen Grundlagenbetrachtung folgenden Praxisbeispiels im Zusammenhang mit einer Neuinvestition (Ergänzungsbauvorhaben durch Anbau an ein bestehendes Großhandelslager) des Tomas Bakkerij Groothandel in Stadskanaal (NL, Provinz Groningen) kann nachgewiesen werden, in welcher Weise sich das Zusammenwirken von Fachplaner (Architekt sowie Kälte- und Energie-Fachberater) und Fachfirmen (Baufirma, Isolierer, Beleuchtungsspezialist und Kältefachfirma) von integraler Bedeutung für ein energiewirtschaftlich optimales Tiefkühlhausprojekt ausgewirkt hat.

### Tomas Bakkerij Groothandel Stadskanaal, ein vorbildliches Projekt

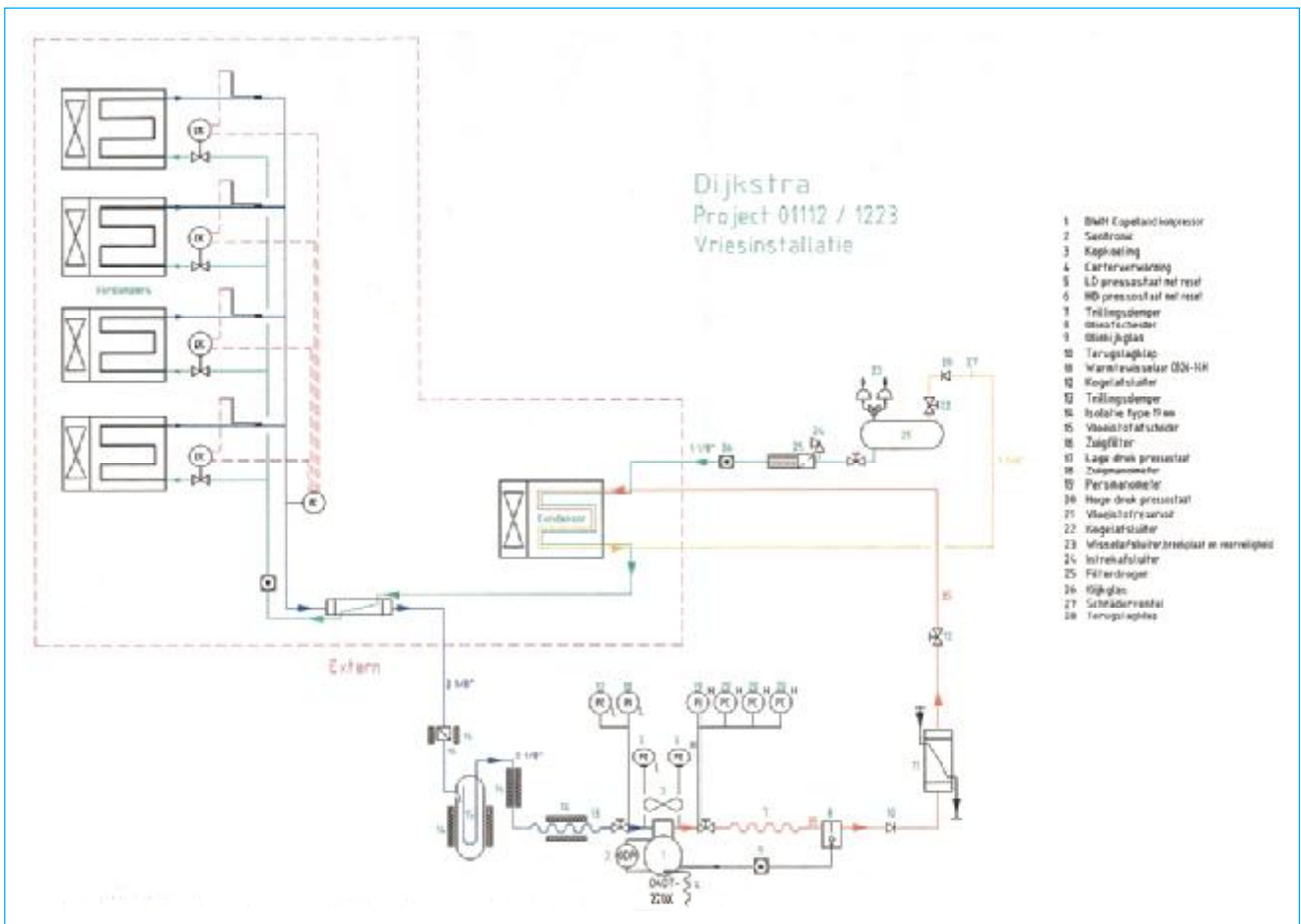
Der Tiefkühlhaus-Neubau verfügt über die Abmessungen 20 m × 13 m × 6 m hoch und über einen Rauminhalt von 1560 m<sup>3</sup>. Die maximale Lagertemperatur beträgt -24° C.

Das Tiefkühlhaus ist mit zwei Kältesystemen ausgerüstet, die Kühlung erfolgt durch Kältemitteldirektexpansion und mit dem Kältemittel R 507. Das erste System für das Tiefkühlager besteht aus einem semihermetischen Kältemittelverdichter mit einem auf dem Dach angeordneten luftgekühlten Verflüssiger und separatem Flüssigkeits-Unterückungskreislaufdichter, der Sammler ist platzsparend unter der Decke des Maschinenraums montiert, wobei auch keine besonderen Druckerhöhungsmaßnahmen für die Flüssigkeitsführung erforderlich

werden (die Anlage arbeitet bei einer Verflüssigungstemperatur von 20° C dann noch einwandfrei). Vier Ventilatorluftkühler sind über die Längsachse des Tiefkühlagers verteilt im Wand/Deckenbereich plaziert.

Das zweite System ist für die innen angeordnete Tiefkühlschleuse bestimmt und besteht im wesentlichen aus einer luftgekühlten Verflüssigungseinheit und einem Ventilatorluftkühler. Alle Ventilatorluftkühler sind mit einem elektrischen Abtauheizregister ausgerüstet. Hierzu einige Details der technischen Ausstattung für das Super-ECO-Tiefkühlhaus:

- 1 semihermetischer DWM-Copeland Discus-Verdichter Typ D4DT-220X für das Tiefkühlager, Kälteleistung 24,9 kW bei  $t_o = -31,6^\circ\text{C}$  und  $t_c = 25^\circ\text{C}$ .
- 1 luftgekühlter semihermetischer DWM-Copeland Verdichterkältesatz Typ H9-LSG-40X-EWL für die Tiefkühlschleuse, Kälteleistung 5,6 kW bei  $t_o = -30^\circ\text{C}$  und  $t_{\text{umg}} = 15^\circ\text{C}$ .



Fließbild des Anlagenschemas Tiefkühlager

- 1 Küba Ventilatorluftkühler Typ SPBE 044C mit 4 Ventilatoren für die Tiefkühlschleuse, Kälteleistung 6,1 kW bei TD1 = 6 K.
- 4 Küba Ventilatorluftkühler Typ DEBE 094D mit jeweils 4 Ventilatoren für das Tiefkühlager, Kälteleistung jeweils 5,5 kW bei TD1 = 5,9 K.
- 1 luftgekühlter Küba-Verflüssiger mit 3 Axiallüftern Typ CAV S06-1x3F für Dachaufstellung mit separatem Unterkühlungskreislauf für den Kältemittelkreislauf Tiefkühlager, Verflüssigerleistung 42,6 kW bei TD1 = 10 K.



Dachaufstellung des luftgekühlten Verflüssigers (Fabrikat Küba). Darunter ist das Luftansauggitter für die Verflüssigungseinheit der Tiefkühlschleuse sichtbar. Auf dem rechten Bild ist von einem der Ventilatorluftkühler der Tauwasserablauf-/auslaufstutzen (im Winter elektrisch beheizt) zum Gulli sichtbar

### Energieeffiziente integrale Planung

Von folgenden Ausgangspunkten und Faktoren ging die integrale Fachplanung aus:

- Jahresmittel der Wand und Fußboden-Umgebungstemperatur = 10 °C.
- Jahresmittel der Decken-Außentemperatur = 15 °C.
- Einbringung diverser Tiefkühlprodukte, 10 000 kg/Tag, mit einer Einbringtemperatur von - 18 °C.



- 1 Danfoss ADAP-KOOL Regelungseinheit, bestehend aus 5 AKV's für die Luftkühler, 2 AKC-72A für Tiefkühlager und Schleuse sowie 1 AKC-116A zur Verdichter/Verflüssiger-Druckregelung.
- 1 energieeffiziente Beleuchtungsregelung für Schleuse und Tiefkühlager, bestehend aus einer elektronischen Danfoss Hochfrequenz Vorschaltapparat EBH in Kombination mit Aura-Licht LongLife Fluoreszenzlampe der Type 2x58W RA 85 840, insgesamt handelt es sich um 18 Armaturen.

- Betriebsstunden aller Ventilatoren an den Luftkühlern = Betriebsstunden Verdichter/Verflüssigungseinheit; d. h. Verdampferventilatoren im Parallelbetrieb mit den Verdichtern.
- Die Innenraumbeleuchtung ist ausgelegt auf 300 lux und für eine Dauer von 8 Std. während der täglichen Betriebszeit.
- Anwesenheitsfrequenz von Personen im Tiefkühlager = 20mal pro Tag à 4 Minuten Aufenthaltsdauer.
- Gabelstapler-Betrieb im Tiefkühlager = 20mal pro Tag à 3 Minuten Aufenthaltsdauer.
- Türöffnungsfrequenz Tiefkühlager über Schleuse und Streifenvorhang = 40mal pro Tag.

### Planer erstellte drei Tiefkühlhauskonzepte

Wie schon in den allgemeinen Vorbemerkungen erwähnt, ist der Begriff „Energiesparen“ relativ, deshalb sollte man mögliche „Betriebsstandards“ untereinander bzw. miteinander vergleichen, um die angestrebte Wirtschaftlichkeit zu bewerten. In Tabelle 3 werden hierzu drei, jeweils getrennt berechnete Tiefkühlhauskonzepte unter Berücksichtigung der Beurteilungsaspekte Investitions- und Betriebskosten miteinander verglichen. Ein spezielles Unterscheidungs-Augenmerk wurde auf die Faktoren Isolationsart- und -stärke, die Integration einer Schleuse sowie die Art der Beleuchtung gerichtet. Ausgangspunkte waren hierbei:

- In allen Konzepten wurden zur Kühlung des Tiefkühlagers der gleiche Verdichter und der gleiche luftgekühlte Verflüssiger vorgesehen.
- Im „Standard-Tiefkühlhaus“-Konzept wurde keine Schleuse vorgesehen, dieser Raum ist somit Bestandteil der Kälteanlage für das Tiefkühlager.
- Während die Konzepte „Super-ECO-Tiefkühlhaus“ und „Super-Tiefkühlhaus“ zur Kühlung von einem Kältemittelverdichter ausgingen, wurden für das „Standard-Tiefkühlhaus“-Konzept zwei Verdichter zur Leistungsaufteilung vorgegeben.



Separate Verflüssigungseinheit (DWM/Copeland) für die Tiefkühlschleuse





Verdichter (DWM/Copeland) für das Tiefkühlager, Sammler ohne zusätzliche Druckerhöhungsmaßnahmen unter der Decke des Maschinenraumes plaziert

- Die Isolierart und -stärke ist bei den beiden erstgenannten Konzepten verbessert gegenüber der „Standard-Tiefkühlhaus“-Ausführung.
- Die für das „Super-Tiefkühlhaus“ und für das „Standard-Tiefkühlhaus“ geplante Beleuchtung besteht aus Philips-TL „D“ HF Lampen und einer Danfoss-HF-EVSA Vorschaltapparatur.
- Die Beleuchtung im „Super-ECO-Tiefkühlhaus“ besteht aus AURA-LongLife Fluoreszenzlampen in Kombination mit der Danfoss-Vorschaltapparatur HF-EVSA, die Lichtstärke ist 4,5mal höher (bei -20 °C RT) als bei Philips TL „D“ Lampen!
- Die Wärmerückgewinnung aus der Verflüssigerwärme über Plattenwärmetauscher und Pumpe dient sowohl der Warmwasser-Fußbodenheizung als auch Unterfrierungsschutz für Tiefkühlager und den Eingangsbereich zur Schleuse, ist in allen drei Tiefkühlhauskonzepten enthalten und kann zur Bewertung von Förderungsmaßnahmen nach STIMEK bzw. als steuerabzugsfähig nach EIA ebenso herangezogen werden, wie der separate Unterkühlungskreislauf des luftgekühlten Verflüssigers.

### kWh-Verbrauch

In Tabelle 4 werden die unterschiedlichen Faktoren, die den Energieverbrauch beeinflussen, angeführt und mit den unterschiedlichen Konzepten verglichen. Hierbei wird ein Unterschied gemacht zwischen dem indirekten und dem direkten Energieverbrauch; somit in einer ganzheitlichen Betrachtung. Der indirekte Anteil betrifft zum Beispiel die Wärmeabführung der Verdichter durch die Ventilatoren, der direkte Anteil ist dann derjenige, der die Energiezufuhr aus dem elektrischen Stromnetz betrifft. Betrachten wir hierbei einmal die Beleuchtung. Der indirekte Energieverbrauch betrifft die Wärmeabgabe der Lampen, die durch die Verdichter über deren Kälteleistung wieder abgeführt werden muß. Der direkte Anteil ist natürlich der elektrische Stromverbrauch durch die Lampen aus dem Netz. Ausgangspunkt für die energetische Bewertung der Beleuchtung ist eine tägliche Betriebsdauer von 8 Stunden und ein Zeitraum von 220 Tagen/Jahr. Allen anderen Bemessungsfaktoren liegt eine Zeitspanne von 365 Tagen zugrunde, um die Wärmelast zu ermitteln.

Aus den Angaben in Tabelle 4 kann nun der Rückschluß gezogen werden, daß die Faktoren Wärmeeinstrahlung Gebäude, Türverluste und Beleuchtung die größten Energieverbraucher im Konzept „Standard-Tiefkühlhaus“ darstellen und große Energieeinsparungen über die Integration einer Tiefkühlschleuse in das Tiefkühlager und damit weniger elektrische Abtauzeit bei den beiden anderen, besseren Konzepten erzielt werden können. Auch nimmt bei den Konzepten „Super-Tiefkühlhaus“ und „Super-ECO-Tiefkühlhaus“ der indirekte Anteil des Energieverbrauchs durch bessere Isolationsart und

Tabelle 3  
Tiefkühlhaus-Konzept

	Super-ECO Tiefkühlhaus Tomas Großhandel Stadskanaal (NL)	Super-Tiefkühlhaus	Standard-Tiefkühlhaus
Tiefkühlschleuse (innwändig)	Ja, einschl. Streifenvorhang	Ja, einschl. Streifenvorhang	Nein
Kälteanlage Tiefkühlschleuse	Ja	Ja	Nein
Isolierung Decke	2x120 mm PU (EIA)	2x120 mm PU (EIA)	120 mm PU
Isolierung Fußboden	2x120 mm PU (EIA)	2x120 mm PU (EIA)	200 mm PS (Tempex)
Isolierung Wände	170 mm PU	170 mm PU	120 mm PU
Abtauintervalle/Tag à 15 Minuten (Lager/Schleuse)	1x / 4x	1x / 4x	4x / nicht vorh.
Wärmerückgewinnung für Fußbodenheizung	Ja (EIA und STIMEK)	Ja (EIA und STIMEK)	Ja (EIA und STIMEK)
Beleuchtung (Fluoreszenzlampen)	AuraLight LL58W/830 (EIA)	Philips TL„D“58W/830	Philips TL„D“58W/830
DT 1 Luftkühler (Lager/Schleuse)	6,0 K / 5,9 K (STIMEK)	6,0 K / 5,9 K (STIMEK)	8,2 K / nicht vorh.
Auslegung Verflüssiger	DT1=10K/tß 20°C bei UT= +5°C (STIMEK)	DT1=10K/tß 20°C bei UT= +5°C (STIMEK)	T <sub>c</sub> =40°C
Flüssigkeitsunterkühlung (separater Kreislauf)	10 K	10 K	2 K
Berechnete Kühllast	7,5 kW (5 W/m <sup>3</sup> )	10,2 kW	14,5 kW
Energieverbrauch Lager/Jahr	46.944 kWh	67.168 kWh	131.659 kWh
Anzahl Verdichter	1 St.	1 St.	2 St.
Betriebszeit Verdichter/Tag (Verdichter Tiefkühlager / Verflüssigereinheit Schleuse)	6,4 h (gemittelt) / 3,6 h	8,3 h (gemittelt) / 6,2 h	12,5 h / nicht vorh.

	Super-ECO Tiefkühlhaus Tomas Großhandel Stadskanaal (NL)	Super-Tiefkühlhaus	Standard-Tiefkühlhaus
<b>Indirekter Energieverbrauch</b>	<b>61 % von total</b>	<b>54,8 % von total</b>	<b>71,4 % von total</b>
Produkt-Einbringung	11,4 %	8,0 %	8,1 %
Wärmeeinstrahlung Gebäude	30,7 %	21,4 %	30,8 %
Türverluste	5,8 %	3,9 %	13,1 %
Beleuchtung	5,7 %	15,4 %	14,4 %
Ventilatoren/Personen/ Gabelstapler	6,7 %	5,6 %	5,3 %
Elektr. Abtaugung <sup>1</sup>	0,7 %	0,5 %	0,4 %
<b>Direkter Energieverbrauch</b>	<b>39 % von total</b>	<b>45,2 % von total</b>	<b>71,4 % von total</b>
Türrahmenheizung	9,3 %	6,5 %	3,3 %
Ventilatoren Luftkühler	9,7 %	9,2 %	6,8 %
Ventilatoren Verflüssiger	4,5 %	4,1 %	1,2 %
Beleuchtung	6,3 %	18,9 %	9,7 %
Elektr. Abtaugung	9,2 %	6,5 %	7,6 %
<b>Total indirekt + direkt</b>	<b>100 %=46.944 kWh</b>	<b>100 %=67.168 kWh</b>	<b>100 %=131.659 kWh</b>

<sup>1</sup> Der Wirkungsgrad der Abtaugung beträgt 0,85 bzw. 85 %

Tabelle 4 Direkter und indirekter kWh-Verbrauch

Isolierstärke drastisch ab. Bei dem Konzept „Super-ECO-Tiefkühlhaus“, das schließlich bei dem Tomas Bakkerij Groothandel in Stadskanaal realisiert werden konnte, kommt der Auswahl einer Niedrigtemperatur-Beleuchtung entscheidende Bedeutung zu. Die AURA-LongLife-Fluoreszenz-Beleuchtung verfügt über hohe Beleuchtungswerte auch bei niedrigen Temperaturen. In der Berechnung des Ausgangspunktes mit Philips TL „D“ Lampen mußte davon ausgegangen werden, daß für diese – gegenüber AURA – 4,5mal mehr Beleuchtungsstärke installiert werden müßte, um Lichtwerte von 300 Lux bei – 20 °C Innenraumtemperatur im Tiefkühlager zu erzielen. Das bedeutet, daß man neben der Einsparung von Installationskosten im Neubau das 4,5fache an Beleuchtungsenergie bei der elektrischen Stromentnahme aus dem Netz über die ganze Betriebszeit und Lebensdauer der Betriebseinrichtung einsparen kann.

Zur Bewertung des Gesamtenergieverbrauchs: Der Vergleich des Energieverbrauchs bei allen drei Konzepten erfolgte auf Basis der gemittelten Betriebsstunden von jeweils einem Verdichter sowie der Ventilatoren für Luftkühler und Verflüssiger. Demzufolge benötigt das „Standard Tiefkühlhaus“ zur „Standard-

Wärmeabführung“ einen zweiten Verdichter zur ausgewogenen Leistungsabdeckung.

### Investitionskosten und Amortisation

Die gesamten Investitionskosten für das „Super-ECO-Tiefkühlhaus“ betragen (ohne EIA- und STIMEK-Förderungen) 115 487 €, die aufzuteilen sind in 45 % für die Isolierpaneele, 51 % für die kältetechnische Installation und 4 % für die Beleuchtung.

Das „Standard-Tiefkühlhaus“ erfordert Investitionskosten in Höhe von 90 756 €, somit liegt der Anschaffungspreis für

das „Super-ECO-Tiefkühlhaus“ brutto 27,2 % höher; aber nach Abzug der Förderbeiträge nur noch 9,9 %. Dagegen benötigt das „Standard-Tiefkühlhaus“ einen jährlichen Stromverbrauch in Höhe von 131 659 kWh, das „Super-ECO-Tiefkühlhaus“ jedoch nur 46 944 kWh. Ausgehend von einem kWh-Preis in den Niederlanden von ca. 0,07 € hat sich die Netto-Mehrinvestition in Höhe von 8168 € bereits innerhalb von 17 Monaten (1,4 Jahren) amortisiert.

Auch ist zu erwähnen, daß sich die Mehrinvestition bei einem Bau nach dem „Super-Tiefkühlhaus“-Konzept in Höhe von 10 437 € schon binnen 2,4 Jahren amortisieren. Der längere Zeitraum im Vergleich mit dem „Super-ECO-Tiefkühlhaus“ ist auf den Mehraufwand an Beleuchtung bei der Erstinstallation zurückzuführen.

### Zusammenfassende Bewertung

Es macht also Sinn, sich zu überlegen, die richtige Materialauswahl bei den Isolierpaneelen zu treffen, und sich für die energetisch vorteilhafteste Beleuchtungsart zu entscheiden. Im Fall eines Tiefkühlhauses müssen die ermittelten Lichtwerte vor allem bei einer niedrigen Raumtemperatur von – 20° C bemessen und bewertet werden.

Der Wirkungsgrad der Ventilatoren bei größeren Luftkühlern ist damit im Zusammenhang stehend im Energieverbrauch günstiger und trägt damit zu einer Energieeinsparung bei.

Als weiterer Vorteil für die Investitionsentscheidung zum Bau eines „Super-ECO-Tiefkühlhauses“ durch den Tomas Bakkerij Groothandel in Stadskanaal ist zu erwähnen, daß die niedrigen Betriebskosten, auf Lebensdauer der Gesamtanlage gesehen, einen entscheidenden Kostenfaktor darstellen und damit einen Vorteil für den wirtschaftlichsten Kaufentscheid bilden.

**Alles Theorie, wo bleibt der Beweis aus der Praxis?** Hier ist er: Das „Super-

	Super-ECO Tiefkühlhaus Tomas Großhandel Stadskanaal (NL)	Super-Tiefkühlhaus mit Standard-Beleuchtung	Standard-Tiefkühlhaus
Netto Investitionskosten	Ö91.210.-	Ö93.479.-	Ö83.042.-
Fördermittel (EIA, STIMEK)	Ö24.277.-	Ö27.000.-	Ö7.714.-
kWh – Jahresverbrauch	46.914 kWh	67.168 kWh	131.659 kWh
Amortisation	1,4 Jahre	2,4 Jahre	- -

Tabelle 5 Investitionen





Optimale Energieeffizienz im kWh-Verbrauch. Die Betriebsstundenzähler (2241 h für das Tiefkühlager, 1806 kWh für die Schleuse) liefern den Beweis: Durchschnittliche Laufzeit von 3,44 h/24h (Tiefkühlager) und 4,27 kWh (Schleuse). Effizienter geht's kaum

ECO-Tiefkühlhaus“ wurde Ende September 2001 in Betrieb genommen. Ein Orts-termin durch die beiden Autoren, gemeinsam mit dem Projekt-ausführenden Kälteanlagenbauer I. Dijkstra (Assen) erfolgte am 7. August 2002. Hierbei wurden von P. W. die beiden in der Elektroschalttafel eingebauten Betriebsstundenzähler des Tiefkühlagers (2241,47 h) und der Tiefkühlraumschleuse (1806,17 h) fotografiert. Vergleicht der Leser nun die über das Jahr in der Planung nach Tabelle 3 vorgegebene gemittelte Betriebszeit des Tiefkühlhausverdichters mit 6,4 h/Tag und der Verflüssigungseinheit für die Tiefkühlhausverdichters mit 3,6 h/Tag mit den Istwerten, so hat die bisher gemessene Betriebszeit des Tiefkühlhaus-Verdichters nur 3,44 h/24 h betragen und die der Verflüssigungseinheit für die Tiefkühlhausverdichters nur 4,27 h/24 h. Der relativ höhere Betriebsstundenwert für die Tiefkühlhausverdichters ist auf eine anfängliche stärkere Vereisung des Luftkühlers zurückzuführen, bis dieser Verdampfer wegen seiner primären Aufgabe zur Luftentfeuchtung nach und nach auf eine einwandfreie Betriebsfunktion einreguliert werden konnte.

Eine Schlußbemerkung von P. W.: Sollte die Frage gestellt werden, was kann ein deutscher Kälte-Klimafachmann als Nutzen aus den hier beschriebenen Konzepten für ein Tiefkühlhaus-Neubau-projekt ziehen, wenn es in Deutschland zwar eine Öko-Steuer gibt, aber keine mit STIMEK und EIA vergleichbare EVU-



Mit dem angestrebten Ergebnis „Super-ECO-Tiefkühlhaus“ zeigen sich sehr zufrieden (v. l.): Kältetechniker I. Dijkstra (Assen), Geschäftsführer Willy Huls (Tomas B. V. Bakkerij- en Horecagroothandel (Stadskanaal) und Planer Ing. Ben G. J. Ernens (Rolde)

und/oder steuerliche Förderung? Dann gilt als Antwort dennoch: Die Amortisation höherer Investitionskosten läßt sich (nachweislich) leicht nach Tabelle 5 aus der jährlichen Differenz des kWh-Verbrauchs zwischen „Standard-Tiefkühlhaus“, „Super-Tiefkühlhaus“ und „Super-ECO-Tiefkühlhaus“ herausrechnen und schlägt deshalb auch ohne die Inanspruchnahme besonderer Umwelt-Fördermittel wirtschaftlich positiv zu Buche. Was

der empfohlenen Anwendung in Deutschland dagegen stehen könnte? Daß hier immer der billigste Bieter (falsch: billiger Jakob) den Auftrag erhält und weil die VOB-Vorschriften energetisch günstige Anlagenkonzepte nicht vorschreiben. Schade. □