

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	06738	Referat	21/0	Fördersumme:	198.762,00 DM
Antragstitel		Entwicklung einer Milchkühlanlage mit umweltfreundlichen Kältemitteln			
Stichworte		Verfahren; FCKW; Milchkühlung; Propan; Wärmerückgewinnung;			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
21 Monate	04/95	01/97	keine		
Zwischenberichte		quartalsweise			
Bewilligungsempfänger	ITEC Entwicklungs- und Vertriebsgesellschaft mbH Kochhorstweg 37 04910 Elsterwerda			Tel.: 03533-161672 Fax.: 03533-161673 Projektleitung: Herr Deutschmann Bearbeiter:	
Kooperationspartner	Copeland: Hersteller von Kältemittel-Verdichtern, Berlin DK: Hersteller von Wärmerückgewinnungsanlagen, Emsdetten FKU: Forschungszentrum für Kälte- und Umwelttechnik GmbH, Berlin FKW: Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen, Hannover E. Flitsch GmbH: Expansionsventile für kältetechnische Anwendungen, Fellbach Hüls AG: Unternehmen der chemischen Industrie, Marl Dipl.Ing. Kern: Technischer Sachverständiger für Sicherheitstechnik, Neubulach Swep: Hersteller von Plattenwärmeübertragern, Hildesheim				

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Die Fa. ITEC GmbH in Elsterwerda stellt u.a. Milchkühlanlagen her. Diese Anlagen wurden bisher mit dem Sicherheitskältemittel R22 betrieben. Kältemittel tragen zur Umweltbelastung bei.

Die Fähigkeit eines Stoffes, die Ozon-Schicht zu zerstören, wird mit seinem Ozonzerstörungspotential beschrieben. Zusätzlich können ausgetretene Kältemittel, ähnlich wie Wasserdampf und CO₂, langwellige Strahlung von der Erdoberfläche absorbieren und damit zum Treibhauseffekt beitragen. Diese Eigenschaft wird als das Treibhauspotential bezeichnet. Der indirekte Beitrag zum Treibhauseffekt wird durch den erforderlichen Energiebedarf bedingten Schadstoffausstoß verursacht, bei der Verbrennung fossiler Energieträger entsteht.

Um die Belastung der Umwelt bei dem Betrieb der Milchkühlanlage zu reduzieren, ist das Ziel des Projektes die Erarbeitung eines Konzeptes zur Entwicklung von Milchkühlanlagen nach dem Durchflußprinzip mit Kältemitteln ohne Ozonzerstörungspotential und minimalem Treibhauspotential.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die Entwicklung der Milchkühlanlage wurde in mehreren Phasen durchgeführt. Die erste Phase beinhaltet eine umfassende Studie zum Stand der Technik und den verfügbaren Kältemitteln. Das ausgewählte Kältemittel sollte aus ökologischer Sicht unbedenklich sein und dem Betreiber langfristig eine umweltrechtliche Akzeptanz sichern. Neben den umwelttechnischen Gesichtspunkten spielten auch die Verfügbarkeit

und die Kosten der verwendeten Komponenten der Anlage sowie die sich aus den thermodynamischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften des Kältemittels ergebenden Konsequenzen für den Anlagenaufbau eine entscheidende Rolle. Die Überprüfung dieser Punkte erbrachte eine Entscheidung zugunsten des Kohlenwasserstoffes Propan (R290) als Kältemittel.

Aufgrund der Brennbarkeit von Propan schließt sich die Einarbeitung eines *Sicherheitskonzeptes* an. Bei der Erstellung des Sicherheitskonzeptes für eine Kälteanlage mit Propan ist eine Gefahrenanalyse durchgeführt worden. Diese Gefahrenanalyse beinhaltet die Identifikation von Gefahren, die Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeiten und deren Tragweite in den einzelnen Realisierungsphasen der Kälteanlage. Die Untersuchungen erbrachten die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen zur Vermeidung von Gefahren, die bei der konstruktiven Umsetzung der Konzeptes berücksichtigt wurden. Aus einer vorläufigen Abschätzung der Kältemittelfüllmenge ließ sich auf die erforderlichen sicherheitstechnischen Maßnahmen für die Kälteanlage und ihren Aufstellungsort schließen.

Das Anlagenkonzept berücksichtigt die zunächst definierten Anlagenanforderungen, die Leistungsanforderungen zur Milchkühlung und Wärmerückgewinnung sowie die dazu erforderlichen Temperaturen. Auf dieser Grundlage wurden Simulationsrechnungen für verschiedene Kälteanlagenkonzepte durchgeführt. Anschließend wurde eine Vorauswahl des Kältemaschinenöles getroffen. Die Recherche zu Stoffdaten des Öl-Kältemittel-Gemisches ermöglichte eine Abschätzung des Wärmeübertragerverhaltens. Damit konnte eine Auslegung der Anlagenkomponenten mit Unterstützung der jeweiligen Hersteller erfolgen. Die Adaption der kreislaufrelevanten Sicherheitstechnik vervollständigt das Anlagenkonzept.

Die Entwicklung / Erstellung der Versuchsanlage sowie die Leistungsprüfung an der Versuchsanlage stellen den praktischen Teil der Arbeiten dar. Am FKU - Forschungszentrum für Kälte- und Umwelttechnik GmbH Berlin wurde ein Prototyp der Milchkühlanlage erstellt. Eine meßtechnische Untersuchung der Anlage für verschiedene Versuchsbedingungen ermöglichte eine genaue Untersuchung des Betriebsverhaltens und Modifikationen während der Testphase.

Die Erstellung einer Betriebsanleitung, die Beratung bei der Demonstration und der Inbetriebnahme der Kälteanlage sind unterstützende Maßnahmen für einen sicheren Betrieb der Anlage beim Anwender.

Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertung der Messungen ergab je nach Auslegungsbedingung des gemessenen Versuches eine Kälteleistung der Versuchsanlage bis zu 15,5kW. Die Leistung des Wärmerückgewinnungssystems betrug maximal 15,5kW.

Für den Einsatz eines Scrollverdichters in Verbindung mit Propan lagen bisher keine Erfahrungen vor. Der verwendete Scoll-Verdichter zeichnete sich während der Versuche durch Laufruhe und Zuverlässigkeit aus. Die erzielten Leistungen entsprachen den Erwartungen.

Der Einsatz der Plattenwärmeübertrager hat maßgeblich zur Minimierung der Kältemittelfüllmenge auf unter 2,5 kg beigetragen. Die sicherheitstechnischen Anforderungen sind dadurch in Maßen gehalten. Die Untersuchung des Wärmeübertragungsverhaltens ergab zu den Auslegungsrechnungen geringfügig abweichende Ergebnisse, bedingt durch die Löslichkeit von Propan und dem verwendeten Öl. Ein bei späteren Messungen verwendeter Verdampfer mit verbessertem Verteilungssystem erbrachte eine Leistungssteigerung.

Das ausgewählte Expansionsventil zeigte ein stabiles Regelverhalten. Eine Variation des Anlegeortes des Fühlers zeigte keinen negativen Einfluß auf das Regelverhalten.

Die Untersuchung des Betriebsverhaltens der Kälteanlage ergab, daß der Sammlerdruckregler und die zugehörige Druckleitung zum Sammler nicht erforderlich sind. Die Regelung der Kälteanlage ist auch ohne diese Bauteile immer gewährleistet. Die Investitionskosten können damit weiter reduziert werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Fazit

Das Konzept einer kompakten Kälteanlage mit dem Kältemittel Propan hat sich auch im Feldversuch bewährt. Die Einbindung in eine bestehende Milchkühlanlage erfolgte problemlos und störungsfrei.

Eine Kältemittelfüllmenge von 1,5 kg erscheint durch weitere Optimierung der Komponenten möglich.

Damit wäre eine weitere Reduzierung der Sicherheitsmaßnahmen bzw. Auflagen möglich.

**Ergänzende Darstellungen des Bewilligungsempfängers
(nur für den internen Gebrauch in der Deutschen Bundesstiftung Umwelt)**

1. Bewertung der Pro ektergebnisse (kritische Betrachtung)

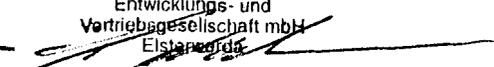
Die Entwicklungsaufgabe wurde erfüllt. Das Erzeugnis wird 1997 Umsatzwirksam auf dem deutschen Markt eingeführt. Nachteilig wirkt sich aus, daß der Verdichterhersteller Copland (ein amerikanisches Unternehmen) sich nicht eindeutig zum Einsatz von R 290 bekennt. Im Rahmen der Produktionseinführung wird somit der Verdichterhersteller gewechselt, was ein vertretbares Risiko ist.

2. Soll-Ist-Vergleich der Pro ektkosten

Die geplanten entwicklungs-kosten betragen	331 270,00 DM
Die per 19.06.97 aufgelaufenen Koste betragen	361 050,47 DM
 Die Mehrkosten betragen	 29 780,47 DM

Die Mehrkosten sind durch die erhöhten Labortests entstanden.

3. Darlegung der Erfüllung der Bewilligungsauflagen
keine Auflagen

Datum	19.06.97	Stempel und Unterschrift des Bewilligungsempfängers Entwicklungs- und ITEC Vertriebsgesellschaft mbH Elsterwerda  Ausrüstungen für die Landtechnik und Nahrungsgüterwirtschaft
-------	----------	--

Industriegebiet-Ost, Kochhorstweg 37
04910 Elsterwerda, Tel. 03533 16 16 72, Fax: 73

Abschlußbericht

**zum Forschungsvorhaben AZ 06738 der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

Entwicklung einer Milchkühlanlage mit umweltfreundlichen Kältemitteln

ITEC GmbH Esterwerda

Juni 1997

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG	1
1.1 Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens	1
1.2 Projektbeschreibung	1
2 STAND DER FORSCHUNG	3
2.1 Umweltbelastung durch Kältemittel	3
2.2 Natürliche Kältemittel	4
2.3 Problematik brennbarer Kältemittel	4
2.4 Sicherheitstechnische Aspekte beim Einsatz brennbarer Kältemittel	7
2.5 Bestehendes Regelwerk	10
2.6 Bewertungskriterien für die Auslegung der Versuchsanlage	11
3 AUFGABENSTELLUNG	13
3.1 Anforderungen an eine Milchkühlanlage	13
3.2 Anforderungen an Aufbau und Gestaltung der Kälteanlage	13
3.3 Vorgaben und Randbedingungen aus den Untersuchungen zur Sicherheit	14
3.4 Vorgaben und Randbedingungen aus der Anwendung	16
4 MILCHKÜHLUNG MIT PROPAN / ANLAGENKONZEPT	17
4.1 Auslegung der Systeme, Komponentenauswahl	18
4.2 Optimierung der Auslegung durch Simulationsrechnungen	19
4.3 Auswahl der Anlagenkomponenten	20
4.4 Regelung und Überwachung der Anlage	23
5 TECHNISCHE BESCHREIBUNG DER VERSUCHSANLAGE	26
5.1 Aufbau und Funktion der Versuchsanlage	26
5.2 Technische Daten	31
6 LEISTUNGSPRÜFUNG DER VERSUCHSANLAGE	32
6.1 Aufbau der Solekreisläufe, Meßstellenplan	32
6.2 Inbetriebnahme der Versuchsanlage	34
6.3 Prüfung des Betriebsverhaltens der Kälteanlage mit dem Kältemittel R22	34
6.4 Durchführung der Leistungsmessungen mit R290	34
6.5 Inbetriebnahme der Kälteanlage im gewerblichen Betrieb	35
7 ERGEBNISSE UND DISKUSSION	36
8 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT UND PRÄSENTATION	38
9 ANHANG	39
Anhang 1: Firmenverzeichnis der beteiligten Partner	
Anhang 2: Vorschriften, Normen und Richtlinien	
Anhang 3: Zusammenstellung der Meßergebnisse	

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: ODP und GWP von Kältemitteln	3
Tabelle 2: Sicherheitstechnische Kenngrößen von Kohlenwasserstoffen und R22	6
Tabelle 3: Auslegungsbedingungen der Sekundärkreisläufe	46
Tabelle 4: Auslegungsbedingungen des Kältemittelkreislaufes	48
Tabelle 5: Leistungsabnahme bei der Übergabe, Messung 1	50
Tabelle 6: Leistungsabnahme bei der Übergabe, Messung 2	52
Tabelle 7: Ergebnisse der Öluntersuchungen	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vereinfachtes Fließschema der R22-Anlage	2
Abbildung 2: Vereinfachtes Fließschema der R290-Anlage	17
Abbildung 3: Schematischer Aufbau der Kälteanlage	26
Abbildung 4: Kälteanlage	28
Abbildung 5: Kälteanlage mit Nachbildung der Solekreisläufe	28
Abbildung 6: Fließbild der Kälteanlage	30
Abbildung 7: Aufbau der Kälteanlage mit Simulation der Solekreisläufe	32
Abbildung 8: Meßstellenplan	33

Formelverzeichnis

Formelzeichen

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit
c_p	spezifische isobare Wärmekapazität	kJ/kgK
\dot{m}	Massenstrom	kg/h
P	elektrische Leistung	kW
\dot{Q}	thermische Leistung	kW
T	Temperatur	°C

Indizes

Index	Bezeichnung
0	Verdampfung
1	Eintritt
2	Austritt
c	Verflüssigung
K	Kühlung
M	Milch
max.	maximal zulässige Bedingung
R	Wärmerückgewinnung
S	Sekundärfluid
u	Unterkühlung
U	Umgebung
V	Verdichter
W	Wasser

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Ziel dieses Vorhabens ist die Erarbeitung eines Konzeptes zur Entwicklung von Milchkühlanlagen nach dem Durchflußprinzip mit FCKW-freien Kältemitteln und minimalem Treibhauspotential.

Die Arbeiten beginnen mit einer umfassenden Studie zum Stand der Technik und der verfügbaren Kältemittel. An die Auswahl des Kältemittels schließt sich aufgrund der Problematik brennbarer Kältemittel die Erarbeitung eines *Sicherheitskonzeptes* an. Dieses Sicherheitskonzept dient als Basis für die Auswahl der Anlagenkomponenten und ist Grundlage der *Anlagenkonzeption*. Die *Entwicklung der Versuchsanlage* sowie die *Leistungsprüfung an der Versuchsanlage* stellen den praktischen Teil der Arbeiten dar. Die *Erstellung einer Betriebsanleitung* und die *Beratung bei der Demonstration und der Inbetriebnahme der Kälteanlage* sind unterstützende Maßnahmen für einen sicheren Betrieb der Anlage beim Anwender. Die *Zusammenstellung der Ergebnisse und Diskussion* schließen die Bewertung der Versuchsanlage ein. Die Durchführung des Vorhabens erfolgte mit Unterstützung der im Anhang 1 genannten Projektteilnehmer.

1.2 Projektbeschreibung

Die ITEC GmbH in Elsterwerda stellt Milchkühlanlagen her, mit denen die Milch nach dem Durchflußkühlverfahren schonend und qualitätserhaltend abgekühlt wird. Dieser Prozeß der Milchkühlung stellt im Vergleich zu dem sonst üblichen Behälterkühlverfahren für den Anwender ein wirtschaftlich vorteilhaftes Verfahren dar.

Nach dem bisherigen Anlagenkonzept der Firma ITEC wird die frisch ermolzene Milch zunächst in einen Sammelbehälter geführt, der als Puffer dient. Von dort wird die Milch mit Hilfe einer drehzahlgesteuerten Pumpe durch einen Plattenwärmeübertrager in einen Lagertank geleitet. Die Drehzahl der Pumpe wird so geregelt, daß die Milch von 34°C auf 4°C abgekühlt wird. Die der Milch entzogene Wärme wird mit Hilfe eines Kälte-trägers, einer Mischung aus Propylenglykol und Wasser (1/4), dem Verdampfer der Kälteanlage zugeführt. Die Kälteanlage, als Splitt-Anlage ausgeführt, kann somit räumlich getrennt von der Milchanlage aufgestellt werden.

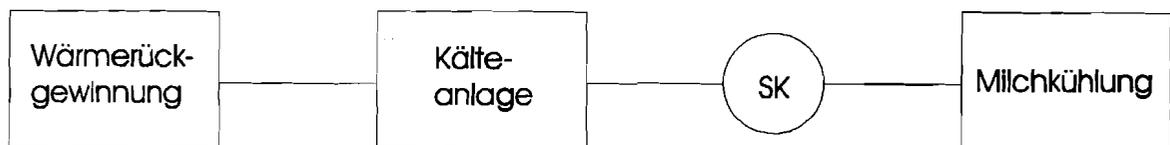
Die von der Kälteanlage bzw. deren luftgekühltem Verflüssiger abzuführende Wärme kann zur Wärmerückgewinnung genutzt werden.

Die Kälteanlagen der Firma *ITEC* werden bisher mit dem Kältemittel R22 (CHClF_2) betrieben und im allgemeinen zusammen mit dem Pufferbehälter, dem Milch-Wärmeübertrager und dem Milchlagertank sowie dem Behälter für das Warmwasser innerhalb eines Gebäudes aufgestellt.

In Abhängigkeit von der erforderlichen Kälteleistung werden bis zu 4 Anlagen parallel betrieben. Je Kälteanlage gilt:

- Kältemittelfüllmenge: etwa 8,5 kg (bei direkter Wärmerückgewinnung),
- Kälteleistung: etwa 12,5 kW entsprechend 400 l Milch / Stunde
- Stellfläche: etwa 1qm.

Die Milch wird in dem Plattenwärmeübertrager der Milchkühlung durch das Sekundärfluid abgekühlt. Das aufgewärmte Sekundärfluid wird im Verdampfer der Kälteanlage abgekühlt. Die Wärmerückgewinnung erfolgt, indem das zu verflüssigende Kältemittel durch einen speziellen Wärmespeicher geführt wird und dort kondensiert. In Abbildung 1 ist ein vereinfachtes Fließbild der R22-Anlage dargestellt.



SK: Sekundärkreislauf

Abbildung 1: Vereinfachtes Fließschema der R22-Anlage

2 Stand der Forschung

2.1 Umweltbelastung durch Kältemittel

Das für den Betrieb der Kälteanlage auszuwählende Kältemittel soll aus ökologischer Sicht unbedenklich sein und dem Betreiber langfristig eine umweltrechtliche Akzeptanz sichern.

Im Hinblick auf den Einsatz eines ökologisch unbedenklichen Kältemittels werden besonders die Eigenschaften

- Ozonzerstörungspotential und
- Treibhauspotential

bewertet.

Die Fähigkeit eines Stoffes, die Ozonschicht zu zerstören, wird mit seinem Ozonzerstörungspotential (*Ozone Depletion Potential*, ODP) angegeben. Vollhalogenierte FCKW haben aufgrund ihrer höheren chemischen Stabilität größere ODP als H-FCKW. Chlorfreie Verbindungen, z.B. FKW, H-FKW weisen kein ODP auf.

Die Fähigkeit eines Stoffes, ähnlich wie Wasserdampf und Kohlendioxid (CO₂), langwellige Strahlung von der Erdoberfläche zu absorbieren und damit zum Treibhauseffekt beizutragen, wird als Treibhauspotential (*Global Warming Potential*, GWP) bezeichnet. Das GWP erfaßt somit Kältemittlemissionen. Aufgrund der Absorption in einem Wellenlängenbereich, in dem andere Spurengase in der Atmosphäre nicht wirksam sind, weisen FCKW und auch H-FKW ein sehr hohes GWP auf. Der Wert eines stoffbezogenen GWP hängt dabei von dem Bezugszeitraum ab. In Tabelle 1 ist eine Übersicht für verschiedene Stoffe gegeben. Es ist festzustellen, daß die natürlich vorkommenden, als Kältemittel anwendbaren Stoffe, wie beispielsweise Kohlendioxid, Ammoniak und die genannten Kohlenwasserstoffe im Vergleich zu den halogenierten Stoffen zum Teil ein sehr geringes GWP aufweisen.

Tabelle 1: ODP und GWP von Kältemitteln

	ODP	GWP 20a	GWP 100a	GWP 500a
FCKW-12	1	7000	7100	4100
HFCKW-22	0,055	4300	1700	520
HFKW-134a	0	3300	1300	420
CO ₂	0	1	1	1
R717 = NH ₃	0	3	3	3
R600a = Isobutan	0	4	4	4
R290 = Propan	0	4	4	4

Zusätzlich trägt jede Kälteanlage durch ihren Energiebedarf indirekt zur Treibhausbelastung bei. Zur Erzeugung der Antriebsenergie der Kälteanlage werden zum Teil fossile Energieträger verbrannt und dabei CO₂ in die Atmosphäre ausgestoßen. Dieser treibhauswirksame indirekte Anteil bzw. die Unterschiede der Energieeffizienz der halogenierten gegenüber den natürlichen Kältemitteln liegen jedoch in einer vergleichbaren Größenordnung und unterscheiden sich damit nicht so gravierend wie das GWP.

2.2 Natürliche Kältemittel

Die Technologie zum Einsatz von *Kohlendioxid* als Kältemittel ist noch nicht so weit fortgeschritten, daß es in produktionstechnischen Anlagen eingesetzt werden kann. In einer Kompressionskälteanlage mit Kohlendioxid würden Drücke bis zu etwa 120 bar auftreten. Für diese Arbeitsdrücke sind noch keine handelsüblichen Komponenten (Verdichter, Wärmeübertrager) erhältlich.

Gegen die Verwendung von *Ammoniak* als umweltfreundliches und effektives Kältemittel spricht das Risiko einer Kontamination des Produktes Milch mit Ammoniak und die Verwendung neuer, zum Teil noch nicht ausreichend erforschter Technologien und Komponenten beim Aufbau einer Anlage von solcher Leistung.

Weiterhin kommen als alternative Kältemittel mit minimalem Treibhauseffekt *Kohlenwasserstoffe* wie Butan, Propan, Propylen etc. in Betracht. Vorteilhaft beim Einsatz von Kohlenwasserstoffen ist neben der Verwendung von weitgehend konventionellen Komponenten (hinsichtlich: Material, Druck) auch deren Verfügbarkeit in den für den späteren Export vorgesehenen osteuropäischen Staaten. Unproblematisch ist auch deren Mischungsverhalten mit gängigen Mineralölen sowie biologisch abbaubaren Ölen auf der Basis von Estern.

In Absprache mit dem Auftraggeber werden deshalb Kohlenwasserstoffe in den zukünftigen Milchkühlanlagen der Fa. ITEC zur Anwendung kommen. Die folgenden Betrachtungen konzentrieren sich deshalb auf den Umgang mit Kohlenwasserstoffen als Kältemittel.

2.3 Problematik brennbarer Kältemittel

Propan, Iso-Butan, n-Butan und Propen sind brennbar und bilden mit Luft innerhalb bestimmter Grenzen explosionsfähige Gemische. Aufgrund dieser Eigenschaft müssen diesbezügliche sicherheitstechnische Aspekte berücksichtigt werden, um das Gefahrenpotential abzuschätzen und das Risiko zu minimieren. Es bleibt noch festzustellen, daß die betrachteten Kohlenwasserstoffe eine höhere Dichte als Luft aufweisen, damit tendenziell nach unten absinken und dort zu einer höheren Konzentration führen.

Notwendige Voraussetzung für eine Explosion sind die folgenden Bedingungen, die gleichzeitig erfüllt sein müssen:

- die Existenz eines explosionsfähigen Gemisches aus Kohlenwasserstoff und Luft bzw. Sauerstoff
- eine Zündquelle mit genügend Zündenergie.

Hinsichtlich der Tragweite bzw. möglicher Konsequenzen einer Explosion können die Orte der Vermischung von Kältemittel und Luft unterschieden werden:

1. außerhalb der Anlage bzw. in der Umgebung (Umgebung),
2. innerhalb der Anlage oder innerhalb von Behältern.

Eine Vermischung von Kältemittel und Luft innerhalb eines Behälters wird möglich durch:

- a) das Einströmen von Luft in einen mit Kältemittel befüllten Behälter oder
- b) das Einströmen von Kältemittel in einen mit Luft gefüllten Behälter.

Der Fall a) kann eintreten, wenn der Kältemitteldruck *innerhalb der Anlage* kleiner ist als der Druck des Systems, aus dem Luft in den Behälter strömen könnte. Unterdruck allein stellt kein Sicherheitsrisiko dar. Jedoch besteht bei Leckage die Möglichkeit, daß Luft und Feuchtigkeit in die Anlage eindringen. Dies führt dann zu Funktionsstörungen und resultiert in Wartungsarbeiten. Dabei muß zuvor das Kältemittel aus den Behältern entfernt werden, um sicherzustellen, daß kein explosives Kältemittel-Luft-Gemisch in der Anlage vorhanden ist.

Der Fall b) tritt beispielweise ein, wenn Kältemittel in eine nicht vollständig evakuierte Anlage oder einen Behälter gefüllt wird. Die Existenz von Luft in einem „Behälter“ kann auf eine nicht bemerkte Undichtigkeit oder das Fehlen einer geeigneten Druckanzeigevorrichtung (z. B. Manometer für Vakuummessung) zurückzuführen sein. Wird ein Sauerstoff enthaltender Behälter mit Kohlenwasserstoffen befüllt, kann es bei einer Erwärmung wegen der mit steigendem Druck sinkenden Zündtemperatur eher zu einer Explosion kommen.

Eine Vermischung von Kältemittel und Luft *außerhalb der Anlage* bzw. eines Behälters wird möglich durch das beabsichtigte oder unbeabsichtigte Ausströmen von Kältemittel z.B. durch

- Fehlbedienung (z.B. nicht vollständig geschlossene Ventile)
- Fehlfunktion: Leckagen, infolge mechanischer oder chemischer Beschädigung (z.B. Überdruck, undichte Verbindungen, Schwingungsbrüche in Rohrleitungen, Korrosion).

Darüber hinaus stellt beispielsweise die Anwendung ungeeigneter Meßmethoden eine Gefahr dar, weil dadurch weiteres Fehlverhalten ausgelöst wird. So ist die Messung einer Druckabsenkung in der Kälтанlage gegenüber Sättigungsdruck *nicht* zum Dedektieren von Leckagen bzw. *zur Konzentrationsbestimmung geeignet*. Wenn der Druckverlust auf ein Leck zurückzuführen wäre, sind bereits erheblich Mengen an Kältemittel freigesetzt.

In Tabelle 2 werden die wichtigsten sicherheitstechnischen Kenngrößen der oben genannten Kältemittel mit dem H-FCKW 22 verglichen.

Tabelle 2: Sicherheitstechnische Kenngrößen von Kohlenwasserstoffen und R22

ASHRAE-Bezeichnung		R22	R290	R600	R600a	R1270
Name		Monochlor- difluormethan	Propan	n-Butan	Iso-Butan	Propen
Strukturformel		CHClF ₂	CH ₃ -CH ₂ - CH ₃	CH ₃ -CH ₂ - CH ₂ -CH ₃	(CH ₃) ₃ - CH	CH ₃ - CH=CH ₂
Summenformel			C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀	C ₃ H ₆
Untere Explosions- grenze	Vol.-%		2,1...10	1,5....8,5	1,8...8,5	2,0...12
MAK-Wert	ml/m ³	500	1000	1000	1000	-
BAT			-	-	-	-
TRK			-	-	-	-
LC 50, inhal. Ratte	g/m3	1380	k.A.	659	659	k.A.
Mindestzündenergie (20°C, 101,3 kPa)	mJ		0,26			
Zündtemperatur	°C	635	470	365	460	ca. 455
Explosionsdruck im Behälter	bar		34-40(Rohr) 8,4			
Dichte 20°C	g/l		2,011		2,708	1,481
ASHRAE St. 34-1989		A1	A3	A3	A3	A3
UVV (VGB 20)	Gruppe	1	3	3	3	3
	e					
Gefahrenklasse [UL]		5a	5b	5a	5a	5b
GGVSee, GGVE/GGVS		KI 2 Ziff. 3a	KI 2 Ziff. 3b	KI 2 Ziff. 3b	KI 2 Ziff. 3b	KI 2 Ziff. 3b

2.4 Sicherheitstechnische Aspekte beim Einsatz brennbarer Kältemittel

Durch die Verwendung eines brennbaren Kältemittels entsteht eine Vielzahl möglicher Gefahren. Zur Minimierung der potentiellen Gefahren wurde eine Gefahrenanalyse durchgeführt.

2.4.1 Gefahrenanalyse / Sicherheitskonzept

Das prinzipielle Vorgehen bei einer Gefahrenanalyse umfaßt die

- Identifikation der Gefahr,
- Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit,
- Bewertung der Gefahrenquellen nach deren Tragweite.

Das eigentliche Risiko einer Gefahrenquelle ergibt sich aus der Eintrittswahrscheinlichkeit in Verbindung mit der Tragweite der Gefahrenquelle.

Die genannten Punkte bilden die Grundlage für ein Sicherheitskonzept, welches durch das **FKU** erstellt wurde. Dies beinhaltet die Beschreibung der Maßnahmen, die die Wahrscheinlichkeit des Eintretens gefahrbringender Ereignisse vermindern bzw. deren Tragweite minimieren.

Zur Erstellung des Sicherheitskonzeptes wurden die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt:

- Recherche und Auswertung von Vorschriften und Normen,
- Recherche bei Sicherheitsfachleuten und Institutionen,
- Recherche zur Sensorik,
- Sorptionsmöglichkeiten zur Aufnahme Leckagemengen,
- Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten von Sicherheitsumhausungen,
- Überprüfung des Einsatzes geeigneter Verbindungstechniken,
- Erstellung einer Bewertungsmatrix zur Konzeptdefinition,
- Ausarbeitung eines Sicherheitskonzeptes.

Das Sicherheitskonzept berücksichtigt alle Realisierungsphasen, die bei der Durchführung des Projektes zu untersuchen waren. Dies sind im einzelnen:

- Planung,
- Fertigung,
- Aufstellung,
- Inbetriebnahme und Betrieb,
- Wartung,
- Außerbetriebnahme,
- Transport.

Die Ergebnisse dieser Recherchen sind in dem Sicherheitskonzept ausführlich dargestellt und werden in den nächsten Abschnitten kurz zusammengefaßt.

Planung

Die Planung umfaßt alle Maßnahmen, die zur sicheren Erstellung sowie zum sicheren und störungsfreien Betrieb einer Kälteanlage notwendig sind. Daraus ist ersichtlich, daß diese Realisierungsphase hinsichtlich der Sicherheit allen anderen übergeordnet ist.

Die Planung umfaßt:

- die Auslegung und Konstruktion,
- die Bereitstellung von Arbeitsanweisungen und speziellen Sicherheitsvorschriften für den Anlagenbauer und Betreiber,
- Erstellung und / oder Bereitstellung von Prüfrichtlinien,
- Erstellung und / oder Bereitstellung von Schutzanweisungen und
- ggf. die Genehmigung der Anlage.

Es wird deutlich, daß der Schwerpunkt der Verantwortung beim Errichter der Anlage liegt, jedoch auch der Betreiber der Anlage über notwendige Informationen verfügen muß.

In der Planungsphase liegt die Hauptursache für die Entstehung von Gefahren in der mangelhaften Identifikation einzelner Gefahrenquellen und der damit verbundenen unzureichenden Festlegung entsprechender Sicherheitsmaßnahmen. Eine detaillierte Identifikation wird anhand der weiteren Realisierungsphasen vorgenommen. Damit liegt eine Checkliste vor, die dem Konstrukteur das Erkennen der Gefahrenquellen erleichtert.

Mögliche Gefahren bei der Auslegung und Konstruktion sind:

- Auswahl ungeeigneter Komponenten,
- Auswahl falscher Werkstoffe,
- Auswahl ungeeigneter Verbindungstechniken,
- Falsche Konstruktion,
- Strömungsnischen, die eine Ansammlung des Kältemittel im Falle einer Leckage ermöglichen.

Fertigung

Die Fertigung einer Anlage umfaßt die Bereitstellung, Lagerung und das Zusammenfügen aller Komponenten und Betriebsmittel sowie die Prüfung der Anlage. Dabei sind folgende Aspekte vorrangig zu beachten:

- Lagerung von Komponenten, die mit Kältemittel befüllt sind und deren Kennzeichnung,
- Montage; Prüfung der Dichtigkeit, der Funktionsfähigkeit und der Sicherheitseinrichtungen,
- Schutz gegen Zündquellen,
- Schulung und Information des Betreibers,
- Verwendung geeigneter Werkzeuge und Maschinen.

Aufstellung

Die Aufstellung der Anlage erfolgt im allgemeinen nicht beim Erbauer der Anlage. Spätestens mit Erreichen dieses Abschnitts sind betriebsfremde Personen möglichen Gefahren durch die Anlage ausgesetzt.

Die große Gefahr liegt hier in dem fehlenden oder ungenügenden Informationsfluß vom Hersteller an den Aufsteller. Unabhängig davon, wer die Entscheidung über die Aufstellung trifft, sind darüber hinaus insbesondere die folgende Gefahrenquellen zu berücksichtigen:

- Aufstellung an ungeeigneten Orten,
- unzureichender Schutz gegen Beschädigung,
- unzureichende Kennzeichnung.

Inbetriebnahme und Betrieb

Die Inbetriebnahme kennzeichnet den erstmaligen Einsatz der Kälteanlage am gewählten Aufstellungsort zum vorbestimmten Verwendungszweck. Der Betrieb umfaßt alle weiteren Einsätze der Kälteanlage bei zweckmäßiger Verwendung. Es sind u.a. die folgenden gefahrbringenden Störungen denkbar:

- nicht sachgemäße Inbetriebnahme z. B. durch unzureichende Prüfung oder unzureichend ausgebildetes Personal,
- Betrieb der Anlage außerhalb der zulässigen Betriebsbedingungen,
- Änderungen am Anlagenaufbau.

Wartung

Mit Wartung werden alle Arbeiten an der Kälteanlage bezeichnet, die nicht betriebsbedingt sind, z.B. der Überprüfung bzw. Erhaltung oder Wiederherstellung der Betriebssicherheit dienen.

Zusätzlich zu den unter 'Fertigung' genannten Punkten sind u.a. folgende Gefahrenquellen denkbar:

- Arbeiten mit Zündquellen ohne das gleichzeitige Ausschließen einer explosionsfähigen Atmosphäre, z. B. bei Löt- oder spanabhebenden Arbeiten,
- Erzeugen explosionsfähiger Atmosphäre durch Ablassen von Kältemittel,
- Mangelnde Hinweise auf Gefahren, z. B. für die Beschäftigten in der näheren Umgebung der Arbeiten,
- Unzureichende Sicherheitsmaßnahmen beim Entleeren und Befüllen des Kälteanlage,
- Undichtigkeit nach Wartungsarbeiten (wenn die Anlage geöffnet war).

Außerbetriebnahme

Für die Außerbetriebnahme gelten im wesentlichen die Ausführungen für die Wartung in Kombination mit den Gefahren bei der Lagerung von Komponenten oder Anlagen (-teilen), die mit Kältemittel befüllt sind.

Die Außerbetriebnahme beinhaltet jedoch auch die Entsorgung der Anlage oder der Komponenten. Die größte Gefahrenquelle liegt hier in der unzureichenden Information der Betroffenen (z. B. des

Entsorgungsunternehmens), daß in bestimmten Komponenten Kältemittel enthalten sein können. Es ist zu beachten, daß Restmengen des Kältemittels, z. B. im Öl des Verdichters gelöst, ggf. unzureichend aus der Anlage bzw. den Komponenten entfernt wurden.

Transport

Hier gelten die gleichen Ausführungen wie in den vorangegangenen Abschnitten. Zusätzlich ist zu beachten, daß auch unbeteiligte Personen betroffen sind, d.h. andere Verkehrsteilnehmer, die nicht mit dem Vorhandensein einer Gefahrenquelle rechnen.

Weitere Gefahrenquellen sind unzureichender Schutz gegen Beschädigung und klimatische Wärmeeinwirkung (Sonne), die zu dem Entweichen von Kältemittel führen können.

2.4.2 Sicherheitsmaßnahmen

Aus den oben genannten Gefahren werden Sicherheitsmaßnahmen abgeleitet, die zu einer Verringerung der Gefahren im Umgang mit brennbaren Kältemitteln und Kälteanlagen führen:

- Vermeidung eines explosionsfähigen Gemisches:
 - Vermeiden von Leckagen,
 - Vermeiden von unzulässigen Drücken,
 - Einsatz geeigneter Verbindungstechniken und Nutzung von zugelassenen, geprüften Behältern oder Anlagenkomponenten,
 - Lüftung des explosionsgefährdeten Bereiches,
 - Inertisierung des explosionsgefährdeten Bereiches.
 - Sorption des ausgetretenen Kältemittels
- Vermeidung von Zündquellen
- Definition eines Sicherheitsbereiches, Aufstellung von Hinweis- und Warnschildern
- Vermeidung, Reduzierung von Schaden durch Explosion durch geeignete Wahl des Aufstellungsortes und Errichten geeigneter Schutzmöglichkeiten
- Sicherheitsvorrichtungen zum kontrollierten Gefahrenabbau, z.B. abblasende Sicherheitsventile
- geringe Kältemittelfüllmenge,
- Warnung des Umfeldes, Kennzeichnung von Fluchtwegen.

2.5 Bestehendes Regelwerk

Die allgemeingültigen Anforderungen zur Minderung von Gefahren wurden in dem vorangegangenen Abschnitt erläutert. Werden diese Anforderungen an jedem Ort und zu jeder Zeit erfüllt, so geht von der Kälteanlage (bzw. dem Kältemittel) keine Gefahr aus.

Die praktische Umsetzung der Anforderungen erfordert im Einzelfall eine genaue Überprüfung der Zusammenhänge. Diese Prüfung verlangt umfangreiche Recherchen und Überlegungen, die zu ei-

nem hohen Kosten- und Zeitaufwand hinsichtlich der Definition einer ausreichenden Sicherheitstechnik führen.

In vielen Fällen ist es jedoch möglich, auf das bestehende Regelwerk zurückzugreifen. Unter Einhaltung der dort beschriebenen Maßnahmen ist eine ausreichende Sicherheit für den definierten Anwendungsfall gegeben. Das bestehende Regelwerk umfaßt alle dokumentierten Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Normen oder Regeln der Technik. Entsprechend der Hierarchie dieses Regelwerkes ist es erforderlich, die Regeln anzuwenden und verbindlich einzuhalten.

Eine detaillierte Liste über die mitgeltenden Vorschriften ist im Anhang 2 'Vorschriften, Normen und Richtlinien' beschrieben. Allgemeine Anforderungen, die auch mit den bisher eingesetzten FCKW-Kältemitteln zu erfüllen waren, werden nicht explizit genannt.

2.6 Bewertungskriterien für die Auslegung der Versuchsanlage

In diesem Abschnitt werden die umfangreichen Ausführungen zur Sicherheitstechnik umgesetzt. Auf dieser Basis werden Empfehlungen zur Umsetzung der Anforderungen unter Berücksichtigung der Randbedingungen der Kälteanlage ausgesprochen, die die Grundlage für die weitere Bearbeitung des Anlagenkonzeptes darstellen.

2.6.1 Ablaufplan

Das folgende prinzipielle Verfahren stellt den Ablaufplan zur Umsetzung gewonnenen Erkenntnisse zur Untersuchungen der Sicherheit dar:

1. Festlegung des Kältemittels,
2. Abschätzung der Füllmenge der Anlage und daraus
3. Festlegung des Aufstellungsortes der Anlage entsprechend den Anforderungen des Anwenders und der notwendigen Anforderungen an den Aufstellungsort.

2.6.2 Festlegung des Kältemittels

Wie bereits oben dargestellt wurde, sollen in der neu zu konzipierenden Kälteanlage Kohlenwasserstoffe als Arbeitsmittel verwendet werden.

Von den betrachteten Kohlenwasserstoffen wurde das Kältemittel Propan ausgewählt. Die Gründe hierfür sind:

- Die thermophysikalischen Eigenschaften der Kältemittel R22 und Propan sind sehr ähnlich,
- Propan ist in ausreichender Menge zu günstigen Preisen verfügbar,
- mit Propan wird im Bereich der gewerblichen Kälteanlagen ein Kältemittel eingesetzt, mit dem derzeit die meisten Erfahrungen vorliegen. Dies ist wesentlich bei der Auswahl und Beschaffung geeigneter Komponenten für ein Seriengerät.

2.6.3 Abschätzung der Kältemittelfüllmenge

Die Kältemittelfüllmenge der derzeit gefertigten Geräte beträgt ca. 8,5 kg R22. Aufgrund der geringeren Flüssigkeitsdichte von R290 würde die Füllmenge eines unveränderten Gerätes etwa 3 - 3,5 kg betragen. Die erheblichen Sicherheitsanforderungen, die an Anlagen mit einer Kältemittelfüllmenge von mehr als 5 kg gestellt werden, müssen somit nicht weiter betrachtet werden.

Ausgehend von der Kälteleistung der geplanten Milchkühlanlage und den bestehenden Aggregaten erscheint es nicht sinnvoll, Einheiten mit Füllmengen von weniger als 1 kg Kältemittel zu konzeptionieren, für die allerdings nur sicherheitstechnische Mindestanforderungen gelten.

Ein besonderer Grenzwert ist eine Füllmenge bis zu 2,5 kg, da für solche Anlagen mit hermetischen Verdichtern die Bildung eines explosionsgefährdeten Bereiches nicht erwartet wird und somit nicht ausgewiesen werden muß.

2.6.4 Festlegung des Aufstellungsortes

Für den Aufstellungsort der Kälteanlage können mit der oben genannten Füllmenge verschiedene Varianten gewählt werden, die sich in Art und Umfang des notwendigen Sicherheitsaufwandes unterscheiden. Grundsätzlich ist zu empfehlen, den Ort zu wählen, der hinsichtlich der Sicherheitstechnik den geringsten Aufwand erfordert.

2.6.5 Reduzierung der Kältemittelfüllmenge

Aus den vorangegangenen Überlegungen lassen sich zur Reduzierung der Füllmenge die folgenden baulichen Anforderungen ableiten:

- Verwendung von Plattenwärmeübertragern als Verdampfer und Verflüssiger,
- Kompakter Aufbau der gesamten Anlage,
- Verwendung von Sekundärflüssigkeiten (Kälte- bzw. Wärmeträger):
 - zum Wärmetransport von der Milch zum Kältemittelverdampfer bzw.
 - zum Wärmetransport vom Verflüssiger zum Wärmerückgewinnungssystem.

Durch das Befolgen dieser Anforderungsliste kann die Kältemittelfüllmenge reduziert werden. Die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen potentiellen Gefahren und die einzuhaltenden Sicherheitsvorschriften können somit auf ein Minimum beschränkt werden.

3 Aufgabenstellung

3.1 Anforderungen an eine Milchkühlanlage

Die Kälteanlage wird für die Kühlung des Lebensmittels Milch eingesetzt. Durch das Verfahren der Durchflußkühlung ergeben sich keine unerwünschten Mischtemperaturen im Milchlagertank. Irreversible Proteinschäden können somit vermieden werden. Die so gekühlte Milch ist sofort zum Abtransport bereit.

Das geschlossene Leitungs- und Lagersystem muß höchsten Hygieneanforderungen genügen.

Durch die Verwendung eines für Lebensmittel zugelassenen Kälte- und Wärmeträgers zum Transport der Leistungen wird bei einem Schaden der direkte Kontakt der Milch mit dem Kältemittel vermieden.

Die anfallende Wärme kann zur Erwärmung von Brauchwasser für den Warmwasserbedarf in Betrieben der Milchviehhaltung verwendet werden.

3.2 Anforderungen an Aufbau und Gestaltung der Kälteanlage

Die Kälteanlage ist als Kompaktkälteanlage ausgeführt. Sie ist vollständig auf einer Grundplatte montiert und anschlussfertig vorbereitet. Die Kompaktkälteanlage kann Bestandteil einer Milchkühlanlage mit mehreren Kälteanlagen sein. Durch diese Art des Aufbaus der Milchkühlanlage ist eine Anpassung der Gesamtkühlleistung an den jeweiligen Bedarf möglich.

Der Aufbau der Anlage beim Anwender beschränkt sich auf den Anschluß der Leitungen der Kälte- und Wärmeträger sowie der elektrischen Versorgung der einzelnen Module. Aufbau und Inbetriebnahme sind in der durch das *FKU* erstellten Betriebsanleitung ausführlich dokumentiert.

Die technisch-ökonomischen Vorteile, die bei der gewählten Konstruktion berücksichtigt wurden, sind:

- möglichst geringer Investitionsaufwand,
- Wärme-Kältekopplung,
- hohe Betriebszuverlässigkeit,
- hohe Sicherheit,
- minimaler Montageaufwand,
- kompakte Bauweise,
- robuste Konstruktion,
- geringer Platzbedarf,
- hohe Laufruhe.

Die Berücksichtigung dieser Punkte bei der Entwicklung ermöglicht eine Konstruktion, die bei einer späteren Serienproduktion einen breiten Absatzmarkt sichert.

Unter Berücksichtigung der vorangegangenen Betrachtungen erfolgte die Auslegung und die Zusammenstellung der Kälteanlagenkomponenten entsprechend eines Ablaufplanes:

- Definition der Anlagenanforderungen,
- Auswahl des Kältemittels,
- Recherche fehlender Stoffdaten,
- Erstellen von Auslegungsunterlagen,
- Durchführung von Kreislaufsimulationen mit R290,
- Vorauswahl eines Kältemaschinenöles,
- Abschätzung des Wärmeübertragungsverhaltens,
- Auslegung bzw. Modifikation von Anlagenkomponenten,
- Adaption kreislaurelevanter Sicherheitstechnik,
- Erstellung des Anlagenkonzeptes.

3.3 Vorgaben und Randbedingungen aus den Untersuchungen zur Sicherheit

Aus der Darstellung und Auswertung der sicherheitsrelevanten Richtlinien und Normen ergeben sich für den Betrieb einer Kälteanlage zur Kühlung von Milch mit Kohlenwasserstoffen Bedingungen für:

1. Füllmenge,
2. Aufstellungsort und Zutrittsberechtigung.

3.3.1 Füllmenge

Anzustreben ist grundsätzlich eine Kältemittelfüllmenge unter 2,5 kg.

3.3.2 Aufstellungsort

Je nach Anforderungen des Anwenders werden die folgenden beiden Fälle unterschieden:

1. Aufstellung im Freien,
2. Aufstellung in einem Gebäude.

Aufstellung im Freien

Die Aufstellung der Kälteanlage einschließlich aller Komponenten außerhalb eines Gebäudes erfordert den geringsten Aufwand an Sicherheitseinrichtungen und sollte daher bevorzugt werden. In diesem Fall ist der Sicherheitsbereich nach DIN 7003 zu beachten, nach der in einem Abstand von 1 m um die kältemittelführenden Bauteile für elektrische Komponenten Maßnahmen nach EX-RL (Zone 2) zu treffen sind. Empfehlenswert ist darüber hinaus ein ausreichender Schutz gegen mechanische Beschädigungen.

Unter der Randbedingung, daß sich der Lagertank für die Milch wie auch der Pufferbehälter und der Plattenwärmeübertrager im Gebäude befinden sollen, muß bei Außenaufstellung der Kälteanlage - wie bisher - ein Sekundärkreislauf mit einem Kälte Träger zur Kühlung der Milch vorgesehen werden. Hinsichtlich der Wärmerückgewinnung sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- eine direkte Enthitzung des Kältemittels im Warmwasserbehälter,
- eine indirekte Enthitzung des Kältemittels durch einen sekundären Wärmeträgerkreislauf.

Bei *direkter Enthitzung* im Warmwasserbehälter ist aus Sicherheitsgründen ein doppelwandiger Wärmeübertrager einzubauen. Der Warmwasserbehälter ist dann in den Sicherheitsbereich der Anlage einzubeziehen. Bei einer *indirekten Enthitzung* mittels eines Sekundärkreislaufes ist die Doppelwandigkeit gegen Eindringen von Propan und Öl in das Brauchwasser durch zwei Wärmeübertrager gegeben.

Zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit der Entstehung eines zündfähigen Gemisches innerhalb des Gehäuses sollten Seitenwände und Grundfläche eine ausreichende Belüftung im Bereich der Anlagenkomponenten sicherstellen. Zusätzlich sollte ein Abströmen der Kohlenwasserstoffe aus dem Anlagenbereich durch eine Installation der Anlage oberhalb des Umgebungsniveaus (Erdgleiche) gefördert werden. Im Betrieb der Anlage mit einem luftgekühlten Verflüssiger wird zudem durch den Verflüssigerlüfter ein zusätzlicher erzwungener Luftwechsel stattfinden.

Tiefer liegende Räume, z.B. Gruben müssen besonders beachtet werden, da sich darin ausströmendes Kältemittel aufgrund seiner hohen Dichte in gefahrdrohender Menge sammeln könnte. Eine solche Art der Aufstellung muß vermieden werden.

Aufstellung in einem Gebäude

Bei Aufstellung der Kälteanlage mit einem Füllgewicht bis 10,0 kg in einem Gebäude ist entsprechend UVV (VGB 20) und DIN prEN 378 kein besonderer Maschinenraum notwendig, wenn der Raum im Obergeschoß respektive oberhalb Erdgleiche liegt. Für Anlagen bis 10,0 kg Kältemittel werden nach UVV (VGB 20) und prEN 378 keine Anforderungen hinsichtlich Zutrittsberechtigung genannt. Der Entwurf der DIN 7003 und die UVV (VGB 20) verlangen die Sicherstellung einer ausreichenden Belüftung. Da hinsichtlich der Raumgröße keine allgemeinen Angaben verfügbar sind, werden zwei Konzeptionen vorgeschlagen:

Bei der natürlichen Lüftung errechnet sich für eine Füllmenge von 5 kg aus $A \geq 0,14 G^{1/2} [m^2]$ (G = Kältemittelfüllmenge in kg) ein Öffnungsquerschnitt von $A = 0,32 m^2$. Die Öffnungen sollten derart angeordnet sein, daß im Bereich der Kälteanlage ein ausreichender Luftwechsel gewährleistet ist. Die Kälteanlage sollte leicht erhöht installiert werden (Füße, Podest), um so die Entfernung eventuell ausgetretenen Kältemittels aus dem Bereich der Anlage zu garantieren.

Die natürliche Lüftung ist nur in Räumen, die überwiegend zur Unterbringung der Kälteanlage dienen, empfehlenswert, da durch anderweitige Nutzungen das Vorhandensein einer Zündquelle nicht ausgeschlossen werden kann.

Befindet sich die Kälteanlage dagegen in einem größeren Raum mit weiteren Nutzungen, sollte sie in einem entlüfteten Maschinengehäuse angebracht werden. Durch einen Ventilator muß aus diesem Maschinengehäuse ein Luftstrom entsprechend einem 15-fachen Luftwechsel je Stunde sichergestellt

sein. Dieser Ventilator muß entweder permanent laufen oder durch einen baumustergeprüften Gassensor bei Erreichen von 25 % der unteren Zündgrenze eingeschaltet werden.

Im Fall von luftgekühlten Anlagen kann der Ventilator des Verflüssigers genutzt werden, um eine ausreichende Luftzufuhr sicherzustellen. Bei einer Wärmerückgewinnung ohne Sekundärkreislauf sind die gesamten kältemittelführenden Anlagenbereiche (Warmwasserbehälter) in dieses Gehäuse zu integrieren. Die Lüfter sollten, auch wenn sie mehr als 1 m von kältemittelführenden Bauteilen entfernt sind, die Bedingungen der EX-RL (Zone 2) erfüllen. Die Beschränkungen des Sicherheitsbereiches nach DIN 7003 gelten für beide Aufstellungsvarianten innerhalb von Gebäuden.

3.4 Vorgaben und Randbedingungen aus der Anwendung

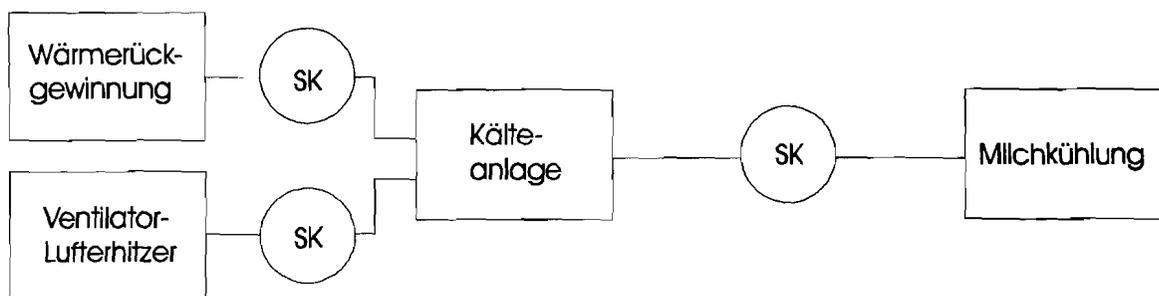
Abgeleitet aus dem bisherigen Anlagenkonzept, wie es in den R22-Anlagen verwirklicht ist, werden folgende Gegebenheiten für das Konzept der R290-Anlage übernommen:

1. Das Verfahren zur Durchflußkühlung der Milch wird unverändert übernommen. Dies betrifft auch die mit der Milch in Berührung kommenden Anlagenteile wie Rohrleitungen, Pufferbehälter, Dosierpumpe, Plattenwärmeübertrager und Lagertank.
2. Die angestrebte Kälteleistung jeder einzelnen R290-Anlage liegt bei 500 Liter Milch / Stunde, gegenüber einer Milchleistung der bestehenden R22-Anlagen von lediglich 400 Liter Milch / Stunde. Die Milch wird von 34°C auf 4°C abgekühlt.
Die Einhaltung dieser Randbedingungen gewährleistet darüber hinaus, daß der Sekundärkreislauf zur Kühlung der Milch inkl. des Plattenwärmeübertragers unverändert bzw. mit gleicher Leistung beibehalten werden kann.
3. Der Warmwasserbedarf soll je gemolkenem Liter Milch 0.5 Liter Warmwasser mit einer Temperatur von etwa 50°C betragen. Die Speicherung des Warmwassers erfolgt in einem speziellen Behälter zur Wärmerückgewinnung.

Die Kälteanlage ist hinsichtlich einer effektiven Kühlung zu optimieren. Die Warmwasserbereitung ergibt sich als zusätzlicher Nutzen. Durch die Verwendung von Propan als Kältemittel ist aufgrund seines günstigen thermodynamischen Verhaltens mit einer ausreichenden Enthitzungsleistung auch bei Verwendung eines Sekundärkreislaufes zu rechnen.

4 Milchkühlung mit Propan / Anlagenkonzept

Ausgehend von den o.g. Anforderungen wird ein Anlagenkonzept mit drei Sekundärkreisläufen verwirklicht. Durch diese Art des Aufbaus wird das Volumen der Bauteile, die von dem Kältemittel R290 durchströmt werden, möglichst gering. Die anzuwendenden Sicherheitsvorschriften beschränken sich damit auf die Kompaktkälteanlage. Ein vereinfachtes Schema des Anlagenkonzeptes ist in Abbildung 2 gezeigt.



SK: Sekundärkreislauf

Abbildung 2: Vereinfachtes Fließschema der R290-Anlage

Zur Milchkühlung wird ein (lebensmittelechter, zugelassener) Kälte-träger verwendet. Der bisherige Sekundärkreislauf inkl. Zwischenbehälter und Plattenwärmeübertrager für die Milchkühlung kann dazu unverändert übernommen werden.

Für die Abfuhr der Enthitzungswärme bzw. Kondensationswärme des Kältemittels der Kälteanlage zum Warmwasserbehälter (Wärmerückgewinnung) und Ventilatorluftkühler werden ebenfalls Sekundärkreisläufe verwendet. Als Wärmeträger wird eine Flüssigkeit eingesetzt, die bei der Wärmeaufnahme bzw. -abgabe keinen Phasenwechsel vollzieht. Als Wärmeübertrager werden - aufgrund der geringen Baumaße bzw. inneren Volumina - wie für den Verdampfer gelötete Plattenwärmeübertrager vorgesehen.

Für alle Sekundärkreisläufe ist Sorge zu tragen, daß Kälte- bzw. Wärmeträger nicht einfrieren können. Entsprechend den Umgebungsbedingungen und den Betriebszuständen des Kälte-trägers ist eine entsprechende Zusammensetzung der Sekundärfluide zu wählen. Von einer Begleitheizung für das Rohrsystem ist aus energetischen Gründen abzusehen.

4.1 Auslegung der Systeme, Komponentenauswahl

Das Ziel dieser Auslegung ist die Bestimmung der notwendigen Temperaturen und Leistungen zur Auswahl der Anlagenkomponenten

4.1.1 Milchkreislauf

Bei der Auslegung wird von einer optimalen Auslegung der Kälteanlage bezüglich der Kälteleistung ausgegangen.

Vorgaben:

Milchlagertemperatur:	$T_{M,L} \leq 6^{\circ}\text{C}$
Milchvorlauftemperatur:	$T_{M1} = \text{ca. } 34^{\circ}\text{C}$
Milchrücklauftemperatur:	$T_{M2} = 4^{\circ}\text{C},$
Massenstrom der Milch:	$\dot{m}_M = 500 \text{ l/h}$
spez. Wärmekapazität der Milch	$c_{pM} = 3,93 \text{ kJ/kg K}$

Daraus ergibt sich die notwendige Kühlleistung zur Abkühlung der Milch von

$$\dot{Q}_M = \dot{m}_M \cdot c_{p,M} \cdot (T_{M1} - T_{M2}) = 16,4 \text{ kW}.$$

Aus der erforderlichen Leistung zur Abkühlung der Milch und den unten getroffenen Annahmen ergibt sich eine im Milchkühler zu übertragende Leistung von $\dot{Q}_M = 16,4 \text{ kW}$. Für die Verluste, die durch eindringende Wärme in den kalten Pufferbehälter und die Rohrleitungen verursacht werden, wird ein Betrag von $\dot{Q}_{\text{Verluste,Milch}} = 0,2 \text{ kW}$ angenommen. Die durch die Pumpe in die Kühlsole eingebrachte Energie beträgt maximal $P_{\text{Pumpe}} = 0,1 \text{ kW}$. Somit ergibt sich eine durch den Verdampfer zu erzeugende Kälteleistung von $\dot{Q}_0 = 16,7 \text{ kW}$.

4.1.2 Sekundärkreislauf Tieftemperatur

Für den Milchkühler werden folgende Temperaturvorgaben angenommen:

T_{M1}	$= 34^{\circ}\text{C},$
T_{M2}	$= 4^{\circ}\text{C},$
T_{SK1}	$= 2^{\circ}\text{C},$
T_{SK2}	$= 12^{\circ}\text{C}.$

4.1.3 Sekundärkreislauf Wärmerückgewinnung

Die Wärmerückgewinnung erfolgt durch einen Enthitzer (Plattenwärmeübertrager), in dem das Kältemittel enthitzt und teilweise kondensiert wird. Für den *Warmwasserspeicher* sind folgende Ein- und Austrittstemperaturen anzunehmen:

Kaltwasserzulauftemperatur:	$T_{W1} = 10^{\circ}\text{C}$
Brauchwassertemperatur:	$T_{W2} = 50^{\circ}\text{C}$

4.1.4 Sekundärkreislauf Verflüssiger

Die Kondensation erfolgt in einem mit dem Enthitzer in Reihe geschalteten Verflüssiger. Der Verflüssiger muß in der Lage sein, die gesamte Kondensationleistung abzuführen, sofern keine Wärmerückgewinnung betrieben wird. Für die Auslegung des Verflüssigers gilt die Randbedingung:

Umgebungstemperatur: $T_{U,max} = 30^{\circ}\text{C}$,

daraus folgt für die maximal mögliche Kondensationstemperatur aufgrund der erforderlichen Grädigkeit der Wärmeübertrager:

$$T_{c,max} = 45^{\circ}\text{C}.$$

4.1.5 Verdampfer

Für die Auslegung des *Verdampfers* werden folgende Bedingungen festgelegt:

Verdampfungstemperatur: $T_0 = -3^{\circ}\text{C}$

Sekundärfluid-Vorlauftemperatur: $T_{SM1} = 12^{\circ}\text{C}$

Sekundärfluid-Rücklauftemperatur: $T_{SM2} = 2^{\circ}\text{C}$

4.1.6 Kältemittelkreislauf

Für die Auslegung der Kälteanlage sind neben den oben genannten Leistungen und Temperaturen zusätzlich die folgenden Randbedingungen zu beachten:

Für die Verdichtungsendtemperatur T_{V2} muß gelten, daß die Verdichtungsendtemperatur

$$T_{V2} < 110^{\circ}\text{C}$$

nicht überschreitet, um ein Sieden des Sekundärfluids des Verflüssigers zu vermeiden.

4.2 Optimierung der Auslegung durch Simulationsrechnungen

Die Auslegung der gesamten Kälteanlage wurde durch einen Vergleich unterschiedlicher Anlagenschaltungen mit Simulationsrechnungen vorgenommen.

Ziel der Optimierung ist eine Abstimmung der einzelnen Anlagenkomponenten zueinander unter Berücksichtigung verschiedener Anlagenschaltungen. Die Parameter, die bei der Optimierung der Kälteanlage variiert wurden, sind:

1. Temperaturen:

- a) Verflüssigungstemperatur T_c ,
- b) Sauggastemperatur T_{v1} ,
- c) Verdichtungsendtemperatur T_{v2} ,
- d) Unterkühlungstemperatur T_u ,

und daraus abgeleitet:

2. Anlagenschaltung :

- a) mit innerem Wärmetauscher und
- b) ohne inneren Wärmetauscher

Die Ergebnisse, die sich aus den Simulationsrechnungen ableiten lassen, lauten:

- Vorteile durch inneren Wärmetauscher mit R290:
 - hohe Überhitzung, damit hohe Verdichtungsendtemperatur: günstig für Wärmerückgewinnung
- höhere Kondensationswärme: mit R290 günstiger für Wärmerückgewinnung
 - $T_c = 45^\circ\text{C}$ günstiger als $T_c = 40^\circ\text{C}$

4.3 Auswahl der Anlagenkomponenten

4.3.1 Verdichterauswahl

Für den Verdichter ist ein Scroll-Verdichter der Fa. Copeland ausgewählt worden, für den der Liefergrad und Wirkungsgrad für R22 als Funktion von Kondensationstemperatur T_c , Verdampfungstemperatur T_0 und Sauggastemperatur T_{v1} bekannt sind. Eine Umrechnung des Verhaltens für die Anwendung mit Propan als Kältemittel erfolgte durch eine Simulationsrechnung unter Berücksichtigung der unterschiedlichen thermodynamischen Eigenschaften von R22 und R290.

Vorgaben:

Erforderliche Kälteleistung: $\dot{Q}_0 = 16,7 \text{ kW}$

Rechenweg:

1. Bestimmung von Liefergrad und Wirkungsgrad der Verdichter nach Katalogangaben für R22,
2. Umrechnung auf R290.

4.3.2 Auslegung der Wärmeübertrager

Die Auslegung der Plattenwärmeübertrager erfolgte mit Unterstützung der Fa. Swep [8] und deren firmeneigener spezieller Auslegungssoftware für Wärmeübertrager.

Verdampfer

Vorgaben:

s.o.

Rechenweg: Auslegungs-Programm der Firma SWEP [8],

Die Berechnung der Wärmeübertrager erfolgte durch eine iterative Anpassung der Temperaturen des Sekundärkreislaufes, der Ein- und Austrittstemperaturen des Kältemittels und der Verdampfungstemperatur. Zusätzlich wird die Wärmeübertragerfläche variiert. Auf diese Weise wird ein für den Anwendungsfall optimal ausgelegter Plattenwärmeübertrager bestimmt. Für eine kostengünstige Konzeption ist zusätzlich darauf zu achten, daß die Anzahl der Platten des Plattenwärmeübertragers handelsüblich ist. So kann auf kostenintensive Einzelanfertigung verzichtet werden.

Enthitzer

Vorgaben:

Wasservorlauftemperatur: $T_{W1} = 10 \text{ °C}$

Brauchwassertemperatur: $T_{W2} = 50 \text{ °C}$

Die gewünschte Warmwassermenge beträgt 250 l/h, entsprechend 0,5l Warmwasser pro Liter Milch. Damit ergibt sich eine angestrebte Wärmeleistung von 11,6 kW.

Rechenweg:

Auslegungs-Programm der Firma SWEP [8]; Vorgehensweise s. Verdampferauslegung;

Für die indirekte Wärmeübertragung mittels eines Sekundärfluides sind für die Sekundärfluidtemperaturen folgende Temperaturen angenommen:

$$\begin{aligned} \text{Behälterseite:} \quad T_{SR1} &= 30 \text{ °C} \\ T_{SR2} &= 60 \text{ °C} \end{aligned}$$

Die Verluste bei der Förderung des Sekundärfluides werden aufgrund guter Isolationsmöglichkeiten vernachlässigt, so daß am Enthitzer die gleichen Temperaturen angenommen werden.

Zur Auslegung des im Gegenstrom durchflossenen Enthitzers wird ebenfalls iterativ vorgegangen. Der Energieinhalt des überhitzten Kältemittels ist bei Propan wesentlich größer als bei R22. Die alleinige Enthitzung reicht jedoch für die erforderliche Erwärmung des Brauchwassers nicht aus. Folglich muß in dem Enthitzer eine Teilkondensation des Kältemittels stattfinden. Die Teilkondensation, die bei 45°C stattfindet, wird zur Erwärmung des Sekundärfluides von 30°C auf 45°C genutzt. Durch die Überhitzung werden die hohen Temperaturen des Sekundärfluides erreicht. Die Auslegung des Enthitzers erfolgt so, daß durch die Anpassung der Soletemperaturen, des Solemassenstroms und der Wärmeübertragerfläche diese erforderliche Teilkondensation erreicht wird.

Verflüssigerauslegung

Vorgaben:

Die maximale Kondensationswärme \dot{Q}_c setzt sich aus der Summe der Verdampferleistung \dot{Q}_0 und der Verdichterleistung P_v zusammen:

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_0 + P_v = 23,2 \text{ kW}$$

Rechenweg:

Auslegungs-Programm der Firma SWEP [8]; Die Vorgehensweise entspricht der Verdampferauslegung.

Ventilator-Luftkühler

Die Auslegung des Ventilator-Luftkühlers erfolgte entsprechend den durch das **FKU** ermittelten Anforderungen bei der Fa. Roller. Eine Zusammenschaltung mehrerer Verflüssiger auf einen Ventilator-Luftkühler ist aufgrund der sich damit reduzierenden Anlagenkosten zu empfehlen.

Innerer Wärmeübertrager

Vorgaben:

Bei der Durchführung der Simulationsrechnungen ergab sich für den inneren Wärmeübertrager eine Leistung von ca. 3kW als besonders vorteilhaft.

Rechenweg:

Zur Reduzierung des Kälteanlagen volumens wird als innerer Wärmeübertrager ein Plattenwärmeübertrager verwendet. Berechnung des inneren Wärmeübertragers erfolgt durch eine iterative Anpassung der zu übertragenden Leistung, der Anzahl der Platten und des Kältemittelmassenstromes. Auf diese Weise wird ein für den Anwendungsfall optimal ausgelegter Plattenwärmeübertrager bestimmt. Bei einer kostengünstigen Konzeption ist zusätzlich darauf zu achten, daß es sich um eine handelsübliche Anzahl der Platten des Plattenwärmeübertragers handelt.

4.3.3 Pumpenauslegung

Die Auslegung der Solepumpen erfolgt durch die Berechnung der auftretenden Druckverluste und der erforderlichen Sekundärfluid-Volumenströme. Die Berücksichtigung der temperatur- und konzentrationsabhängigen Stoffdaten der zu fördernden Sekundärflüssigkeit ist bei der Auswahl der Pumpengröße von entscheidender Bedeutung.

4.4 Regelung und Überwachung der Anlage

Im folgenden Abschnitt werden die Grundlagen zur Auswahl der verwendeten Bauteile zur Regelung und Überwachung der Milchkühlanlage beschrieben.

4.4.1 Regelung

Verdichterregelung:

- Leistungsregelung: Aufteilung der Leistung auf mehrere Verdichter einer Milchkühlanlage,
- Überlastungsschutz durch Motorschutzschalter.

Verdampferregelung:

- Die Überhitzung des Kältemittels wird durch das thermostatische Expansionsventilventil eingestellt,
- Sekundärkreislauf: Einfrierschutz durch einen Verdampfungsdruckregler und eine Volumenstrom-Anpassung durch Leistungsregelung der Pumpe.

Verflüssigungsregelung:

- Der Verflüssigungsdruck wird durch einen Verflüssigungsdruckregler konstant gehalten.

Milchkreislauf:

- die Temperatur der Milch wird durch eine Anpassung des Massenstromes der Milch infolge Drehzahlregelung der Milchpumpe geregelt,
- ein Einfrierschutz bzw. eine Schädigung der Milch durch Unterkühlung wird durch die Überwachung der Verdampfungstemperatur verhindert.

Wärmerückgewinnung:

- Die Einstellung der ausgelegten Temperaturen erfolgt durch eine Anpassung des Massenstromes des Sekundärfluides.

Solekühler:

- In den Sekundärkreislauf zum Ventilator-Lufterhitzer ist ein thermostatisches Regelventil eingebaut. Dieses Ventil teilt den Volumenstrom zwischen dem Ventilator-Lufterhitzer und einem Bypass auf. In dem Ventilator-Lufterhitzer wird das Sekundärfluid des Verflüssigers abgekühlt. Die Steuergröße ist die einstellbare Rücklaufemperatur und damit die Eintrittstemperatur des Sekundärfluides in den Verflüssiger. Auf diese Weise wird die Regelung der Unterkühlung des Kältemittels im Verflüssiger vorgenommen. Diese Regelung ist aufgrund unterschiedlicher Umgebungsbedingungen erforderlich.

4.4.2 Überwachung

Sicherheitseinrichtung gegen Drucküberschreitung

Der Einsatz der unten genannten Sicherheitseinrichtungen ist Pflicht für Propan-Anlagen. Die geltenden Vorschriften, die zur Auslegung der Sicherheitseinrichtungen herangezogen werden können, lauten für Kälteanlagen mit Verdrängerverdichtern:

- Nach VGB 20: 2 Sicherheitsdruckbegrenzer für Propananlagen mit einer Kältemittelfüllung unter 2,5kg,
- Nach DIN 7003: 1 Sicherheitsdruckwächter für Propananlagen mit einer Kältemittelfüllung unter 2,5kg.

Sicherheitsdruckbegrenzer (DBK) sind druckgesteuerte elektrische Schalter für Zweipunktregelung ohne selbstätiges Wiedereinschalten.

Sicherheitsdruckwächter (DWK) sind druckgesteuerte elektrische Schalter für Zweipunktregelung mit selbstätigem Wiedereinschalten.

Ein Entwurf zur Neufassung der UVV (VGB 20) sieht eine Angleichung an die E DIN 7003 vor.

Aus Sicherheitsgründen werden für den Betrieb der Versuchsanlage die Vorschriften nach VGB 20 angewendet.

Unterdruckschalter

Ein Unterdruckschalter sorgt für ein Abschalten des Verdichters bei zu niedrigem Druck im Verdampfer (Verdampfungstemperatur zu gering). Ein zu geringer Druck im Verdampfer kann zu einem Ein-

frieren des Kälte­trägers führen und somit den Verdampfer beschädigen. Es wird zwischen Unterdruckschal­tern mit selbst­tätigem Wiederein­schalten und Schal­tern unterschieden, die manuell wieder in Betrieb gesetzt werden müssen. Aus Sicherheitsgründen wird für den Betrieb der Versuchsanlage ein manuell zurück­zusetzender Unterdruckschal­ter vorgezogen.

Druck­meß- und Anzei­gevor­rich­tung

Nach VBG20 ist eine Druck­meß- und Anzei­gevor­rich­tung erfor­derlich für Kälteanlagen mit Propan. Ausreichend ist nach DIN 7003 aller­dings auch eine Anschluß­stelle zur Druckmessung für Anlagen mit einer Kältemittelfüllung unter 2,5kg. Ein Nachtrag zur UVV (VGB 20) sieht eine Angleichung an die E DIN 7003 vor.

Die Anzeige muß für Propan geeignet sein. Der zulässige Betriebsüberdruck muß erkennbar sein. Die Anzeige muß nachgeprüft werden können. Bei der Versuchsanlage werden der Verflüssigungsdruck und der Verdampfungsdruck durch Manometer angezeigt.

Überwachung der Versuchsanlage auf Leckagen

Zur Überprüfung der Dichtheit der Versuchsanlage kann ein Gassensor eingebaut werden, der als Bestandteil der Sicherheitskette für ein Abschalten der Versuchsanlage sorgt. Bei Ansprechen des Gassensors kann ein Abluftgebläse eingeschaltet werden, das die Entstehung eines zündfähigen Gemisches aus Luft und Propan verhindert. Bei der Versuchsanlage wird ein dauerhaft laufender Lüfter verwendet, der das Maschinengehäuse belüftet. Der Lufteintritt ist auf der Verdichterseite oben in der Seitenwand. Die Absaugung erfolgt auf der gegenüberliegenden Seite neben den Wärmeübertragern unten. Der Luftvolumenstrom wird durch eine Rohrleitung in die äußere Umgebung geleitet. Es ist darauf zu achten, daß sich in diesem Bereich keine Zündquellen befinden. Die Ventilatorleistung ist so groß gewählt, daß ein 15-facher Luftwechsel innerhalb des Maschinengehäuses sichergestellt wird.

Überströmventil

Beim Betrieb der Versuchsanlage kann durch eine Störung ein zu hoher Druck auf der Hochdruckseite entstehen. Für den Fall, daß die beiden Hochdruckschalter den Verdichter nicht abschalten, kann ein gegen­druckunabhängig öffnendes, bauteilgeprüftes Überströmventil vorgesehen werden, das von der Hochdruckseite zur Niederdruckseite abbläst. Bei einer Kältemittelfüllmenge von weniger als 2,5 kg kann auf eine solche Überströmeinrichtung verzichtet werden.

5 Technische Beschreibung der Versuchsanlage

5.1 Aufbau und Funktion der Versuchsanlage

5.1.1 Aufbau

Die Kälteanlage, die als Draufsicht schematisch in Abbildung 3 dargestellt ist, wurde als vorgefertigte Kompaktkälteanlage ausgeführt, die ähnlich einer Europalette an ihren Anwendungsort bewegt werden kann. Es handelt sich um die Grundplatte mit der Kälteanlage und den Sekundärkreisläufen, auf der das abnehmbare, zu belüftende Maschinengehäuse montiert ist. Die Kompaktkälteanlage besteht aus den beiden Baugruppen Kältemittelkreislauf (Baugruppe1) und Sekundärkreisläufe (Baugruppe2).

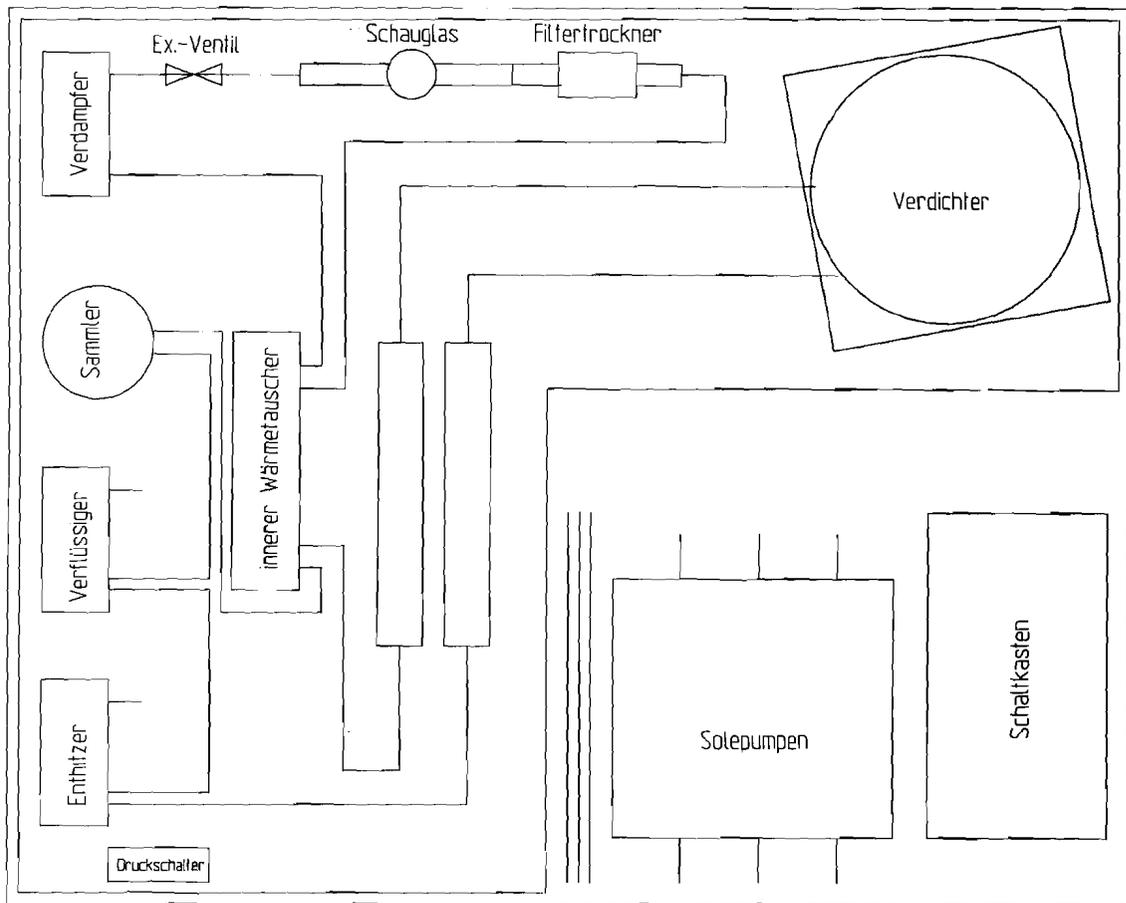


Abbildung 3: Schematischer Aufbau der Kälteanlage

Zum Kältemittelkreislauf gehören folgende Hauptkomponenten (in Förderrichtung des Kältemittels):

- Scroll-Verdichter,
- Enthitzer/Teilkondensator (gelöteter Plattenwärmeübertrager),
- Verflüssiger (gelöteter Plattenwärmeübertrager),
- Sammler,
- Überhitzer/Unterkühler (gelöteter Plattenwärmeübertrager),
- Filtertrockner, Schauglas,
- thermostatisches Expansionsventil,
- Verdampfer (gelöteter Plattenwärmeübertrager),
- Rohrleitungen und Schwingungsdämpfer.

Mit den Sekundärkreisläufen (Baugruppe 2) werden die Kälte- und Wärmeströme aus den gelöteten Plattenwärmeübertragern der Kälteanlage (Baugruppe 1) zu den entsprechenden Peripheriegeräten (Milchkühler, Wärmerückgewinnung und Ventilatorluftkühler) transportiert. Die Sekundärkreisläufe bestehen im wesentlichen aus:

- Förderpumpen,
- Rohrleitungen zu den Plattenwärmeübertragern Enthitzer, Verdampfer und Verflüssiger,
- Ventilator-Luftkühler.

Der Ventilator-Luftkühler, der zur Kühlung des aufgenommenen Verflüssigerwärmestromes eingesetzt wird, ist in der Lage, die gesamte Verflüssigungswärme abzuführen. Er ist Bestandteil der Anlage.

Zur elektrischen Steuerung der Kompaktkälteanlage ist auf der Grundplatte ein Schaltkasten angebracht, der die elektrischen Komponenten mit Energie versorgt. In diesem Schaltkasten ist die Steuerung der erforderlichen Sicherheitskette integriert. Die Bausteine der Sicherheitskette sind im einzelnen:

- 2 bauteilgeprüfte Sicherheitsdruckbegrenzer, beide nur unter Zuhilfenahme von Werkzeug rückstellbar,
- Motorschutzschalter,
- Gassensor zur Detektion von Propan (vorbereitet).

Die bauteilgeprüften Sicherheitsdruckbegrenzer sind oberhalb der Gehäuseentlüftung angebracht und sorgen für ein Ausschalten der gesamten Kompaktkälteanlage bei zu hohem Verflüssigungsdruck ($p_c > 20 \text{ bar}$, $t_c = 56,8 \text{ °C}$) bzw. zu niedrigem Verdampfungsdruck ($p_{02} < 2,5 \text{ bar}$, $t_{02} = -18,6 \text{ °C}$).

Der Motorschutzschalter wird durch 5 Thermistoren innerhalb des Motors gesteuert und dient zum Schutz des Verdichters gegen Überhitzung. Bei einem Ansprechen des Motorschutzschalters wird lediglich der Verdichter abgeschaltet, die Förderpumpen werden weiterhin mit Spannung versorgt. Ein automatischer Neustart ist in diesem Fall erst nach ca. 30 Minuten möglich.

Zur Überprüfung der Dichtheit der Versuchsanlage kann ein Gassensor eingebaut werden, der als Bestandteil der Sicherheitskette für ein Abschalten der Versuchsanlage sorgt. Gleichzeitig wird ein

Abluftgebläse eingeschaltet, daß die Entstehung eines zündfähigen Gemisches aus Luft und Propan verhindert. Die Sicherheitskette ist für den Einbau eines solchen Gassensors vorbereitet. Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen Fotos der aufgebauten Versuchsanlage mit den nachgebildeten Solekreisläufen.

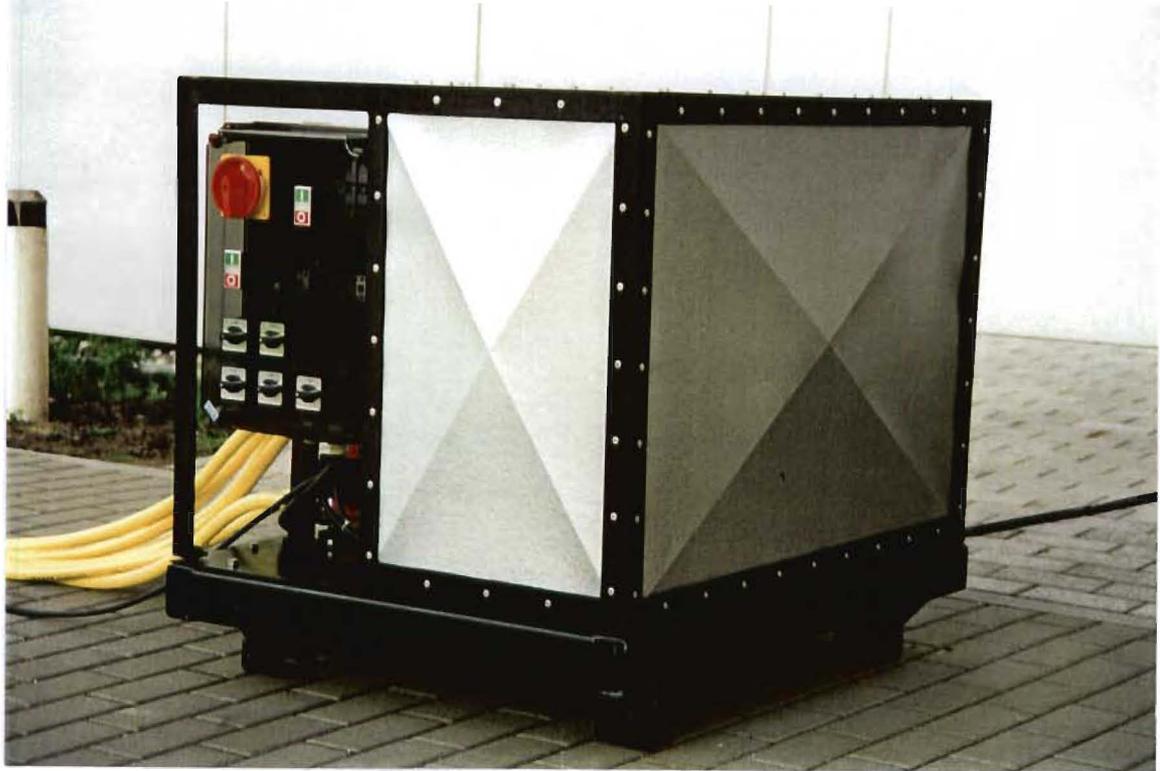


Abbildung 4: Kälteanlage

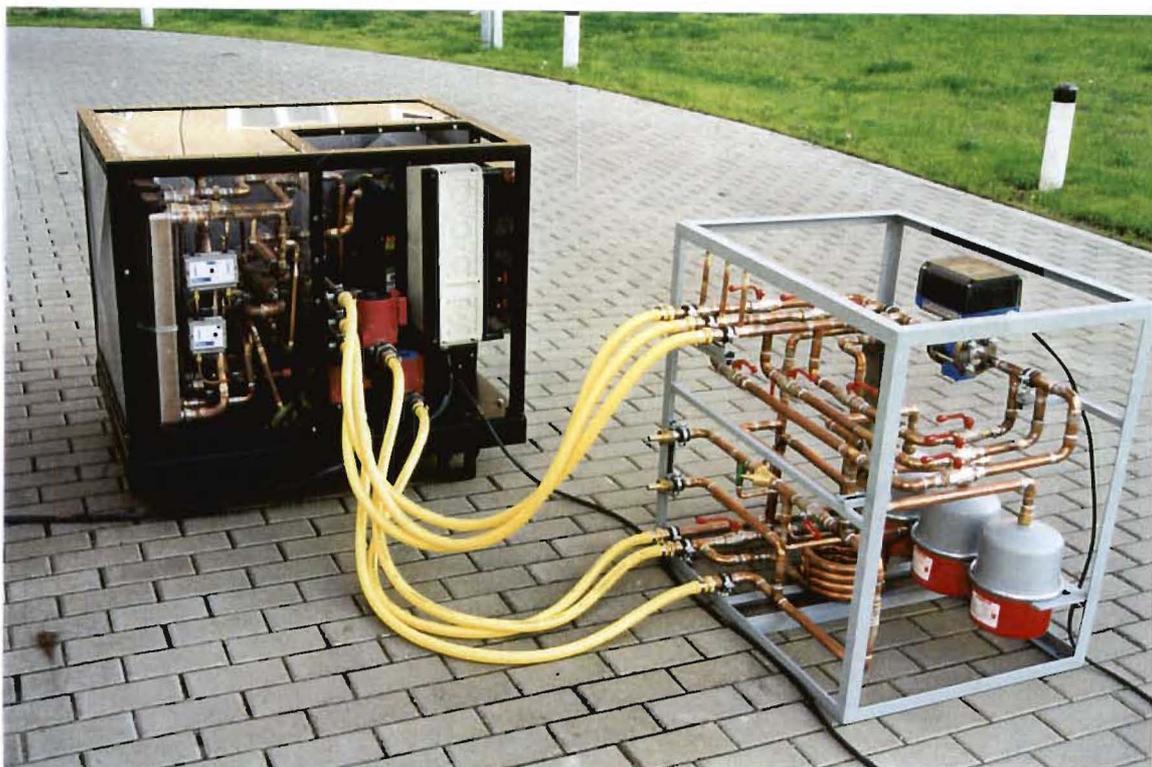


Abbildung 5: Kälteanlage mit Nachbildung der Sekundärkreisläufe

5.1.2 Funktion

Der prinzipielle Aufbau der Kälteanlage ist in Abbildung 6 dargestellt und wird im folgenden beschrieben.

Der von dem Copeland Scroll-Verdichter ZR 11M3 geförderte Kältemittelmassenstrom gelangt über einen Schwingungsdämpfer, der die restliche Kälteanlage vor Vibrationen schützt, zunächst in den Enthitzer SWEP B25-16. Hier wird das im Eintritt ca. $t_{V2} = 105^{\circ}\text{C}$ heiße Kältemittel durch das im Gegenstrom fließende Enthitzer-Sekundärfluid enthitzt und bei 45°C teilweise kondensiert. Der Volumenstrom des Enthitzer-Sekundärfluids muß mit Hilfe der Schalterstellung an der Enthitzerpumpe Grundfos UPS 25-60 (Anschluß 4) oder geeigneter anderer Regulationsmaßnahmen so eingestellt werden, daß das Enthitzer-Sekundärfluid von $t_{SR1} = 30^{\circ}\text{C}$ im Eintritt auf $t_{SR2} = 60^{\circ}\text{C}$ im Austritt (Anschluß 3) erwärmt wird.

An den Enthitzer schließt sich der Verflüssiger SWEP B25-30 an, der von dem Verflüssiger-Sekundärfluid im Gegenstrom durchströmt wird. Hier wird das Kältemittel vollständig verflüssigt und um $\Delta t_U = 5\text{K}$ unterkühlt. Der Verflüssigungsdruck wird durch den Verflüssigungsdruckregler Danfoss KVR 15 L auf ca. $p_{c1} = 15.5\text{ bar}$ eingestellt. Das Verflüssiger-Sekundärfluid wird von der zugehörigen Pumpe Grundfos UPS 25-80 (Anschluß 6) dem durch Außenluft gekühlten Ventilatorluftkühler Roller ALV HL 063 1L zugeführt. Es gelangt abgekühlt über den Anschluß 5 zum Verflüssiger zurück. Der Volumenstrom ist dabei so einzustellen, daß sich die geforderte Unterkühlung einstellt. Die Auslegung des Ventilatorluftkühlers ist so gewählt, daß zwei Kälteanlagen von einem Ventilatorluftkühler gekühlt werden.

Das flüssige Kältemittel wird durch den Sammler HANSA FLS in den inneren Wärmeübertrager SWEP B10-20 gefördert. Hier wird das Kältemittel weiter unterkühlt und gibt Wärme an das Sauggas ab. Der Einsatz des inneren Wärmeübertragers ist durch die thermodynamischen Eigenschaften des Kältemittels Propan (R290) besonders vorteilhaft.

Anschließend gelangt das flüssige Propan durch den Filtertrockner Danfoss DN 165 S und das zur Überprüfung des Kältemittelzustandes eingebaute Schauglas HANSA SG 16 zum thermostatischen Expansionsventil Flica TMV(X) 4.5.

Der sich anschließende Verdampfer SWEP V25-32 dient zur Aufnahme des bei der Kühlung des Milchstromes anfallenden Wärmestromes. Die Verdampfungstemperatur beträgt $t_0(p_{02}) = -3^{\circ}\text{C}$. Der Fühler des Expansionsventils ist am Verdampferaustritt vor der Druckausgleichsleitung des Expansionsventils angebracht und dient zur Einstellung der Überhitzung von ca. 2K.

Die Verdampfersole wird auch hier im Gegenstrom durch den Verdampfer gefördert. Der Fördervolumenstrom der Verdampfersolepumpe (Anschluß 1) muß dabei so eingestellt werden, daß die mit $t_{SM1} = 13^{\circ}\text{C}$ eintretende Kühlsole am Eintritt in den Verdampfer auf die Austrittstemperatur $t_{SM2} = 1^{\circ}\text{C}$ abgekühlt wird. Die abgekühlte Sole gelangt über Anschluß 2 wieder in den Speicherbehälter der Kühlsole.

Als Einfrierschutz der Verdampfersole ist ein Verdampfungsdruckregler KVP 28 L eingebaut, der ein Absinken des Verdampfungsdruckes verhindert, so daß die Verdampfungstemperatur auf mindestens $t_0(p_{02\text{min}} = 3,42\text{bar}) = -10^{\circ}\text{C}$ begrenzt bleibt.

5.2 Technische Daten

- Abmessungen: 1020mm x 800mm x 890 mm (LxBxH)
- Gewicht: ca. 350 kg
- Kälteleistung: $\dot{Q}_0 = 15kW$ bei Verdampfungstemp. $t_0(p_{02}) = -3^\circ C$
- Wärmerückgewinnungsleistung: $\dot{Q}_E = 12,5kW$
- Verflüssigerleistung: $\dot{Q}_c = 25kW$ ohne Wärmerückgewinnung
 $\dot{Q}_c = 9kW$ mit Wärmerückgewinnung
- Leistungsaufnahme: $P_{ei} = 6,5kW$
- elektrische Leistungen:
 - Verdampferpumpe (Stufe 3): 100W
 - Verflüssigerpumpe (Stufe 3): 245W
 - Enthitzerpumpe (Stufe 3): 100W
 - Ventilator-Lufterhitzer: 1200W
 - Maschinengehäuselüfter: 54W
- Füllmengen:
 - Kältemittel: 1,8 kg Propan (R290)
 - Schmieröl: 4 l Esteröl Anderol RCF-E80B
- Sekundärfluid: Propylenglycol/Wasser (Volumenverh. 1/4)
- Betriebs- und Einsatzgrenzen: Umgebungstemperatur $t_U < 30^\circ C$

7 Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertung der Leistungsmessungen ergab je nach Auslegungsbedingung des Versuches eine Kälteleistung bis zu 15,5 kW. Dies entspricht einer Milchkühlleistung von ca. 450 l/h. Damit liegen die erzielten Leistungsdaten für die Milchkühlung über der Leistung der bestehenden R22-Anlagen mit 400l/h Milchkühlleistung.

Die Wärmeleistung des Enthitzers betrug für die Auslegungsbedingungen maximal 15,5 kW entsprechend einer Leistung von 300 l/h. Die Anforderungen des Anlagenbetreibers wurden somit erfüllt.

Für den Einsatz eines Scrollverdichters in Verbindung mit Propan lagen bisher keine Erfahrungen vor. Die Auslegung der Verdichters erfolgte daher auf der Grundlage von Daten, die für das Kältemittel R22 gelten. Die zu R22 unterschiedlichen Stoffeigenschaften des Propans wurden mit Hilfe spezieller Zustandsgleichungen berücksichtigt. Der Einfluß des ausgewählten Öles und des Kältemittels Propan auf den Liefergrad des Verdichters mußte zunächst vernachlässigt werden, weil dieser nicht bekannt ist. Die Leistungsmessungen der Anlage haben schließlich gezeigt, daß der Liefergrad des Verdichters mit dem Kältemittel Propan und dem verwendeten Öl etwa 5 Prozentpunkte niedriger liegt als mit R22. Die Ursachen hierfür können mit den Ergebnissen der durchgeführten Leistungsmessungen prinzipiell nicht vollständig aufgeklärt werden. Zur Klärung des Sachverhaltens müßten Verdichterleistungsmessungen durchgeführt werden.

Die Ergebnisse der Öluntersuchungen haben gezeigt, daß das Öl schon nach etwa 100 Stunden Betrieb eine verringerte Viskosität aufwies. Die Feldversuche werden daher mit einem Öl durchgeführt, dessen Viskosität deutlich größer ist. Ein erhöhter Wasseranteil war bei der Untersuchung der Probe nicht festzustellen. Auffällig hingegen war der sehr hohe Phosphorgehalt. Dies läßt vermuten, daß durch das Esteröl Rückstände des Flußmittels an den Lötflächen und Verunreinigungen in den Komponenten der Kälteanlage gelöst wurden.

Der Einsatz der Plattenwärmeübertrager hat maßgeblich dazu beigetragen, daß die Kältemittelfüllmenge deutlich unterhalb von 2,5 kg gehalten werden konnte. Die sicherheitstechnischen Einschränkungen sind dadurch in Maßen gehalten. Die unter den vorgegebenen Randbedingungen erzielte Kälteleistung von 15,5 kW konnten mit einer Füllmenge von nur 1,8 kg Propan erzielt werden.

Eine Untersuchung des Wärmeübertragungsverhaltens aller in der Versuchsanlage verwendeten Plattenwärmeübertrager ergab zu den Auslegungsrechnungen abweichende Ergebnisse. Ein Grund für den veränderten Wärmeübergang in den Plattenwärmeübertragern kann auf das Mischungsverhalten von Öl und Propan zurückgeführt werden. Die sehr gute Löslichkeit von Propan und Öl kann dazu führen, daß die Oberflächen des Wärmeübertragers stark mit dem Öl benetzt werden, was zu einem veränderten Wärmeübergang führt. Auch eine ungleichmäßige Verteilung des Kältemittels innerhalb eines Plattenwärmeübertragers kann zu einer Beeinträchtigung führen.

Für einen stabilen Betrieb der Anlage erwies es sich als nützlich, einen Verdampfer mit verbesserter Kältemittelverteilung einzusetzen. Im Vergleich zu einem Verdampfer ohne Verteilervorrichtung konnte eine deutliche Steigerung der Kälteleistung nachgewiesen werden.

Durch der Einsatz eines Plattenwärmeübertragers als inneren Wärmeübertrager werden auf sehr kleinem Raum 3 kW Leistung übertragen. Die so erzielte Unterkühlung bzw. Überhitzung führte zur Steigerung der Kälteleistung und zur Verbesserung der Wärmerückgewinnung beim Einsatz mit Propan.

Das ausgewählte Expansionsventil zeigte ein zufriedenstellendes Regelverhalten. Auch die Montage des Fühlers hinter dem inneren Wärmeübertrager hatte keinen negativen Einfluß auf das Regelverhalten von Ventil und Plattenwärmeübertrager.

Die Untersuchung des Betriebsverhaltens der Kälteanlage ergab weiterhin, daß der Sammlerdruckregler und die zugehörige Druckleitung zum Sammler nicht erforderlich sind. Die Regelstabilität der Versuchsanlage ist auch ohne diese Bauteile immer gewährleistet. Die Investitionskosten können damit weiter reduziert werden.

Das Konzept einer kleinen, kompakten Kälteanlage mit dem Kältemittel Propan hat sich auch im Feldversuch bewährt. Die Einbindung der Anlage in eine bestehenden Milchkühlanlage erfolgte völlig problemlos und sehr schnell. Die Anlage arbeitet seit der Inbetriebnahme zur Zufriedenheit des Betreibers störungsfrei.

Eine Kältemittelfüllmasse von 1,5 kg erscheint durch weitere Optimierung der Komponenten möglich. Damit wäre eine weitere Reduzierung der Sicherheitsmaßnahmen bzw. Auflagen möglich.

8 Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die wesentlichen Maßnahmen, die zur Präsentation des Forschungsvorhabens in der Öffentlichkeit durch das *FKU* durchgeführt wurden, sind:

- Ausstellung der Versuchsanlage auf der Fachmesse der Kältetechnik IKK vom 10. bis 12. Oktober 1996 in Nürnberg
- E. Timm, M. Amemann, *FKU* - Forschungszentrum für Kälte- und Umwelttechnik GmbH: „Die Sicherheit von Propankälteanlagen in der gewerblichen Anwendung“, DKV-Jahrestagung, Leipzig, 1996.
- M. Amemann, FKU Forschungszentrum für Kälte- und Umwelttechnik GmbH Berlin: „Sicherheit von gewerblichen Kälteanlagen mit Propan“, 18. FKW / FKU - Seminar: „Aktuelle Entwicklungen der Kältetechnik in Supermärkten/Gewerbekälte“, Hannover, 1996.
- Eine Veröffentlichung zum *Einsatz von Propankälteanlagen in der gewerblichen Nutzung* in einer Fachzeitschrift der Kältetechnik ist in Vorbereitung

9 Anhang

Anhang 1: Firmenverzeichnis der beteiligten Partner

1. Copeland GmbH
Niederlassung Frankfurt
Hersteller von Verdichtern (Scroll);
Unterstützung / Beratung bei der Auswahl eines für Propan geeigneten Verdichters; Bereitstellung eines Verdichters.

2. DK Kälteanlagen GmbH
Emsdetten
Hersteller von Wärmerückgewinnungsanlagen;
Unterstützung / Beratung bei der Auslegung der Wärmerückgewinnungsanlage.

3. **FKU**-Forschungszentrum für Kälte- und Umwelttechnik GmbH
Berlin
Forschungs- und Entwicklungsarbeiten:
 - Erstellen eines Sicherheitskonzeptes,
 - Anlagenkonzeption,
 - Erstellung der Versuchsanlage,
 - Durchführung der Versuche,
 - Erstellung einer Betriebsanleitung,
 - Inbetriebnahme beim Anwender.

4. **FKW** - Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH
Hannover
Koordination und Beratung.

5. Ernst Flitsch GmbH & Co.
Fellbach
Hersteller von Expansionsventilen für kältetechnische Anwendung;
Entwicklung und Bereitstellung eines geeigneten Expansionsventils.

6. Hüls AG
Marl
Unternehmen der chemischen Industrie; Hersteller von Kohlenwasserstoffkältemitteln, Esterölen und Kälte-trägern;
Unterstützung / Beratung bei der Auswahl eines Kältemaschinenöles; Überlassung von Stoffdaten

7. Dipl.-Ing Kern

Neubulach

Technischer Sachverständiger für Sicherheitstechnik;

Beratung bei der Auslegung der erforderlichen Sicherheitstechnik.

8. SWEP Wärmetauscher Deutschland AG

Hildesheim

Hersteller von gelöteten Plattenwärmeübertragern

Unterstützung / Beratung bei der Auswahl der Wärmeübertrager;

Bereitstellung der Wärmeübertrager

Anhang 2: Vorschriften, Normen und Richtlinien

Im folgenden wird eine Zusammenstellung wesentlicher Vorschriften, Normen und Richtlinien für den Bau und den Betrieb von Kälteanlagen, Klimaanlage und Wärmepumpen gegeben.

Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften

GSG	Gesetz über technische Arbeitsmittel (Gerätesicherheitsgesetz - GSG) vom 4.06.1968, Fassung vom 18.02.1986 Allg. Verwaltungsvorschrift zum Gesetz über technische Arbeitsmittel vom 21.12.1970, Fassung vom 21.12.1989 Verzeichnisse A, B, C der allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Gesetz über technische Arbeitsmittel; Januar 1991 Gewerbeverordnung; Fassung vom 01.01.1987
ArbStättV	Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstätten-Verordnung ArbStättV) vom 20.03.1975; Fassung vom 01.08.1983
ASR	Arbeitsstätten-Richtlinien zur ArbStättV (ASR); Bekanntmachung des BMA
DruckbhV	Verordnung über Druckbehälter, Druckgasbehälter und Füllanlagen (Druckbehälterverordnung - DruckbhV) vom 27.02.1980; Fassung vom 21.04.1989 Allg. Verwaltungsvorschrift zur DruckbhV vom 27.02.1980
TRB	Technische Regeln für Druckbehälter (TRB); Bekanntmachung des BMA - TRB 800 Nr. 14 'Druckbehälter in Kälteanlagen und Wärmepumpen'
TRG	Technische Regeln für Druckgasbehälter (TRG); Bekanntmachung des BMA
TRR	Technische Regeln für Rohrleitungen (TRR); Bekanntmachung des BMA
ElexV	Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Räumen (ElexV) vom 27.02.1980 Allg. Verwaltungsvorschrift zur Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Räumen (ElexV) vom 27.02.1980
EX-RL	Richtlinien für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre (EX-RL) vom 27.02.1980 mit Beispielsammlung
ChemG	Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz - ChemG) vom 16.09.1980, Fassung vom 14.03.1990
GefStoffV	Verordnung über gefährliche Stoffe (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV) vom 26.08.1986; Fassung vom 16.12.1987
TRgA	Technische Regeln für gefährliche Arbeitsstoffe (TRgA); Bekanntmachung des BMA
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS); Bekanntmachung des BMA
GGVS	Gefahrgutverordnung Straße (GGVS)
GGVSee	Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Seeschiffen (GGVSee - Gefahrgutverordnung See)
GGVE	Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahnen (GGVE - Gefahrgutverordnung Eisenbahn)
BImSchG	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) vom 15.03.1974; Fassung vom 26.11.1985

4. BImSchV Vierte Verordnung zur Durchführung des BImSchG (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) vom 24.07.1985
12. BImSchV Zwölfte Verordnung zur Durchführung des BImSchG (Störfallverordnung - 12. BImSchV) vom 19.05.1985
- AbfG Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz - AbfG)
- AltöIV Altölverordnung (AltöIV)
- Wärmenutzungsverordnung
- Wärmepumpenrichtlinien
Richtlinien für die Aufstellung von Wärmepumpen (Wärmepumpenrichtlinien); Fassung vom 10.83 der Fachkommission „Bauaufsicht“

Unfallverhütungsvorschriften (UVV)

Bezugsquelle: Carl Heymanns Verlag KG, Köln

- VBG 1: Allgemeine Vorschriften
- VBG 15: Schweißen, Schneiden und verwandte Arbeitsverfahren
- VBG 20: Kälteanlagen, Wärmepumpen und Kühleinrichtungen
- VBG 61: Gase
- VBG 77 Nahrungsmittelmaschinen
- VBG 100 Arbeitsmedizinische Vorsorge

DIN - Normen

Quelle: Beuth Verlag GmbH, Berlin

- DIN 2401 Druck und Temperaturangaben,
Teil 1 Begriffe, Nenndruckstufen
- DIN 2403 Kennzeichnung von Rohrleitungen nach dem Durchflußstoff
- DIN 2405 Rohrleitungen in Kälteanlagen, Kennzeichnung
- DIN 3158 Kältemittelarmaturen; Sicherheitstechnische Festlegungen, Prüfung, Kennzeichnung
- DIN 3159 Flanschanschlüsse für Kältemittelarmaturen bis NP 25
- DIN 3162 Schutzkappe für Ventile in Kältemittelkreisläufen NP 25
- DIN 3164 Stellungsanzeiger für Ventile in Kältemittelkreisläufen
- DIN 3440 Temperaturregel- und -begrenzungseinrichtungen für Wärmeerzeugungsanlagen
- DIN 4140 Dämmen betriebstechnischer Anlagen,
Teil 2 Technische Lieferbedingungen
- DIN 4361 Berührungsschutzeinrichtungen für Kompressoren; Sicherheitstechnische Anforderungen
- DIN 4763 Wassererwärmungsanlagen für Trink- u. Brauchwasser;
Teil 1 Ausführung, Ausrüstung u. Prüfung
- DIN 8418 Technische Erzeugnisse; Angaben in Gebrauchsanleitungen und Betriebsanleitungen
- DIN 8900 Wärmepumpen;
Teil 1 Anschlußfertige Geräte, Definitionen,
Teil 2 Prüfbedingungen, Prüfumfang, Kennzeichnung
- DIN 8901 Wärmepumpen; Anforderungen zum Schutz von Grund- und Oberflächenwasser
- DIN 8947 Warmwasser-Wärmepumpen
- DIN 8962 Kältemittel; Begriffe, Kurzzeichen

- DIN 8972 Fließbilder kältetechnischer Anlagen;
Teil 1 Fließbildarten, Informationsinhalt,
Teil 2 Zeichnerische Ausführung, graphische Symbole
- DIN 8973 Nennleistung von einstufigen hermetischen und halbhermetischen Verdichtern,
Teil 2 Angaben in Kenndatenblättern,
Teil 3 Typschildangaben
- DIN 8975 Kälteanlagen; Sicherheitstechnische Grundsätze für Gestaltung , Ausrüstung und
Aufstellung,
Teil 1 Auslegung,
Teil 2 Werkstoffauswahl für Kälteanlagen,
Teil 3 Angaben für Betriebsanleitungen,
Teil 4 Bescheinigung über die Prüfung, Kennzeichnungsschild,
Teil 5 Prüfung vor Inbetriebnahme,
Teil 6 Kältemittel-Rohrleitungen,
Teil 7 Sicherheitseinrichtungen in Kälteanlagen gegen unzulässige
Druckbeanspruchungen,
Teil 8 Füllstandsanzeige-Einrichtungen für die Kältemittelbehälter,
Füllstandsanzeiger,
Teil 9 Flexible Leitungen im Kältemittelkreislauf,
Teil 10 Emissionsminderung von Kältemittel aus Kälteanlagen, Entwurf,
- DIN 16007 Überdruckmeßgeräte für erhöhte Sicherheit; Sicherheitstechnische Anforderungen
und Prüfung
- DIN 24167 Ventilatoren; Berührungsschutz gegenüber Ventilatorlaufrädern;
Teil 1 Sicherheitstechnische Anforderungen
Teil 2 Mechanische Festigkeit
- DIN 31000 Allgemeine Leitsätze für das sicherheitsgerechte Gestalten technischer Erzeugnisse
- DIN 31001 Sicherheitsgerechtes Gestalten technischer Erzeugnisse
Teil 1 Schutzeinrichtungen, Begriffe, Sicherheitsabstände für Erwachsene und Kinder
- DIN 31051 Instandhaltung, Begriffe und Maßnahmen
- DIN 33830 Wärmepumpen; Anschlußfertige Heiz- und Sorptionswärmepumpen
Teil 1
Teil 2
Teil 3 Kältetechnische Sicherheit
Teil 4 Prüfbedingungen, Prüfumfang, Kennzeichnung
- DIN 52900 Sicherheitsdatenblätter
- Entwurf
- DIN EN 378 s.u
- DIN ISO 5149 Refrigerating systems and heat pumps; Safety requirements
- DIN 7003 Kälteanlagen mit brennbaren Kältemitteln

Internationale Standards

- EN 50054 Elektrische Geräte für das Aufspüren und die Messung brennbarer Gase, 1974
- ISO 817 Organische Kältemittel, Kurzzeichen, 1974
- pr EN 378 Refrigeration systems and heat pumps - safety and environmental requirements, European Committee for Electrotechnical Standardization, german draft jan, 1994
- Part 1 Basic Requirements
 - Part 2 General definitions
 - Part 3 Classification
 - Part 4 Selection of refrigerants
 - Part 5 Design, construction and materials
 - Part 6 Piping
 - Part 7 Testing
 - Part 8 Installation
 - Part 10 Operation, documentation and instruction
 - Part 11 Maintenance and repair
 - Part 12 Recovery, reuse and disposal
 - Part 13 Competence
 - Part 14 Personal protection equipment against refrigerant

Draft ISO 5149 Refrigerating systems and heat pumps; Safety requirements

VDE - Bestimmungen

Quelle: Beuth Verlag GmbH, Berlin; VDE-Verlag GmbH, Berlin

- VDE 0100 Bestimmungen für das Errichten von Strakstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 Volt
- Teil 100: Allgemeine Anforderungen Anwendungsbereich
 - Teil 200: Allgemeingültige Begriffe
- VDE 0106 Schutz gegen Blitzschlag
- Teil 100: Anordnung von Betätigungselementen in der Nähe berührungsgefährlicher Teile
- VDE 0165 Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen DIN 57165, 1983
- VDE 0113 Bestimmungen über die elektrische ausrüstung von Bearbeitungs- und Verarbeitungsmaschinen
- VDE 0700 Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke
- Teil 1 Allgemeine Anforderungen
 - Teil 24 Kühl- und Gefriergeräte
 - Teil 34 Motorverdichter
 - Teil 203 Besondere Bestimmungen für Motorverdichter
 - Teil 222 Heizwärmepumpen
 - Teil 240 Kühl- und Gefriergeräte für besondere Zwecke und Eisbereiter
 - Teil 243 Wärmepumpen zur Wassererwärmung
 - Teil 258 Raumluftentfeuchter
- VDE 0772 Sicherheitsanforderungen an Raumklimageräte

Sonstige Richtlinien, Vorschriften, Veröffentlichungen

Quelle: Beuth Verlag GmbH, Berlin

AD Merkblätter - Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter VdTÜV Verlag

VDMA - Einheitsblätter

VDMA 24169:

Richtlinien, Sicherheitsregeln, Grundsätze und Merkblätter der Träger der gesetzlichen Unfallversicherung

Quelle: Carl Heymanns Verlag, Köln

- ZH1/8.2 Instandhaltung von ortsfesten Gaswarmeinrichtungen für den Explosionsschutz, 1983
- ZH 1/10 Richtlinien für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit der Beispielsammlung - Explosionsschutz-Richtlinien (EX-RL), 1985/1986
- ZH 1/24.2 Merkblatt: Umgang mit gefährlichen Stoffen
- ZH 1/81 Merkblatt für gefährliche chemische Stoffen
- ZH 1/134 Atemschutz
- ZH 1/155 Sicherheitsregeln für den Schutz von Personen bei der Beförderung gefährlicher Güter (R12)
- ZH 1/200 Richtlinien für die Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen, 1980
- ZH 1/220 Verordnung über gefährliche Stoffe (GefStoffV - Gefahrstoffverordnung)
- ZH 1-455 Richtlinien für die Verwendung von Flüssiggas, 1978

Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen

- G21 Kältearbeiten
- G26 Träger von Atemschutzgeräten

Anhang 3: Zusammenstellung der Meßergebnisse

Tabelle 3: Auslegungsbedingungen der Sekundärkreisläufe

Energiebilanzen der ITEC Versuchsanlage

Datum: 13.11.96
Messung: 1

Enthitzer	Messwerte:	berechnete Werte
Kältemittelseite (Propan)		
p_c1 [bar]	15,76	
T_R1 [°C]	106,51	
T_R2 [°C]	45,98	
h (T_V2,p_c1)	755,48	
Soleseite		
(Propylenglycol/Wasser	0,375	
Volumenstrom [l/s]		0,10
T_SR1 [°C]	30,34	
T_SR2 [°C]	56,07	
delta_T [K]		25,73
T_mittel [°C]		43,20
Dichte [kg/m ³]		1008,56
Wärmekap. [J/kgK]		4,02
Massenstrom [kg/s]		105,06
Leistung Enthitzer: [kW]		-10,88

Verflüssiger	Messwerte:	berechnete Werte
Kältemittelseitig (Propan)		
p_c2 [bar]	15,66	
T_L1 [°C]	46,03	
T_L2 [°C]	36,10	
T_U [°C]	35,50	
h (T_U,p_c2)	300,04	
Soleseite		
(Propylenglycol/Wasser	1,182	
Volumenstrom [l/s]		0,33
T_SL1 [°C]	35,71	
T_SL2 [°C]	41,43	
delta_T [K]		5,72
T_mittel [°C]		38,57
Dichte [kg/m ³]		1010,87
Wärmekap. [J/kgK]		4,01
Massenstrom [kg/s]		331,90
Leistung Verflüssiger: [kW]		-7,62

KM-Massenstrom aus Verflüssigungsbilanz 40,62

Fortsetzung

Tabelle 3

Verdampfer		B25
Kältemittelseitig (Propan)		
p_02 [bar]	3,83	
T_0	-6,83	
T_01	-5,61	
T_02	-5,30	
h_1 [kJ/kg]	245,85	
h_2 [kJ/kg]	578,13	
KM-Massenstrom aus Verdampferbilanz: [g/s]		39,38
Soleseite		
Volumenstrom [m3/h]	0,977	
Volumenstrom [l/s]		0,27
T_SM1 [°C]	13,38	
T_SM2 [°C]	1,44	
delta_T [K]		11,94
T_mittel [°C]		7,41
Dichte [kg/m3]		1023,55
Wärmekap. [J/kgK]		3,95
Massenstrom [kg/s]		277,78
Leistung Verdampfer [kW]		13,08

Leistung Verdichter [kW]	ZR 11 M3	6,37
Serien-Nr.: 96F915277		
Betriebsstunden	102,14	
Druckverhältnis	4,09	
T_V1	29,33	
spez. Volumen [dm³/kg]	140,10	
Volumenstrom [m³/h]		20,17
T_V2	103,97	
V_geo [m³/h]	24,90	
Liefergrad		0,81
Leistungskorr.Faktor aus		1,15
Abwärme		0,95

Tabelle 4. Auslegungsbedingungen des Kältemittelkreislaufes

Energiebilanzen der ITEC Versuchsanlage

Datum: 12.11.96
 Messung: 4

Enthitzer	Messwerte:	berechnete Werte
Kältemittelseite (Propan)		
p_c1 [bar]	15,44	
T_R1 [°C]	98,48	
T_R2 [°C]	44,75	
h (T_V2,p_c1)	739,44	
Soleseite		
Volumenstrom [m3/h]	0,370	
Volumenstrom [l/s]		0,10
T_SR1 [°C]	17,29	
T_SR2 [°C]	54,36	
delta_T [K]		37,06
T_mittel [°C]		35,82
Dichte [kg/m3]		1012,18
Wärmekap. [J/kgK]		4,01
Massenstrom [kg/s]		104,03
Leistung Enthitzer: [kW]		-15,45

Verflüssiger		
Kältemittelseitig (Propan)		
p_c2 [bar]	15,30	
T_L1 [°C]	44,82	
T_L2 [°C]	39,69	
T_U [°C]	39,27	
h (T_U,p_c2)	311,76	
Soleseite		
Volumenstrom [m3/h]	1,605	
Volumenstrom [l/s]		0,45
T_SL1 [°C]	39,19	
T_SL2 [°C]	42,21	
delta_T [K]		3,02
T_mittel [°C]		40,70
Dichte [kg/m3]		1009,82
Wärmekap. [J/kgK]		4,02
Massenstrom [kg/s]		450,21
Leistung Verflüssiger: [kW]		-5,47
KM-Massenstrom aus Verflüssigungsbilanz		48,92

Fortsetzung Tabelle 4

Verdampfer		V25
Kältemittelseitig (Propan)		
p_02 [bar]	4,31	
T_0	-3,06	
T_01	-1,92	
T_02	-1,98	
h_1 [kJ/kg]	254,58	
h_2 [kJ/kg]	581,81	
KM-Massenstrom aus Verdampferbilanz: [g/s]		44,83
Soleseite		
Volumenstrom [m3/h]	1,256	
Volumenstrom [l/s]		0,35
T_SM1 [°C]	15,83	
T_SM2 [°C]	5,42	
delta_T [K]		10,40
T_mittel [°C]		10,62
Dichte [kg/m3]		1022,47
Wärmekap. [J/kgK]		3,95
Massenstrom [kg/s]		356,73
Leistung Verdampfer [kW]		14,67

Leistung Verdichter [kW]	ZR 11 M3	6,24
Serien-Nr.: 96F915277		
Betriebsstunden	98,12	
Druckverhältnis	3,55	
T_V1	31,97	
spez. Volumen [dm³/kg]	124,40	
Volumenstrom [m³/h]		20,99
T_V2	96,24	
V_geo [m³/h]	24,90	
Liefergrad		0,84
Leistungskorr.Faktor aus Lie-		1,10
Abwärme		-0,02

Tabelle 5: Leistungsabnahme bei der Übergabe, Messung 1

Energiebilanzen der ITEC Versuchsanlage

Datum: 03.12.96
 Messung: 1

Enthitzer	Messwerte:	berechnete Werte
Kältemittelseite (Propan)		
p_c1 [bar]	15,56	
T_R1 [°C]	99,16	
T_R2 [°C]	45,21	
h (T_V2,p_c1)	738,94	
Soleseite		
Volumenstrom [m3/h]	0,374	
Volumenstrom [l/s]		0,10
T_SR1 [°C]	26,73	
T_SR2 [°C]	55,73	
delta_T [K]		29,00
T_mittel [°C]		41,23
Dichte [kg/m3]		1009,56
Wärmekap. [J/kgK]		4,02
Massenstrom [kg/s]		104,88
Leistung Enthitzer: [kW]		-12,23

Verflüssiger		
Kältemittelseitig (Propan)		
p_c2 [bar]	15,41	
T_L1 [°C]	45,21	
T_L2 [°C]	38,39	
T_U [°C]	38,08	
h (T_U,p_c2)	308,02	
Soleseite		
Volumenstrom [m3/h]	1,419	
Volumenstrom [l/s]		0,39
T_SL1 [°C]	36,92	
T_SL2 [°C]	42,07	
delta_T [K]		5,15
T_mittel [°C]		39,49
Dichte [kg/m3]		1010,42
Wärmekap. [J/kgK]		4,02
Massenstrom [kg/s]		398,27
Leistung Verflüssiger: [kW]		-8,23

KM-Massenstrom aus
 Verflüssigungsbilanz

47,47

Fortsetzung Tabelle 5

Verdampfer		V25
Kältemittelseitig (Propan)		
p_02 [bar]	4,30	
T_0	-3,45	
T_01	-1,42	
T_02	-1,51	
h_1 [kJ/kg]	251,47	
h_2 [kJ/kg]	582,66	
KM-Massenstrom aus Verdampferbilanz: [g/s]		45,23
Soleseite		
Volumenstrom [m3/h]	1,141	
Volumenstrom [l/s]		0,32
T_SM1 [°C]	13,14	
T_SM2 [°C]	1,44	
delta_T [K]		11,70
T_mittel [°C]		7,29
Dichte [kg/m3]		1023,59
Wärmekap. [J/kgK]		3,95
Massenstrom [kg/s]		324,42
Leistung Verdampfer [kW]		14,98

Leistung Verdichter [kW]	ZR 11 M3	6,24
Serien-Nr.: 96F915277		
Betriebsstunden	121,98	
Druckverhältnis	3,58	
T_V1	31,09	
spez. Volumen [dm³/kg]	124,70	
Volumenstrom [m³/h]		20,81
T_V2	96,19	
V_geo [m³/h]	24,90	
Liefergrad		0,84
Leistungskorr.Faktor aus Lie-		1,11
Abwärme		0,76

Tabelle 6: Leistungsabnahme bei der Übergabe, Messung 2

Energiebilanzen der ITEC Versuchsanlage

Datum: 03.12.96
 Messung: 2

	Messwerte:	berechnete Werte
Enthitzer		
Kältemittelseite (Propan)		
p_c1 [bar]	15,62	
T_R1 [°C]	100,06	
T_R2 [°C]	45,23	
h (T_V2,p_c1)	741,88	
Soleseite		
Volumenstrom [m3/h]	0,376	
Volumenstrom [l/s]		0,10
T_SR1 [°C]	27,08	
T_SR2 [°C]	56,20	
delta_T [K]		29,12
T_mittel [°C]		41,64
Dichte [kg/m3]		1009,35
Wärmekap. [J/kgK]		4,02
Massenstrom [kg/s]		105,42
Leistung Enthitzer: [kW]		-12,34

Verflüssiger		
Kältemittelseitig (Propan)		
p_c2 [bar]	15,48	
T_L1 [°C]	45,26	
T_L2 [°C]	37,94	
T_U [°C]	37,31	
h (T_U,p_c2)	307,40	
Soleseite		
Volumenstrom [m3/h]	1,420	
Volumenstrom [l/s]		0,39
T_SL1 [°C]	36,64	
T_SL2 [°C]	42,42	
delta_T [K]		5,78
T_mittel [°C]		39,53
Dichte [kg/m3]		1010,40
Wärmekap. [J/kgK]		4,02
Massenstrom [kg/s]		398,55
Leistung Verflüssiger: [kW]		-9,25

KM-Massenstrom aus
 Verflüssigungsbilanz 49,69

Fortsetzung Tabelle 6

Verdampfer		V25
Kältemittelseitig (Propan)		
p_02 [bar]	4,19	
T_0	-3,39	
T_01	-1,86	
T_02	-1,02	
h_1 [kJ/kg]	256,28	
h_2 [kJ/kg]	583,69	
KM-Massenstrom aus Verdampferbilanz: [g/s]		44,96
Soleseite		
Volumenstrom [m3/h]	1,142	
Volumenstrom [l/s]		0,32
T_SM1 [°C]	12,94	
T_SM2 [°C]	1,44	
delta_T [K]		11,49
T_mittel [°C]		7,19
Dichte [kg/m3]		1023,62
Wärmekap. [J/kgK]		3,95
Massenstrom [kg/s]		324,72
Leistung Verdampfer [kW]		14,72

Leistung Verdichter [kW]	ZR 11 M3	6,41
Serien-Nr.: 96F915277		
Betriebsstunden	123,33	
Druckverhältnis	3,69	
T_V1	30,96	
spez. Volumen [dm³/kg]	128,10	
Volumenstrom [m³/h]		21,83
T_V2	97,64	
V_geo [m³/h]	24,90	
Liefergrad		0,88
Leistungskorr.Faktor aus Lie-		1,06
Abwärme		-0,46

Tabelle 7: Ergebnisse der Öluntersuchungen

untersuchte Größe	Meßergebnis Fa. A	Meßergebnis Fa. B
Viskosität (40°C)	31,90 mm ² /s	29,10 mm ² /s
Neutralisationszahl	0,07 mgKOH/g	0,1 mgKOH/g
Wasseranteil	131 mg/kg	< 100 %wt
Pb-Gehalt	4 mg/kg	< 5 ppm
Fe-Gehalt	2 mg/kg	< 5 ppm
Zn-Gehalt	1 mg/kg	< 5 ppm
Si-Gehalt	3 mg/kg	< 5 ppm
Al-Gehalt	4 mg/kg	< 5 ppm
Cu-Gehalt	n.n.	< 5 ppm
Cr-Gehalt	n.n.	< 5 ppm
Sn-Gehalt	3 mg/kg	< 5 ppm
Ag-Gehalt	n.n.	-
Mg-Gehalt	6 mg/kg	-
Ni-Gehalt	n.n.	< 5 ppm
Mo-Gehalt	n.n.	-
Na-Gehalt	n.n.	-
Ca-Gehalt	12 mg/kg	-
P-Gehalt	789 mg/kg	-
Ba-Gehalt	n.n.	-
B-Gehalt	n.n.	-
Mn-Gehalt	n.n.	-
Ti-Gehalt	n.n.	-
Li-Gehalt	n.n.	-

n.n. : nicht nachgewiesen

-: nicht untersucht