



Arbeitsbericht zur Projektarbeit

**Restauration und Funktion eines Philips
Kryogenerators, mit Planung, Aufbau und
Funktion eines luftgekühlten R134a–Kaltwassersatzes**

vorgelegt von

Hellmann Sascha

geboren am: 08.04.1983
Matr.-Nr.: 07 1 30424 06

Kluge Micha

geboren am: 16.05.1986
Matr.-Nr.: 07 2 31548 11

Schiener Andreas

geboren am: 21.11.1986
Matr.-Nr.: 07 1 31737 17

ESaK

Fachrichtung Kältesystemtechnik

Wintersemester 2007 – Sommersemester 2010

Betreuer. Prof. Dr.-Ing. H-R. Engelhorn

Vorwort

Mit der Entscheidung ein Studium der Ingenieurwissenschaften aufzunehmen ergeben sich von Beginn an viele Faktoren, die es genau abzuwägen gilt. Unter anderem die Frage nach der Art der Hochschule. In Deutschland kann hierbei zwischen mehreren Möglichkeiten gewählt werden. Der universitäre Studiengang einer Technischen Hochschule ist hauptsächlich auf den theoretischen Gesichtspunkten und weniger auf die praktische Tätigkeit ausgelegt. Die Fachhochschule bietet vergleichsweise mehr Praxis, wohingegen der Studiengang einer Berufsakademie von Beginn an auf den Dualen Weg zwischen Praxis und Theorie abzielt. Dies war einer der Hauptgründe, warum wir uns für diesen Studienweg entschieden haben. Die Fähigkeiten, die man als Ingenieur theoretisch erlernt, lassen sich Schritt für Schritt bis zum eigentlichen Start in das Berufsleben in kürzester Zeit zudem praktisch umsetzen.

Die Gelegenheit, die uns an der ESaK mit der Umsetzung dieser freiwilligen Projektarbeit gegeben wurde, verdeutlicht dies in besonderem Maße. Bereits Rudolf Plank [1]^{*)} hatte im Jahre 1928 in einer Abhandlung über „Die Ausbildung von Kälte-Ingenieuren“ nachfolgendes Zitat verfasst:

„Die Frage der zweckmäßigen Ausbildung von Studierenden an Technischen Hochschulen ist zur Zeit wieder stark umstritten: auf der einen Seite wird eine möglichst allgemeine naturwissenschaftlich-technische Ausbildung verlangt und jedes Spezialstudium abgelehnt, auf der anderen Seite wird die nicht weniger berechnete Forderung aufgestellt, daß die jungen Akademiker in der Praxis in einem bestimmten Fach recht bald positive Arbeit leisten, wozu sie nur befähigt scheinen, wenn sie neben dem Erwerb eines guten allgemeinen Wissens die Schwierigkeit der Vertiefung in ein einzelnes Problem und die Methodik der technischen Detailarbeit kennen gelernt haben. Die Gefahr liegt darin, daß man entweder oberflächliche Enzyklopädisten heranzieht die zwar technisch allgemein gebildet, aber nicht zu technischer Einzelarbeit befähigt sind, oder enge Spezialisten, die, mit Scheuklappen versehen, die Welt aus einer winzigen Perspektive beurteilen und die allgemeinen Zusammenhänge nicht kennen.“

Dies spiegelt, unserer Meinung nach, eben genau die Tatsache wider, dass es nur förderlich ist bereits im Studium eigenverantwortlich für ein größeres Projekt zu sein und es von Beginn der Planung bis zu Fertigstellung eigenständig zu betreuen.

Wir waren dabei verantwortlich für eine Budgetsumme von über 35 000 Euro. Dabei war es nur dienlich auf die praktischen Fertigkeiten der ersten Berufsausbildung als Handwerker zurückgreifen zu können. Kombiniert mit den theoretisch vermittelten Inhalten des Ingenieurstudiums und der Förderung durch die BFS/ESaK Stiftung sowie Spenden durch den HKK und zahlreiche Fachfirmen, konnte dieses Projekt an der ESaK ins Leben gerufen werden,

*) Die Ziffern in den eckigen Klammern beziehen sich auf das Quellenverzeichnis am Ende der Arbeit

welches es so vorher noch nicht gab. Man kann durchaus sagen, dass der handwerkliche Ausgleich hierbei auch eine willkommene Abwechslung zur Vorlesung war, um diese freiwillige Herausforderung in über 1450 Arbeitsstunden zu realisieren.



Die Studenten des WS07 Projektes „Philipsgaskälte“
(v.l.n.r. : Schiener Andreas, Kluge Micha, Hellmann Sascha)

Eidesstattliche Erklärung

Wir erklären hiermit an Eides statt,

- dass wir die vorliegende Studienarbeit selbstständig angefertigt,
- keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt,
- die wörtlich oder dem Inhalt nach aus fremden Arbeiten entnommenen Stellen, bildlichen Darstellungen und dergleichen als solche genau kenntlich gemacht und
- keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen haben.

Maintal, 7. Dezember 2010

S. Hellmann

Hellmann Sascha

Micha Kluge

Kluge Micha

A. Schiener

Schiener Andreas

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VIII
Formelzeichen und Indizes	IX
Indizes	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
Danksagung	XII
Einleitung	1
1 Die Geschichte der Luftverflüssigung	2
1.1 Die Luftverflüssigung von Carl von Linde	2
1.2 Die Verwendung flüssiger Luft früher und heute	3
1.3 Entwicklung der Gasverflüssigung.....	6
1.4 Die Geschichte des Kryogenerators	6
2 Der Philips Kryogenerator	10
2.1 Die physikalische Grundlage der Gasverflüssigung.....	10
2.2 Aufbau und Funktion.....	11
2.2.1 Die Gaszerlegungskolonne.....	12
2.2.2 Die Kaltgasmaschine	18
2.3 Normbedingungen und Verbesserungspotential	24
2.4 Einsatzmöglichkeiten	25
3 Vorüberlegung und Herangehensweise	26
3.1 Technische Berechnung der Kaltwasseranlage.....	27
3.2 Theoretische Betrachtungen zum Sauggaswärmeübertrager.....	30
3.3 Auslegung der kältemittelführenden Rohrleitungen.....	32
3.3.1 Auslegung/Nachrechnung der Saugdampfleitung.....	33
3.3.2 Berechnung der minimalen Kälteleistung zum Öltransport in der Druckdampfleitung.....	34
3.3.3 Auslegung der Flüssigkeitsleitung.....	36
3.4 Aufstellung der Philips Gaskältemaschine	36
4 Beschreibung der speicherprogrammierbaren Steuerung	38
4.1 Aufbau und Funktionsweise einer SPS.....	38
4.2 Allgemeiner Aufbau und Funktionsweise	38

4.3	Aufbau der SPS für die „Philips-Anwendung“	40
4.4	Realisierung des „Philipsprojekts“	42
4.4.1	Aufgabenstellung	42
4.4.2	Anwenderprogramm	43
4.4.3	Störmeldung.....	43
4.4.4	Freigabe des Kaltwassersatzes	45
4.4.5	Freigabe Kryogenerator	46
4.4.6	Analoge Eingänge	47
4.4.7	Analoge Ausgänge	49
4.4.8	Messwerterfassung.....	50
4.4.9	Fehlererfassung	52
4.4.10	Betriebsstundenzähler	53
4.4.11	Auswertung.....	54
4.4.12	Datenbankprogramm „dbLog Filer“	54
4.4.13	Auswertung über Excel Makro	55
5	Die Anlage (Bildergalerie)	56
5.1	Restauration verschiedener Teile.....	56
5.2	Bilder des Aufbaus.....	58
5.2.1	Der Kaltwassersatz	67
5.2.2	Der Schaltschrank.....	69
5.2.3	Die Philipsmaschine	70
5.2.4	Die Kolonne	71
6	Das Projekt Budget.....	72
7	Versuche mit flüssigem Stickstoff	74
7.1	Versuch 1 Leidenfrost’sches Phänomen	74
7.2	Versuch 2 Sprödigkeit durch Schockgefrieren	75
7.3	Versuch 3 Elastizitätsänderung durch Gefrieren	76
7.4	Versuch 4 Elastizitätsänderung - Gummiringe	77
7.5	Versuch 5 Änderung des Volumens	78
7.6	Versuch 6 Änderung des Volumens 2.....	79
7.7	Versuch 7 Volumsänderung durch Verdampfen	80
7.8	Versuch 8 Druckaufbau durch Erwärmen - Stickstoffbombe.....	81
7.9	Versuch 9 Änderung der Farbe	82
7.10	Versuch 10 Änderung der Materialeigenschaften	83
7.11	Versuch 11 Rauchender Kopf	84
7.12	Versuch 12 Theaternebel	85

7.13	Versuch 13 Meißner-Ochsenfeld-Effekt.....	86
7.14	Versuch 14 Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstands.....	88
7.15	Versuch 15 Temperaturabhängigkeit der Phosphoreszenz	89
8	Zusammenfassung und Ausblick	92
	Quellenverzeichnis.....	94
A	Anhang	95
	Anlagenverzeichnis	95
A.1	Aufstellung im Maschinenlabor.....	96
A.2	Inbetriebnahmewerte	96
A.3	Instruktionen für das Anfahren/Abschalten der Philipsanlage	97
A.4	R&I-Schema Kaltwassersatz	98
A.5	Sicherheitsdatenblatt R134a	99
A.6	Kältemittelfüllprotokoll	101
A.7	Prüfbescheinigung	102
A.8	IB-Protokoll.....	103
A.9	Bescheinigung der Druckfestigkeitsprüfung.....	104
A.10	Bescheinigung der Prüfung der SI-Schalteinrichtung zur Druckbegrenzung.....	105
A.11	Bescheinigung der Dichtheitsprüfung	106
A.12	Übergabe-Bescheinigung	108
A.13	Sicherheitsdatenblatt Helium	114
A.14	Zeichnung des Stahlbaus	115
A.15	Detaillierte Kostenübersicht.....	116
A.16	Schaltplan	117
A.17	Spendentafel	124

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1–1:	Luftverflüssigungsanlage auf der Weltausstellung in Paris, Frankreich (1900).....	2
Abbildung 1–2:	Schema Linde- Verfahren.....	3
Abbildung 1–3:	Weltweit erste Luftzerlegungssäule zur Sauerstoffgewinnung.....	4
Abbildung 1–4:	Luftzerlegungsanlage für das Pearl GTL Projekt in Ras Laffan, Katar	5
Abbildung 1–5:	Robert Stirling	7
Abbildung 1–6:	Stirlingmotor von 1818.....	8
Abbildung 1–7:	Stromaggregat für Rundfunkempfänger (Fa. Philips)	9
Abbildung 2–1:	Schematisches t,x – Diagramm von Luft bei atmosphärischem Druck .	11
Abbildung 2–2:	Prinzipschema der Gesamtanlage (vereinfacht)	12
Abbildung 2–3:	Schnitt durch die Kolonne (vereinfacht).....	13
Abbildung 2–4:	Schnitt Kolonne mit Böden	14
Abbildung 2–5:	Schematische Darstellung der Kolonne anhand des t,x – Diagramm ($p=\text{konst}$)	15
Abbildung 2–6:	i,x - Bild des Gemisches Stickstoff-Sauerstoff nach Bosnjakowic[7].....	16
Abbildung 2–7:	Schnitt der Kaltgasmaschine (o. Kopf & Regenerator)	18
Abbildung 2–8:	Schnitt durch den Kondensatorkopf.....	19
Abbildung 2–9:	Ausgangsstellung des Kaltgas-Arbeitsprozesses	20
Abbildung 2–10:	Phase 1 des Kreisprozesses	20
Abbildung 2–11:	Phase 2 des Kreisprozesses	21
Abbildung 2–12:	Phase 3 des Kreisprozesses	22
Abbildung 2–13:	Phase 4 des Kreisprozesses	22
Abbildung 2–14:	Arbeitsabläufe des Kaltgaskreisprozesses	24
Abbildung 2–15:	Produktionsmengen an LN_2 in dm^3 bei verschiedenen Betriebsbedingungen.....	25
Abbildung 3–1:	Erste Aufstellung mit Wandplatzhalter	27
Abbildung 3–2:	Kältekreislauf des Kaltwassersatzes im $\log p,h$ Diagramm	29
Abbildung 3–3:	Vergleich zum Sauggaswärmeübertrager im $\log p,h$ Diagramm.....	30
Abbildung 3–4:	Nomogramm, Geschwindigkeiten in Rohrleitungen für R 134a.....	33
Abbildung 3–5:	Dichte von Fuchs Triton SEZ32 / R134a Gemischen.....	34
Abbildung 3–6:	Aufstellungsvorschlag der Fa. Philips.....	37
Abbildung 3–7:	Aufstellung der Gaskältemaschine im Querschnitt	37
Abbildung 4–1:	Allgemeiner Aufbau einer SPS.....	39
Abbildung 4–2:	Zyklen eines Anwenderprogramms	40
Abbildung 4–3:	Module der SPS.....	41

Abbildung 4-4:	Anwenderprogramm: Störmeldungen	43
Abbildung 4-5:	Anwenderprogramm: Freigabe Kaltwassersatz	45
Abbildung 4-6:	Anwenderprogramm: Freigabe Kryogenerator	46
Abbildung 4-7:	Anwenderprogramm: Analoge Eingänge	47
Abbildung 4-8:	Lineare Umwandlung	49
Abbildung 4-9:	Anwenderprogramm: analoge Ausgänge	49
Abbildung 4-10:	Messwerterfassung	51
Abbildung 4-11:	Fehlererfassung	52
Abbildung 4-12:	Betriebsstundenzähler	53
Abbildung 4-13:	dbLog Filer	54
Abbildung 4-14:	Excel Makro	55
Abbildung 5-1:	Gesamtansicht	56
Abbildung 5-2:	Das Kontaktmanometer im Ausgangszustand	57
Abbildung 5-3:	Das Kontaktmanometer nach der Restauration	57
Abbildung 5-4:	Anschließen des Verflüssigers	58
Abbildung 5-5:	Anschließen des Verflüssigers 2	58
Abbildung 5-6:	Befestigung des Sammlers	59
Abbildung 5-7:	Kaltwassersatz im Aufbau	59
Abbildung 5-8:	Evakuierung des Systems	60
Abbildung 5-9:	Gesamtanlage im Aufbau	60
Abbildung 5-10:	Verdrängerkolben im Ausgangszustand	61
Abbildung 5-11:	Gereinigter Ölfilter	61
Abbildung 5-12:	Erster Abkühlungstest ($T \sim 120K$)	62
Abbildung 5-13:	Erste Produktion von LN_2	62
Abbildung 5-14:	Geöffneter Kondensatorkopf 1	63
Abbildung 5-15:	Geöffneter Kondensatorkopf 2	63
Abbildung 5-16:	Verlegung des Rohrsystems	64
Abbildung 5-17:	Verlegung und Dämmung des Rohrsystems	64
Abbildung 5-18:	Guss der Betonplatte (Zuschneiden der Gummiplatte)	65
Abbildung 5-19:	Guss der Betonplatte (Schalung mit PE Folie)	65
Abbildung 5-20:	Guss der Betonplatte (Beton mit Drahtmatte)	66
Abbildung 5-21:	Guss der Betonplatte (fertig abgezogen)	66
Abbildung 5-22:	Verdichter mit Instrumententafel	67
Abbildung 5-23:	Wasserpumpe mit Massestromzähler	67
Abbildung 5-24:	Verdampfer, innerer Wärmeübertrager, Instrumententafel und Massestromzähler	68

Abbildung 5–25:	Verflüssiger mit Sammler	68
Abbildung 5–26:	Schaltschrank Außenansicht	69
Abbildung 5–27:	Schaltschrank Innenansicht.....	69
Abbildung 5–28:	Philipsmaschine mit Motor und Warmblasegerät.....	70
Abbildung 5–29:	Kontaktmanometer	70
Abbildung 5–30:	Kolonnen mit Dewargefäß	71
Abbildung 5–31:	Kolonnen mit Wasserkreis der Dampfblasenpumpe.....	71
Abbildung 6–1:	Übersicht über das Projektbudget des Projektes	72
Abbildung 6–2:	Kostenaufstellung des Projektes.....	73
Abbildung 7–1:	Magnetfeldlinien oberhalb der Sprungtemperatur.....	87
Abbildung 7–2:	Magnetfeldlinien unterhalb der Sprungtemperatur.....	87
Abbildung 7–3:	Phosphoreszenz	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Technische Daten der PW 7050.....	17
Tabelle 2-2:	Technische Daten der Kaltgasmaschine	23
Tabelle 3-1:	Auswahl der Kühlwasserrückkühlung mit Vor/und Nachteilen.....	26
Tabelle 3-2:	Auslegungsnennpunkt der Kaltwasseranlage.....	28
Tabelle 3-3:	Theoretische Prozesspunkte der Kaltwasseranlage	29
Tabelle 3-4:	Vorauswahl der Kältemittelleitungen.....	32
Tabelle 7-1:	Farbänderung einiger Stoffe beim Abkühlen	82

Formelzeichen und Indizes

Bemerkung:

Für alle Formeln sind, sofern nicht anders im Text erwähnt, SI-Einheiten verwendet worden. Um Mehrdeutigkeit zu vermeiden sind in Tabellen und Diagrammen die angewandeten Einheiten explizit für alle Werte angegeben.

Formelzeichen	Bedeutung	SI-Einheit
\dot{Q}	Wärmestrom, Wärmeleistung	W, J/s
\dot{V}	Volumenstrom	m ³ /s
\dot{m}	Massestrom	kg/s
A	Fläche	m ²
d	Durchmesser	m
g	Erdbeschleunigung	m/s ²
h	spezifische Enthalpie	J/kg
n	Stoffmenge	mol
p	Druck	Pa
q	spezifische Verdampfungsleistung (massenstrombezogene Kälteleistung)*	J/kg
R	spezielle Gaskonstante	J/molK
s	spezifische Entropie	J/kgK
T	thermodynamische Temperatur	K
t	Celsiustemperatur $t = T - 273,15 \text{ K}$	°C
V	Volumen	m ³
v	spezifisches Volumen	m ³ /kg
w	spezifische Verdichtungsarbeit (massenstrombezogene Leistung)*	J/kg
w	Geschwindigkeit	m/s

x	Dampfanteil	kg/kg
ΔT	Temperaturdifferenz	K
λ	Liefergrad (Ausnutzungsgrad)* des Verdichters	-
ρ	Spezifische Dichte	kg/m ³

*) Der jeweilige erstgenannte Begriff ist gebräuchlich, der in der Klammer aufgeführte thermodynamisch korrekt.

Indizes

o	Verdampfung
'	Zustand der gesättigten Kältemittelflüssigkeit (linke Grenzkurve)
''	Zustand des gesättigten Kältemitteldampfes (rechte Grenzkurve)
ab	abgegeben
c	Verflüssigung
el	elektrisch
max	maximal
mech	mechanisch
min	minimal
oh	Überhitzung
s	Isentrop
saug	Saugzustand
th	theoretisch
uk	Unterkühlung

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
BFS	Bundesfachschule Kälte-Klima-Technik
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DRP	Deutsches Reichspatent
DX	Trockene Verdampfung
ESaK	Europäische Studienakademie Kälte-Klima-Lüftung
FH	Fachhochschule
HS	Hochschule
iWÜ	innerer Wärmeübertrager
KP	Kritischer Punkt
LN ₂	Flüssigstickstoff
LO ₂	Flüssigsauerstoff
log p,h	logarithmisch Druck, Enthalpie
OT	Oberer Totpunkt
PS	Pferdestärke
R+I	Rohrleitung und Instrumente
UT	Unterer Totpunkt
WIG	Wolfram Inert Gasschweißen

Danksagung

Herrn Herbert Kaulbach auf dessen Anregung sowie dem Verein für Historische Kälte und Klimatechnik e.V. (HKK), mit dessen Unterstützung durch eine Sach- und Geldspende die vorliegende Arbeit entstand und Herrn Manfred Seikel, dem Geschäftsführer der Bundesfachschule Kälte-Klima-Technik sowie der Europäischen Studienakademie Kälte-Klima-Lüftung Maintal, in dessen Räumlichkeiten die Arbeiten stattfanden, danken wir hiermit für die Ermöglichung dieser Arbeit.

Ferner möchten wir Herrn Prof. Dr.-Ing. H.-R. Engelhorn für die kritische Durchsicht unseres Berichtes sowie für seinen Rat und seine Unterstützung danken.

Weiterer Dank gilt den Herren Prof. Dr.-Ing. S. Engelking, Prof. Dr.-Ing. M. Arnemann, Dr.-Ing. Dominik Cibis, Dipl.-Ing. V. Otto, R. Brüderl sowie R. Hess und G. Büttner, die uns ebenfalls durch Rat und Beihilfe an der Entwicklung und Ausführung unserer Arbeit unterstützten.

Diese Arbeit wurde aus den Mitteln der BFS/ESaK Stiftung finanziert.

Weitere finanzielle Unterstützung durch kostenlose Lieferung von Apparaten, Maschinen, Materialien und Messinstrumenten leisteten folgende Firmen:

Alfa Laval Mid Europe Glinde, Badgermeter Europa GmbH Neuffen, Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH Sindelfingen, Berleburger Schaumstofftechnik Berleburg, Carrier Kältetechnik Deutschland GmbH Köln, Danfoss Kältetechnik Offenbach, Elektro Engels+Schmitz Wesseling, Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH Mannheim, Güntner AG & Co. KG Fürstenfeldbruck, Heidinger Kühlsysteme Mühlacker, Hellmann Kälteanlagenbau Rheinzabern, Kratschmayer GmbH Kupferzell, Saia-Burgess Control Systems and Components Neu-Isenburg, Spoerck Klimatechnik Marburg, Teko Kältetechnik Altstadt, Westfalen AG Münster, Wilo SE Dortmund und Zenergy-Power Rheinbach.

Abschließend möchten wir all jenen, im Besonderen den Herren S. Pfeifer und J. Fessler, danken, die uns während unserer Arbeit durch ihr Mitwirken tatkräftig unterstützt haben.

Hellmann Sascha, Kluge Micha, Schiener Andreas
Maintal, Dezember 2010

Einleitung

In der hier vorliegenden Arbeit sind die Gedanken und die Arbeit niedergeschrieben, die zur Restauration der Philips Kaltgasmaschine getätigt wurden. Die Aufgabe war es, aus einem restaurierungsbedürftigen, schon sehr lange eingelagerten Kryogenerator wieder eine voll funktionsfähige Anlage zu schaffen. Es wurde weiterhin darauf Wert gelegt, da es sich um eine Restaurierung einer historischen Anlage handelte, nach dem Motto „Das Erbe von Gestern mit der Technik von Heute“ zu arbeiten. So wurde der Kryogenerator selbst weitestgehend historisch restauriert. Wo es allerdings sinnvoll, ökologisch und energetisch angebracht erschien, wurde die Anlage mit dem heutigen Stand der Technik ergänzt.

Hiervon ausgehend gliedert sich die nachfolgende Arbeit in 8 Hauptabschnitte:

In **Kapitel 1** ist die Geschichte der Gasverflüssigung aufgezeigt. Es wird dabei speziell auf das derzeit gebräuchlichste Verfahren eingegangen, welches von Linde [2] für die kommerzielle Verwendung erfunden und permanent bis zur heutigen Reife weiterentwickelt wurde. Im nachfolgenden **Kapitel 2** wird der innere Prozess der Philipsmaschine sowie der Gaszerlegungskolonnen erläutert und Ansatzpunkte für eine Verbesserung aufgezeigt. Ebenso sind hier die konstruktiven Merkmale dargelegt und der Verwendungszweck erörtert. **Kapitel 3** zeigt die Vorüberlegungen, welche zur Berechnung und zum Bau des Kaltwassersatz dienen. Hier wird zudem eine detaillierte Betrachtung zum Einsatz eines inneren Wärmeübertragers getätigt. Weiterhin werden in **Kapitel 4** die Überlegungen, welche zur Entwicklung einer eigens für die Anlage konzipierten Steuerung aufgezeigt und die Steuerung der gesamten Anlage erklärt sowie verschiedene Messmöglichkeiten dargestellt. **Kapitel 5** dient hauptsächlich als Bildergalerie und zeigt den Aufbau der Gesamtinstallation sowie einzelne Bauteile im Detail. Im anknüpfenden **Kapitel 6** sind das Budget und der Kostenplan der Restauration und der Gesamtanlage in den einzelnen Anlagenkomponenten angegeben. **Kapitel 7** befasst sich mit den Versuchsmöglichkeiten mit flüssigem Stickstoff und soll als Anregung dienen im Labor verschiedene Versuchsdurchführungen aufzubauen. Letztlich zeigt **Kapitel 8** die Schlussfolgerung dieser Arbeit und gibt einen Ausblick auf die weiteren Herausforderungen nachfolgender Semester.

Die Kapitel 1.1, 1.2, 2, 3, 5 und 6 wurden von Sascha Hellmann, Kapitel 1.3, 1.4, und 7 von Micha Kluge, das Kapitel 4 von Andreas Schiener bearbeitet.

1 Die Geschichte der Luftverflüssigung

1.1 Die Luftverflüssigung von Carl von Linde

Als Carl v. Linde sich im Jahre 1889 [3] dazu entschloss nach seiner unternehmerischer Tätigkeit im Vorstand der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen, wieder mehr der Forschung zu widmen, kehrte er an die Technische Hochschule München zurück. Dort forschte er verstärkt an Technologien der tiefen Temperaturen und entwickelte im Jahre 1895 den ersten Luftverflüssigungsapparat für größere Mengen. In Jahre 1900 bekam Lindes Luftverflüssigungsmaschine bei der Weltausstellung in Paris den Grand Prix, den begehrtesten Preis der Ausstellung (Abbildung 1-1).

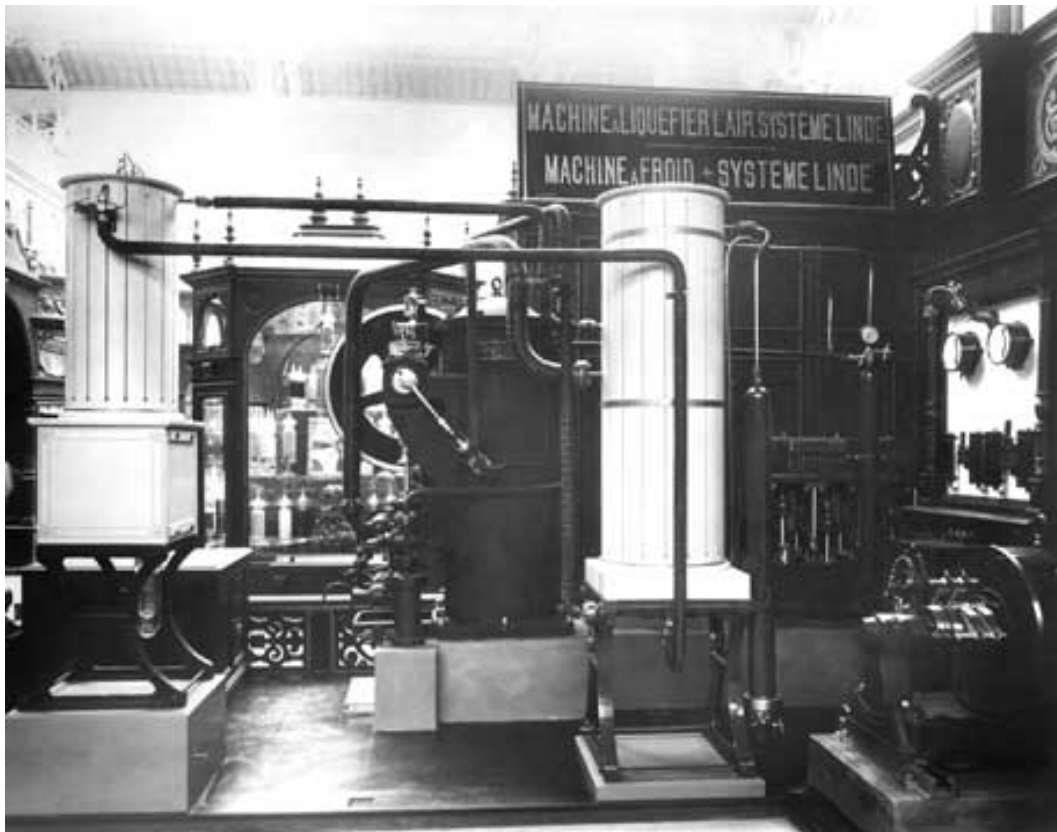


Abbildung 1-1: Luftverflüssigungsanlage auf der Weltausstellung in Paris, Frankreich (1900)

Quelle: Linde AG, Pullach

Zur Erzeugung flüssiger Luft muss man selbige auf ca. minus 190° Celsius abkühlen. In der, in Abbildung 1-1 sowie im dazugehörigen Schema abgebildeten Anlage (Abbildung 1-2) wird das dadurch erreicht, dass man die Luft nach der Kompression zuerst kühlt, um sie dann zu expandieren. Die dadurch gewonnene Entspannungsenergie wurde wiederum auf die

komprimierte vorgekühlte Luft übertragen. Dieser Prozess addiert schließlich sukzessiv die je Umlauf abgegebene Wärmemenge, bis flüssige Luft entsteht, die in einem Sammelgefäß aufgefangen wird.

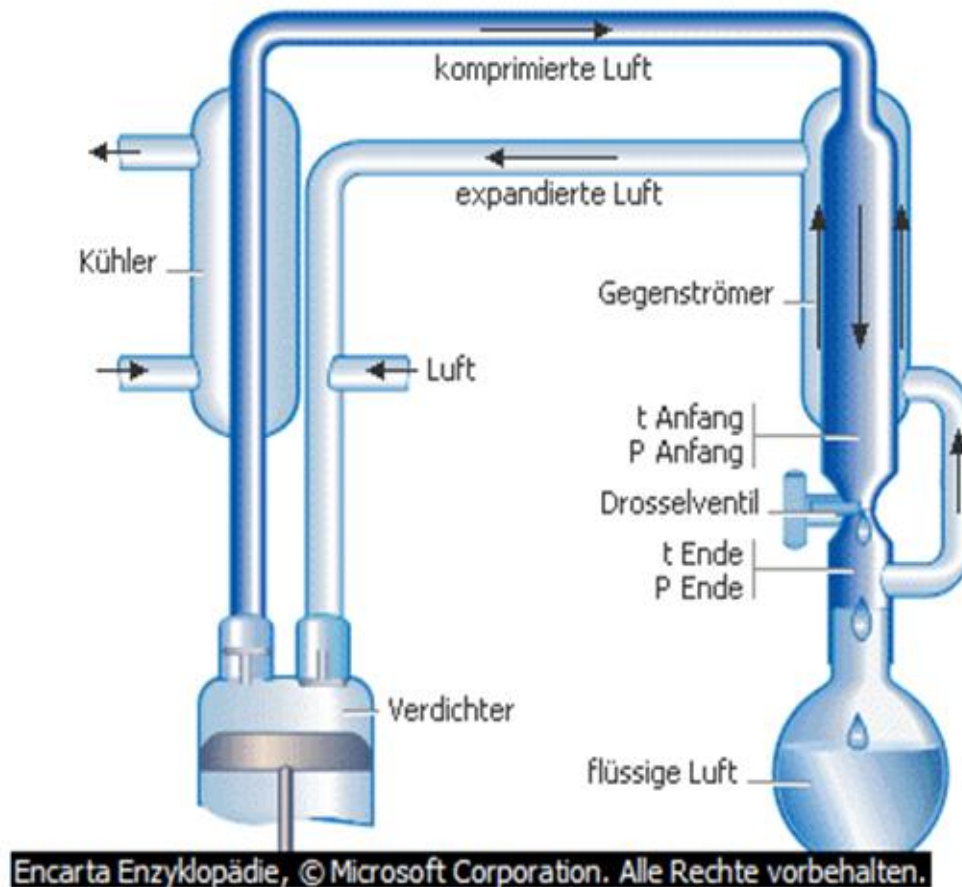


Abbildung 1–2: Schema Linde- Verfahren

Quelle: Microsoft, Encarta

Die Luftverflüssigung dauerte ursprünglich 15 Stunden. Nach einigen Verbesserungen konnte man den Prozess auf eine Stunde und schließlich auf 15 Minuten beschleunigen (vgl. [2]).

1.2 Die Verwendung flüssiger Luft früher und heute

Die Wirtschaftliche Anwendung brachte die Verflüssigung von Luft mit dem Fraktionierungsverfahren. Mit Hilfe dessen gelang es die Luft in ihre einzelnen Bestandteile zu

trennen. Hierfür werden die unterschiedlichen Siedepunkte von Stickstoff und Sauerstoff genutzt. Es konnte so ein Großteil des Stickstoffs aus der Luft abgetrennt werden. So entstand ein sauerstoffreiches Gemisch mit 50% Sauerstoffanteil, die so genannte "*Linde-Luft*".

Anwendung fand dies beispielsweise 1907 im Gemisch mit Petroleum als Sprengstoff „Oxiliquit“



und wurde beispielsweise beim Bau des Schweizer „Simplontunnels“ eingesetzt. Ein wesentlich größerer Bedarf bestand für reinen Sauerstoff, der unter anderem für das autogene Schweißen und Schneiden in der Metallverarbeitung eingesetzt wird. Die Herstellung von reinem Sauerstoff gelang Linde schließlich im Jahre 1902 mittels Rektifikation (Abbildung 1-3). Dabei rieselt die flüssige Luft eine Röhre hinunter und trifft auf den aufsteigenden Stickstoffdampf. Im fortlaufenden Prozess von Verflüssigung und Verdampfung, also permanenter Destillationen, entsteht Sauerstoff fast beliebiger Reinheit. Die Luftverflüssigungs- und die Zerlegungsanlage konnten schließlich in einer Apparatur zusammengefasst werden. Die erste Produktionsanlage dieser Art ging 1903 in Höllriegelskreuth bei München in Betrieb und wurde dort viele Jahre lang zur Gasgewinnung genutzt.

Abbildung 1–3: Weltweit erste Luftzerlegungssäule zur Sauerstoffgewinnung

Quelle: Linde AG, Pullach

Im Jahre 1903 wandelte Linde das Rektifikationsverfahren auf Anregung der Wissenschaftler Adolph Frank und Nikodem Caro so ab, dass reiner Stickstoff hergestellt werden konnte. Dieser wurde zur Herstellung von Düngemitteln benötigt. Bis 1910 entwickelte das Unternehmen schließlich einen "Zweisäulenapparat", der gleichzeitig reinen Sauerstoff und reinen Stickstoff zu niedrigen Kosten lieferte. Mit weiteren modifizierten Trennverfahren konnten schließlich auch Edelgase, vor allem Argon, aus der Luft gewonnen werden. Diese Edelgase werden

beispielsweise als Schutzgas für die Füllung von Glühlampen und im Fall von Argon überwiegend im WIG Verfahren genutzt.

Während die Leistung der Anlagen im Jahre 1902 bei fünf Kilogramm Sauerstoff pro Stunde lag, liefert eine moderne Anlage, beispielsweise die Luftzerlegungsanlage „Pearl“ (Abbildung 1-4) in Katar, 1.250.000 Kilogramm Sauerstoff in der Stunde.



Abbildung 1–4: Luftzerlegungsanlage für das Pearl GTL Projekt in Ras Laffan, Katar

Quelle: Linde AG, Pullach

1.3 Entwicklung der Gasverflüssigung

- 1862 **W. THOMSON** und **J.P. JOULE** stellen eine Abkühlung der Luft bei Drosselung fest
- 1877 Verflüssigung von Sauerstoff, Stickstoff und anderer „permanenter“ Gase durch **LOUIS CAILLETET** und **RAOUL PICTET**.
- 1883 **KAROL OLSZEWSKI** und **ZYKMUNT WROBLEWSKI** verflüssigten Luft im Labormaßstab an der Uni Krakau.
- 1898 **CARL von LINDE** entwickelt und baut die erste Luftverflüssigungsmaschine mit Entspannung durch Drosselung, das Verfahren wird als DRP 88 824 angemeldet.
- 1902 **G. CLAUDE** stellt flüssige Luft durch Entspannung in einem Expansionszylinder her
- 1902 **CARL von LINDE** trennt flüssige Luft in Sauerstoff und Stickstoff durch Rektifikation – Sauerstoffgewinnung.
- 1904 Erste Luftzerlegungsanlage zur Stickstoffgewinnung.
- 1910 Erste Luftzerlegungsanlage mit Doppelsäulenrektifikations – Verfahren entwickelt von Carl von Linde.
- 1930 Entwicklung des Linde – Fränkl Prozesses für Luftzerlegungsanlagen.
- 1946 Firma Philips entwickelt erste Gaskältemaschine
- 1955 Bau der Gaskältemaschine durch die Firma PHILIPS

1.4 Die Geschichte des Kryogenerators

Die Geschichte des Kryogenerators findet ihren Ursprung in der Entwicklung des Stirling Motors. Zur Zeit um 1800 war die Dampfmaschine die am meisten eingesetzte Antriebsmaschine. Zu dieser Zeit waren Kesselexplosionen bei Dampfmaschinen, aufgrund zu hohen und nicht richtig kontrollierbaren Drücken, relativ häufig. Man konnte in England fast wöchentlich von solchen Explosionen in Erz- und Kohlegruben lesen, welche meist tödliche

Unfälle nach sich zogen. Im Jahr 1816 meldete Robert Stirling (vgl. Abbildung 1-5), damals 26 Jahre alt, den ersten Stirlingmotor zum Patent an.

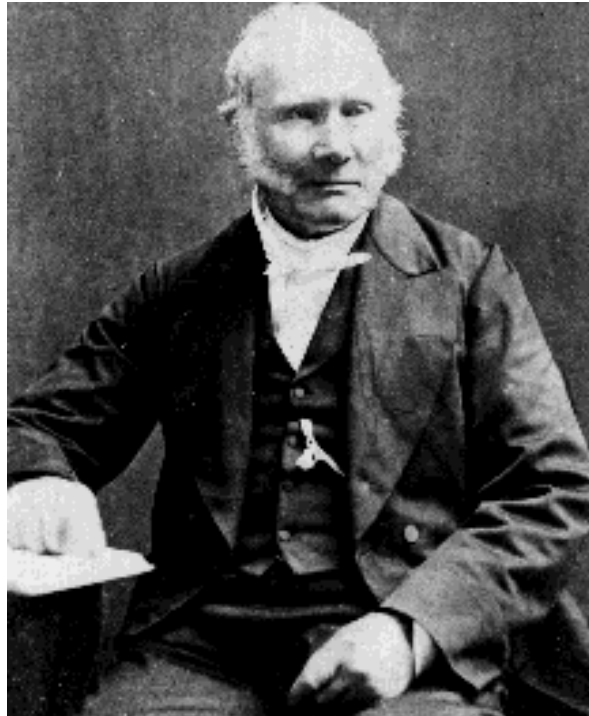


Abbildung 1–5: Robert Stirling

Robert Stirling stammte aus einer sehr innovativen Familie. Sein jüngerer Bruder James wurde ein bekannter Ingenieur und war bei der Weiterentwicklung der Stirlingmaschine maßgebend beteiligt. Robert Stirling wurde 1770 in Schottland geboren, studierte zunächst Latein, Griechisch, Logik und Mathematik. Anschließend beschloss Robert Stirling Priester zu werden, studierte noch Theologie und Rechtswissenschaften und wurde im Jahr 1816, das Jahr der Patentanmeldung, zum Priester geweiht.

Der erste Stirlingmotor wurde 1818 in mehreren Stufen gebaut und für den Antrieb einer Wasserpumpe im Bergbau eingesetzt. Erst nach zwei Jahren soll der heiße Teil des Motors durchgebrannt sein. Die von Robert Stirling entwickelte Maschine, siehe Abbildung 1-6, war nicht nur die erste Heißluft-Maschine, die mit einem völlig geschlossenen Kreislauf arbeitete, sondern stellte auch von der Konstruktion her ein heute noch bevorzugtes Design dar. Der Zylinder der Maschine war etwa drei Meter hoch und hatte einen Durchmesser von 60 Zentimeter. Sie lieferte eine Leistung von circa 1,5 kW.

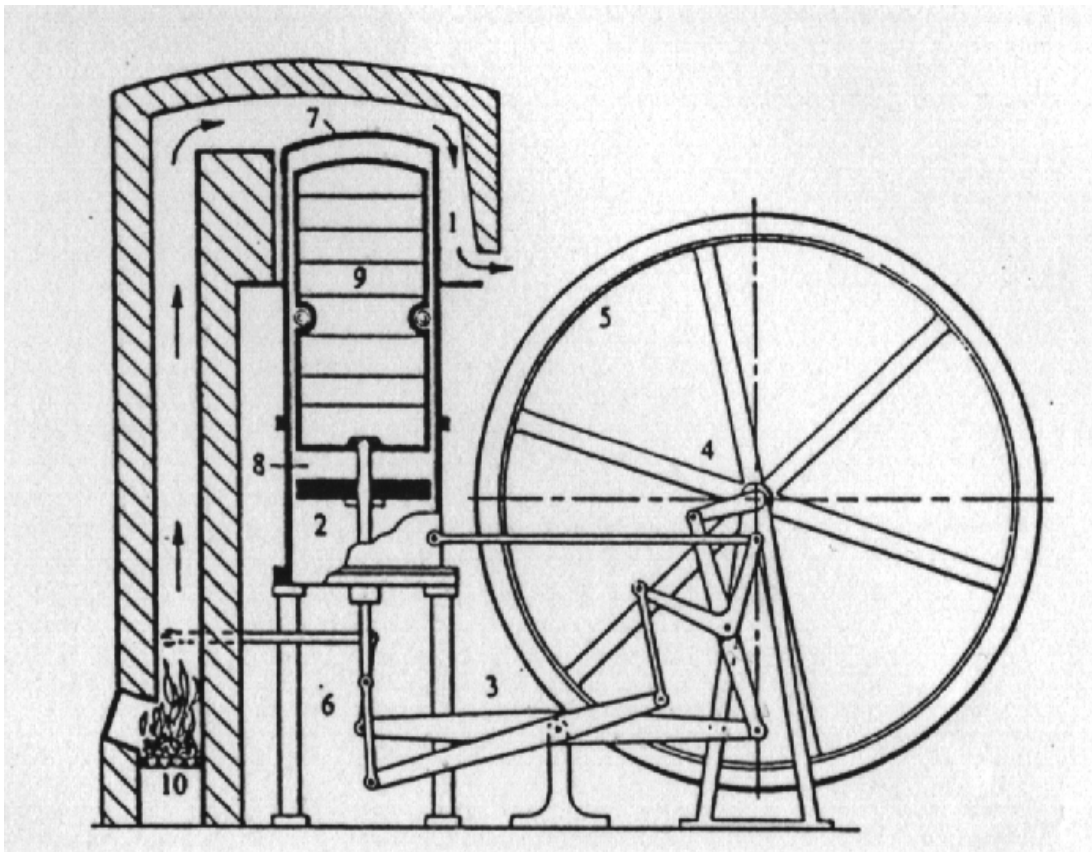


Abbildung 1–6: Stirlingmotor von 1818

Auch wenn diese Maschine befriedigende Resultate lieferte, so war sie doch sehr groß und schwer. Stirling erkannte, dass sie für die meisten Anwendungen nicht ausreichte. Es war sein Bruder James, der 1824 auf die Idee kam, durch die Erhöhung des Innendrucks der Maschine die Leistung zu erhöhen. Die beiden Brüder entwickelten und patentierten mehrere Maschinen. Die wohl berühmteste ist die aufladbare, doppelwirkende Stirlingmaschine, die bei einem Innendruck von 10 bis 16 bar 37 PS lieferte. Diese Maschine erreichte zum ersten Mal einen höheren Wirkungsgrad als alle damals bestehenden Dampfmaschinen. Die Materialprobleme jedoch blieben bestehen. So musste in regelmäßigen Abständen die Zylinderköpfe getauscht werden, da diese den hohen Temperaturdifferenzen nicht standhielten. Aufgrund dieser Probleme wurden die meisten Stirlingmotoren wieder durch betriebssichere Dampfmaschinen ersetzt. 1920 verschwand der Stirlingmotor dann fast komplett von der Bildfläche, als die Elektro und Otto- sowie Dieselmotoren zur Serienreife entwickelt wurden.

Im Jahre 1938 griff die Firma Philips Industries in Eindhoven in ihrem Forschungslaboratorium die Idee von Robert Stirling wieder auf und begann den Motor weiterzuentwickeln. Für die im Hause Philips produzierten Rundfunkempfänger sollte ein durch Wärme angetriebenes Stromaggregat gebaut werden, um diese auch in Teilen der Welt verwenden zu können, in denen

kein Stromversorgungsnetz vorhanden, jedoch der benötigte Brennstoff leichter erhältlich als Batterien war. Abbildung 1-7 zeigt ein solches Aggregat wie es damals von der Fa. Philips vertrieben wurde.



Abbildung 1–7: Stromaggregat für Rundfunkempfänger (Fa. Philips)

Der tragbare Generator wurde mit Kerosin betrieben und hatte eine Ausgangsleistung von etwa 200 Watt. Der Wirkungsgrad war mit ca. 10 % noch ziemlich gering. Zu einer Serienproduktion ist es nie gekommen da zu dieser Zeit die Transistorradios erfunden wurden und somit die Radios mit kleinen Batterien betrieben werden konnten. Die Firma Philips jedoch verbesserte und entwickelte an dem Prinzip Stirling weiter.

2 Der Philips Kryogenerator

Die Bezeichnung Philips-Kryogenerator setzt sich aus dem Namen der damaligen Firma sowie der Bezeichnung „Kryogenerator“ zusammen. Ein Kryogenerator ist eine mit Helium oder Wasserstoff gefüllte Stirlingmaschine, die durch das abwechselnde Verdichten und Expandieren dieses Arbeitsgases sehr tiefe Temperaturen erreicht. Zweck der Anlage ist es, aus atmosphärischer Luft flüssige Luft oder mittels Rektifikation flüssigen Stickstoff zu erzeugen (vgl. [4],[5]). Diese Anlage unterscheidet sich gegenüber anderen Anlagen vor allem dadurch, dass keine Kompression der Luft stattfindet. Die physikalischen Grundlagen sowie die Funktion und der Aufbau sollen nun näher erläutert werden.

2.1 Die physikalische Grundlage der Gasverflüssigung

Bestimmt man bei konstantem Druck den Siedepunkt einer Reihe von Gemischen, in diesem Fall von flüssiger Luft (Stickstoff und Sauerstoff) und bestimmt man ferner den Taupunkt, d.h. diejenige Temperatur bei der das Gemisch durch Abkühlen kondensiert so zeigt sich bei zeotropen Gemischen, dass diese beiden Punkte nicht gleich sind. In der Regel liegt jedoch der Taupunkt stets höher als der Siedepunkt, so auch im Falle von flüssiger Luft. Im t_x -Diagramm (Abbildung 2-1) bilden die, den verschiedenen Zusammensetzungen zugeordneten, Taupunkte die Taulinie, während die Siedepunkte die Siedelinie bilden .

Wenn Dampf und Flüssigkeit im Gleichgewicht stehen (t und $p = \text{konst.}$) enthält der Dampf mehr Stickstoff als die Flüssigkeit. Fügt man daher ein siedendes Flüssigkeitsgemisch mit einem gesättigten Dampfgemisch gleicher Zusammensetzung zusammen, so ist die Flüssigkeit kälter als der Dampf. Folglich tendiert der Dampf in die Oberfläche der kälteren Flüssigkeit zu kondensieren. Dieses Phänomen ist bei flüssiger Luft sehr groß, da die Spreizung zwischen der Kondensationstemperatur von Stickstoff und Sauerstoff etwa 13 K beträgt [6] bis kein Temperaturgradient mehr besteht.

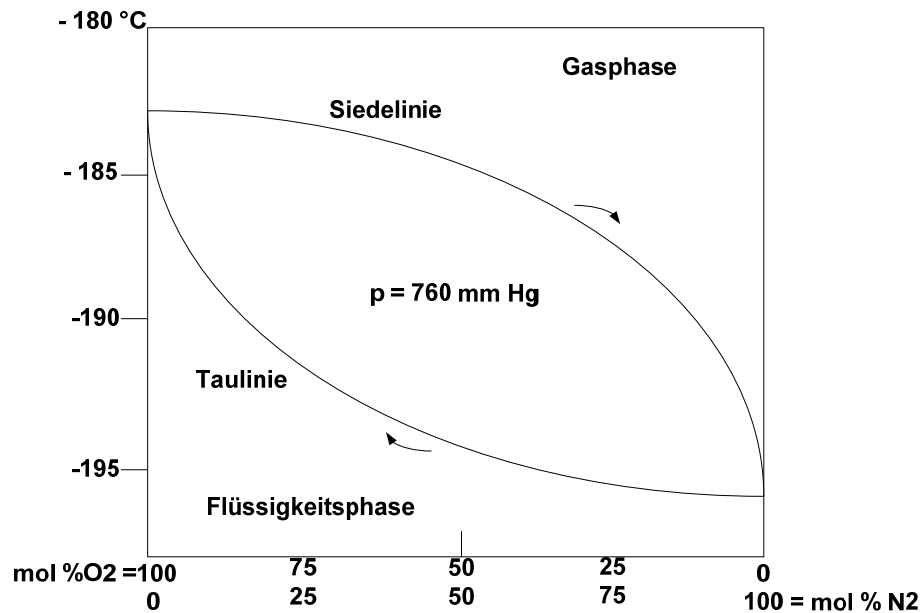


Abbildung 2-1: Schematisches t,x – Diagramm von Luft bei atmosphärischem Druck

Die Folge davon ist nun, wie bereits eingangs erwähnt, dass der Dampf mehr Stickstoff und die Flüssigkeit mehr Sauerstoff enthält. Welcher Endzustand hierbei erreicht wird hängt vom Verhältnis ab, mit denen der Prozess beginnt. Ebenso kann man einen bestimmten Zustand zudem erreichen, wenn man von ungleicher Zusammensetzung ausgeht. Hierbei wird der Dampf mit Stickstoff, die Flüssigkeit mit Sauerstoff angereichert.

Diesen Effekt kann man sich nun zu Nutze machen, um die Luft in ihre einzelnen Bestandteile zu zerlegen. Im hier gezeigten Fall geschieht dies in der sog. Gaszerlegungskolonne oder auch Rektifikationssäule.

2.2 Aufbau und Funktion

In diesem Abschnitt sollen nun die Funktionen der Hauptkomponenten erklärt werden. Zum besseren Verständnis geschieht dies in zwei Teilen. Die Gaszerlegungskolonne, welche die flüssige Luft trennt und dadurch Stickstoff liefert und die Kaltgasmaschine, welche solch tiefe Temperaturen erzeugt, dass hierbei die Hauptbestandteile der Luft kondensieren (siehe Abbildung 2-2).

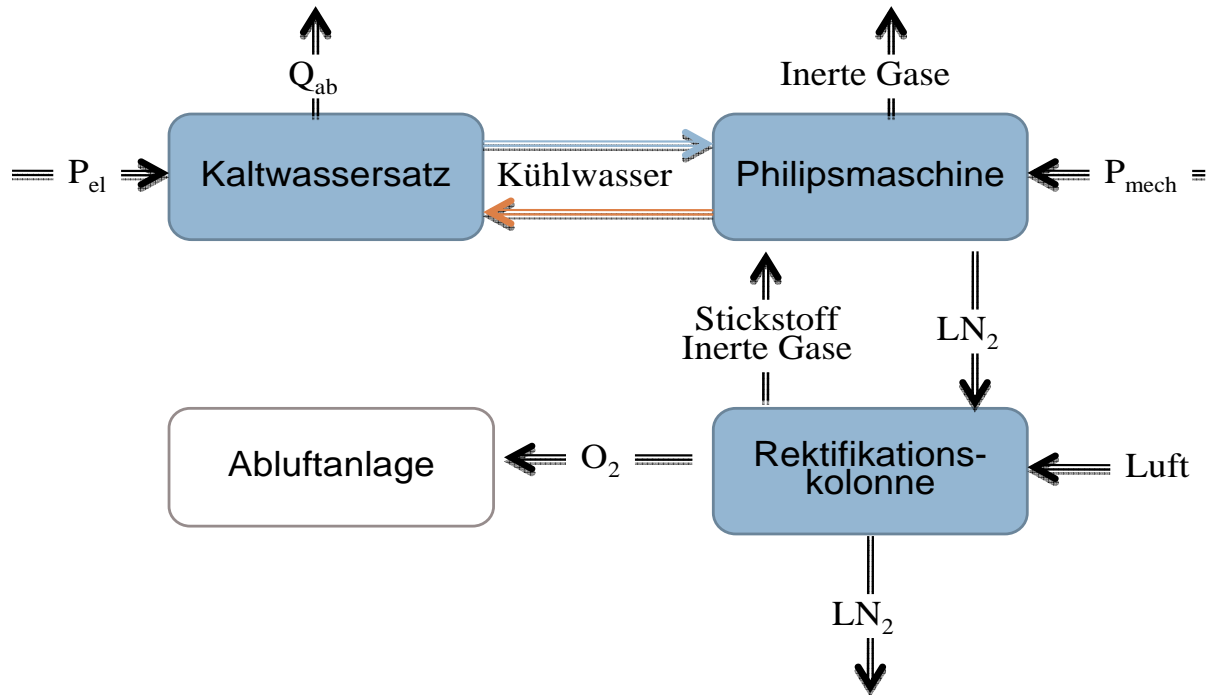


Abbildung 2–2: Prinzipschema der Gesamtanlage (vereinfacht)

Die Wärmemenge, die der Luft hierbei entzogen wird sowie die mechanische Leistung der Kaltgasmaschine wird hierbei an einen Kaltwassersatz abgegeben. Anhand der Abbildung 2-2 sei nunmehr das der Anlage zugrunde liegende Schema besprochen. Dessen Funktion wird erst durch die Kaltgasmaschine, der Kolonne sowie dem Kaltwassersatz gegeben ist. Dem Prozess zugeführt wird Luft, abgeführt werden gasförmiger unreiner Sauerstoff sowie flüssiger Stickstoff und inerte Gase.

2.2.1 Die Gaszerlegungskolonne

Wie bereits zuvor beschrieben, wird eine Gaszerlegungskolonne genutzt, um aus flüssiger Luft nahezu reinen Stickstoff zu gewinnen. Die Abbildung 2-3 zeigt eine solche im Schnitt. Diese Kolonne besteht im Wesentlichen aus einem vertikalen Rohr (1). Im Kolonnensumpf (2) befindet sich nahezu reiner flüssiger Sauerstoff, welcher über das Rohr (3) zufließt. Ein gewisser Teil des Sauerstoffes wird gasförmig der Kolonne wieder zugeführt (4). Ein warmer Kupferstift (13) taucht in das Sauerstoffbad ein, die Wärme wird hierbei über den Anschluss (12) bereitgestellt. Hierdurch regelt sich der Stand in der Kolonne automatisch. Sinkt der Sauerstoffstand, geht mehr Wärme über (12) zur Dampfblasenpumpe (11) welche somit den

Stoffstrom (8) über die Kolonne erhöht und mehr Sauerstoff im Sumpf, entsteht. Steigt der Stand im Sumpf geschieht selbiges umgekehrt. Die benötigte Wärme wird durch einen Wasserkreis bereitgestellt. Der überwiegende Teil an Sauerstoff wird gasförmig an der Kolonne abgeblasen. Dieser gasförmige Sauerstoffanteil entsteht dadurch, dass die zuströmende Luft (a-a) zuerst mit flüssigem Sauerstoff vorgekühlt und am Gasesieb gereinigt (Wasserdampf, Kohlendioxid) wird, wobei der Sauerstoff verdampft. Das nahezu reine Stickstoffgas im Kopf der Kolonne wird über (6) der Kaltgasmaschine zugeführt, verflüssigt und läuft über den gleichen Anschluss zurück in den Stickstoffsumpf. Hierbei wird, wie bereits erwähnt, ein Teil in die Kolonne zurückgeführt. Der Großteil jedoch wird über einen Siphon (10) zur Nutzung ausgeleitet (a).

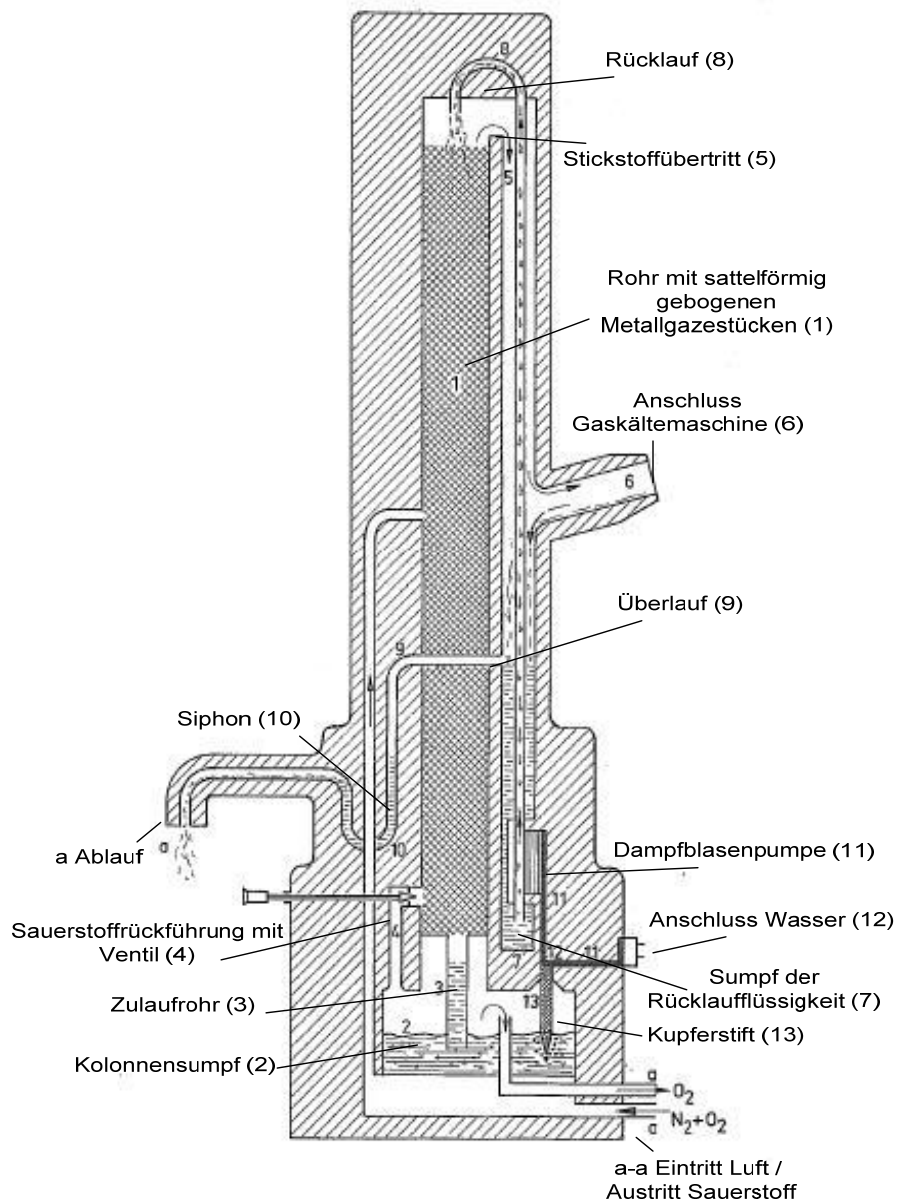


Abbildung 2-3:

Schnitt durch die Kolonne (vereinfacht)

Quelle: Philips Service

In dem Kolonnenrohr (1) wird ein bestimmter Temperaturgradient aufrechterhalten (oben kalt, unten warm). In diesem Rohr bewegt sich ein Flüssigkeitsstrom von oben nach unten, währenddessen ein Dampfstrom von unten nach oben passiert. Dieses ist derart ausgeführt, dass ein inniger Kontakt zwischen Flüssigkeit und Dampf ermöglicht wird. Die Abbildung 2-4 zeigt als Erklärungsbeispiel den Ausschnitt der Kolonne mit Glockenböden in welchem zwei Böden im Schnitt zu sehen sind. Die Flüssigkeit fällt hierbei im Fallrohr des Bodens nach unten und steigt im nächsten bis zum Überlauf an, welcher wiederum in ein Fallrohr mündet und zum nächsten Boden führt.

A= Fallrohr

B= Öffnungen für Dampfzufuhr

C= Kappe (Glocke)

D= Öffnungen in der Kappe für den Dampf

a-a= Flüssigkeitsniveau, wenn kein Dampf passiert

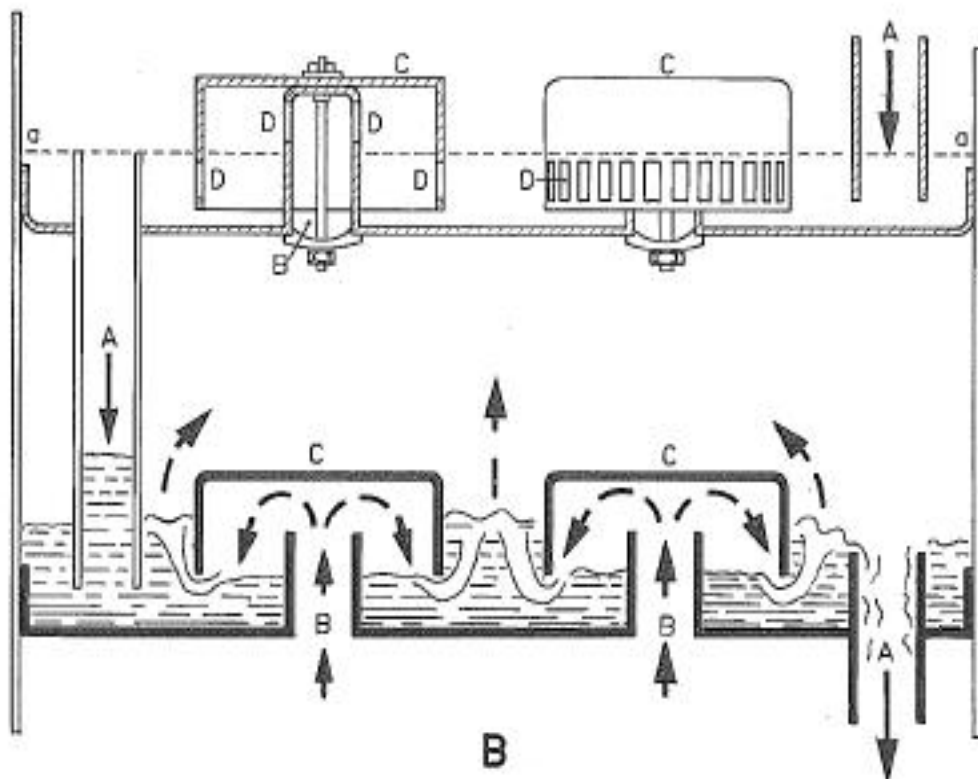


Abbildung 2-4:

Schnitt Kolonne mit Böden

Quelle: Philips Service

Die Abbildung 2-5 zeigt schematisch den Verlauf in der Kolonne anhand des t,x -Diagrammes. Die gestrichelten Linien A, B und C geben hierbei die Böden in der Kolonne an. Die Ströme der Flüssigkeit und des Dampfes sind hierbei durch Pfeile dargestellt. Die im t,x -Diagramm angegebenen Punkte geben hierbei den Punkt im Beispiel der Kolonne wieder. Da unter den Kolonnenböden das zuvor schon erwähnte ΔT herrscht, ist die Temperatur der Flüssigkeit, welche von Punkt 2 zum Boden B fließt, kälter als der Dampfstrom von Punkt 6 zum selbigen Boden. Durch den sehr guten Kontakt zwischen diesen beiden Stoffströmen kondensiert hierbei die „höher siedende Fraktion“, nämlich der Sauerstoff, bedingt durch seinen höheren Taupunkt aus dem Dampf in die Flüssigkeit hinein. Dabei gast die „niedriger siedende Fraktion“, also der Stickstoff aus dieser aus. Da dieser Austausch nahezu verlustfrei stattfindet, verschiebt sich hierbei der Punkt 2 zu Punkt 3 für den nächsten Boden. Analog hierzu der Punkt 6 zu Punkt 7 in der Dampfphase.

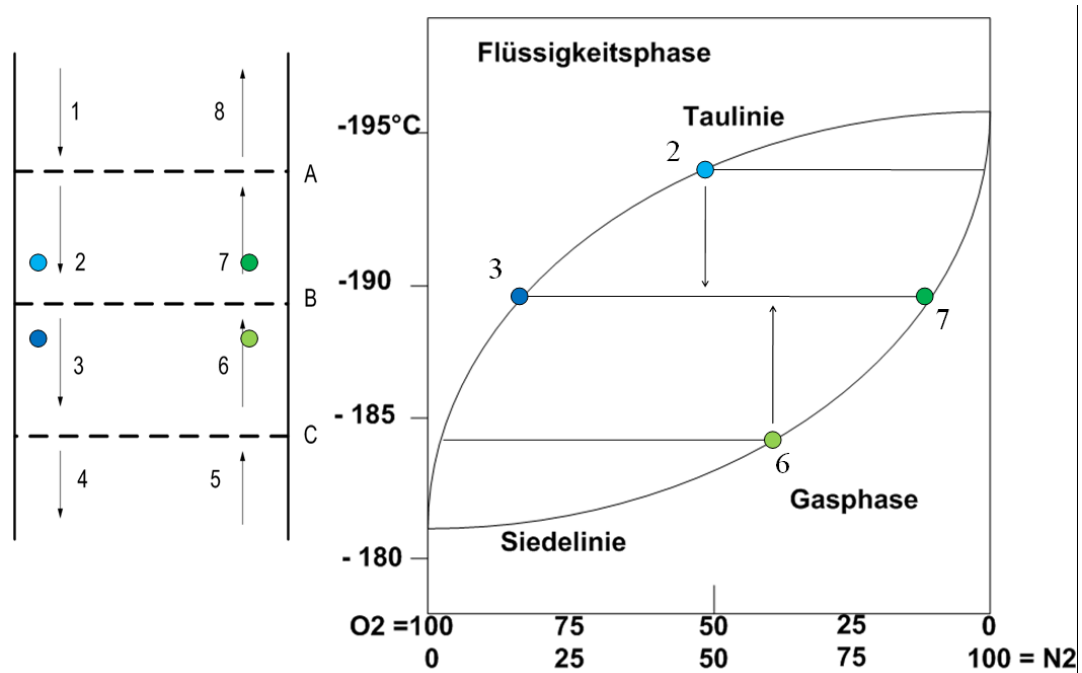


Abbildung 2-5:

Schematische Darstellung der Kolonne anhand des t,x – Diagramm ($p=\text{konst}$)

Dies geschieht nun idealisiert solange (und in so vielen Böden), bis sich im Kolonnensumpf nur nahezu reiner flüssiger Sauerstoff befindet und im Kopf dampfförmiger Stickstoff sammelt.

Eine theoretische Anzahl der benötigten Böden kann anhand eines Diagrammes nach Bosnjakowic [7] (vgl. Abb. 2-6) bei idealer Betrachtung (Mischungswärmen gleich Null) erfolgen.

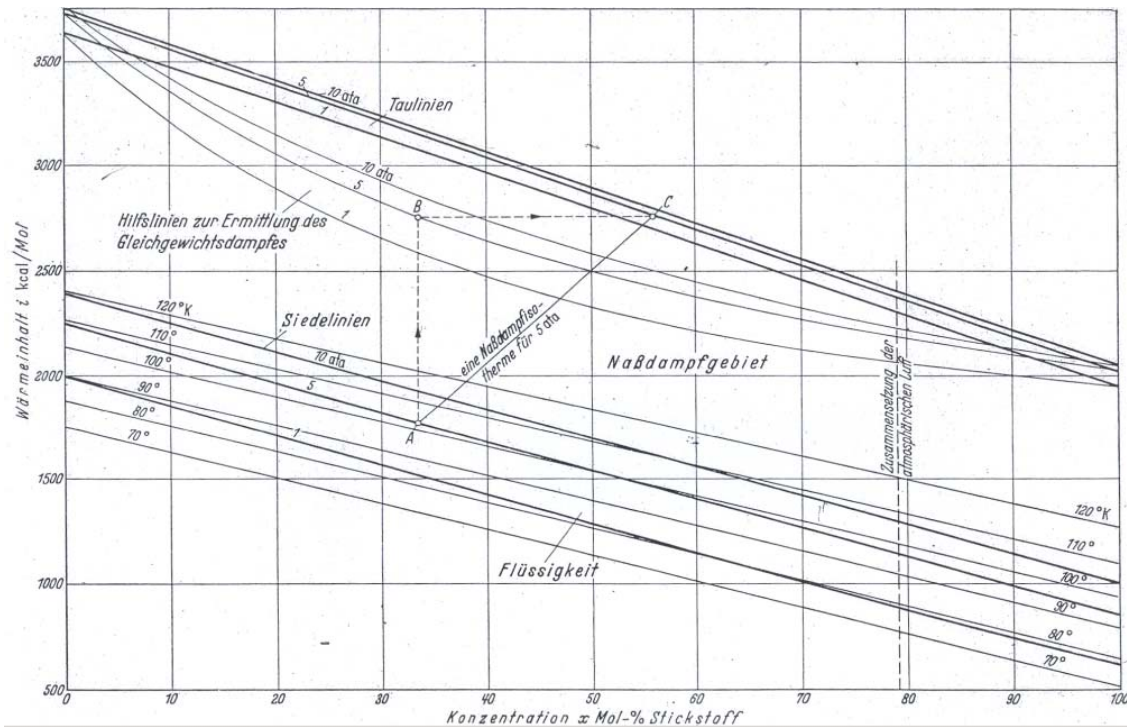


Abbildung 2-6: i,x - Bild des Gemisches Stickstoff-Sauerstoff nach Bosnjakovic[7]

Aufgrund der kompakten Bauweise ist die Kolonne nicht mit horizontalen Böden, sondern mit sattelförmigen Gazestücken befüllt, was im Wesentlichen die gleiche Funktion erfüllt.

Die zu zerlegende Luft wird hierbei etwa in der Mitte der Kolonne zugeführt, vgl. Abbildung 2-2. Zuvor wird diese jedoch durch einen Wärmeübertrager geleitet, welcher sich im Kolonnensumpf befindet hier befindet sich auch der flüssige Sauerstoff (LO_2) und gibt dort einen Teil der Wärmemenge an das LO_2 ab, welches hierdurch verdampft. Ebenso fallen hier des Weiteren der in der Luft befindliche Wasserdampf sowie andere Stoffe aus, welche bei ca. -60°C und atmosphärischem Druck gefroren sind (bspw. CO_2). Der tiefkalte gasförmige Sauerstoff verlässt die Kolonne, nachdem er die Wärme aus der zuströmenden Luft aufgenommen hat und wird mit nahezu Umgebungstemperatur ins Freie geleitet. Da der Sauerstoff nicht vollständig rein ist, gas folglich zuerst der flüchtigere Stoff (Stickstoff) aus. Demnach ist das austretende Medium ein Gemisch aus Sauerstoff und Stickstoff in einem Verhältnis von ca. 80/20 %.

Um den fallenden Flüssigkeitsstrom permanent aufrecht zu erhalten, muss ein Teil des flüssigen Stickstoffes (LN_2) an die Kolonne zurückgeführt werden. Dies geschieht mit Hilfe einer Dampfblasenpumpe. Die Energie welche hierzu benötigt wird, wird mit Hilfe des Wasserkreises zugeführt. An dem gleichen System der Wärmezufuhr befindet sich der erwähnte Kupferstift der sich im Sumpf über dem flüssigen Sauerstoff befindet. Dies hat nachfolgend erläuterte Bewandnis.

Steigt der Sauerstoffstand im Sumpf der Kolonne an, ist also der Rücklauf zu groß, so taucht der sich von oben nähernde Stift weiter in den Sauerstoff ein. Dies erhöht die Leistung welche der durch das Wasser erwärmte Stift an den Sauerstoff abgeben kann. Gleichzeitig sinkt dadurch die Temperatur des an der Dampfblasenpumpe befindlichen Kupferstreifens da die Wärmeenergie zu einem Großteil nun an den Stift geht. Umgekehrt verhält es sich genauso, sinkt der Stand im Sumpf, wird es an der Blasenpumpe wärmer und der Reflex (oder auch Rücklauf-, bzw. Waschflüssigkeit) wird erhöht. Dies hat zur Folge, dass sich die Kolonne hierdurch im Produktionsbetrieb vollkommen automatisch regelt.

Der am Kopf befindliche, fast reine Stickstoff, wird von dort der Kaltgasmaschine zugeführt und kondensiert. Der dadurch flüssig gewordene Stickstoff fließt nun zur Kolonne zurück, wobei wie schon erwähnt ein Teil als Reflex der Kolonne zugeführt wird. Der Rest wird als gewünschtes Produkt ausgeleitet. Die Tabelle 2-1 zeigt die technischen Daten der Anlage.

Tabelle 2-1: Technische Daten der PW 7050

Quelle: Stirling Maschinen Technik [8]

Technische Daten der PW 7050	
Produktionskapazität	5 l/h
Reinheit	>99,5 %
spez. Leistung	1,2 KW/l
max. Gesamtproduktion pro Periode	500-1000 l
Höhe	2 m
Grundfläche	0,5 x 2 m

Bevor die Kolonne funktionsgemäß arbeiten kann, ist diese auf die Arbeitstemperatur abzukühlen. Da in der Anlaufphase der Kolonne kein flüssiger Sauerstoff zur Verfügung steht, in welchem die Luft ihr Wasser ausfrieren kann, muss die sogenannte Anlaufperiode anders geregelt werden (Kurzanleitung s. Anlage 2).

Dies geschieht vereinfacht ausgedrückt dadurch, dass die Luftzufuhr an der Kolonne geschlossen wird. Dies wird während des Anlaufens an der Kaltgasmaschine eingeleitet, um dort direkt am im Kopf befindlichen Anfahrwasserabscheider das Wasser zu entfernen. Die Luft wird sodann im Kopf der Maschine verflüssigt und fließt der Kolonne zu, um diese zu füllen. Zu verfolgen ist der Flüssigkeitsstand in der Kolonne an einer kommunizierenden Röhre, welche mit einer farbigen Flüssigkeit gefüllt ist. Steigt diese über den Wert an, welcher zeigt, dass die Kolonne Ihre Arbeitshöhe erreicht hat (oberer Strich), so ist die Luftzufuhr an der Maschine zu schließen und das Lufteintrittsventil an der Kolonne für den weiteren Betrieb zu öffnen.

2.2.2

Die Kaltgasmaschine

Das Arbeitsmedium des geschlossenen Prozesses ist Helium, welches unter einem Druck von ca. 19-25 bar steht. Das Gas wird durch die Bewegungen des Arbeits-, und Verdrängerkolbens, siehe Abb. 2-7, abwechselnd verdichtet und entspannt. Im Gegensatz zur gewöhnlichen Kälteanlage (Kaldampfkompression), findet hierbei keine Verflüssigung oder Verdampfung des Arbeitsmediums statt [9]. Die aufgenommene Wärme und Arbeit wird an das Kühlwasser abgegeben. Die Expansionskälte dient zur Verflüssigung der Luft bzw. des Stickstoffes.

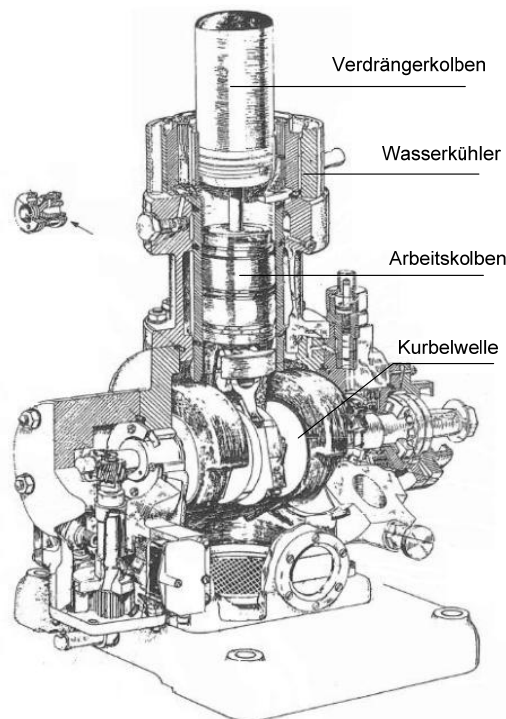


Abbildung 2-7: Schnitt der Kaltgasmaschine (o. Kopf & Regenerator)

Quelle: Philips Service

Der Arbeitskolben wird durch eine doppelte Pleuelstange von der Kurbelwelle angetrieben. Der Antrieb des Verdrängers erfolgt durch eine Pleuelstange, die zwischen denen des Arbeitskolbens geführt wird. Hier wird die rotierende Bewegung mittels Kreuzkopf in eine lineare Bewegung umgesetzt und über die Verdrängerstange zum Verdrängerkolben geleitet.

Hierbei entsteht durch die auf der Kurbelwelle gegeneinander gedrehten Kurbelzapfen ein Phasenunterschied zwischen den beiden Kolben. Der Verdränger eilt hierbei dem Arbeitskolben vor. Zwischen dem Raum über dem Arbeitskolben und dem Verdrängerkolben

(Kompressionsraum) sowie dem Raum über dem Verdrängerkolben (Expansionsraum) besteht eine Verbindung über einen Kanal indem sich 3 Wärmeübertrager befinden.

Diese sind wie folgt:

- Der Wasserkühler, in welchem sich eine große Anzahl feiner Röhren befindet in denen das Helium vom Kompressionsraum zum Expansionsraum strömt. Diese Röhren werden vom Kühlwasser umströmt, welches sich dadurch erwärmt.
- Der Regenerator, bestehend aus einem feinen Kupfergeflecht das schnell Wärme aufnehmen und auch wieder abgeben kann.
- Der Wärmeübertrager im Kopf, an dem das Gas abkühlt und verflüssigt wird. (siehe Abbildung 2-8)

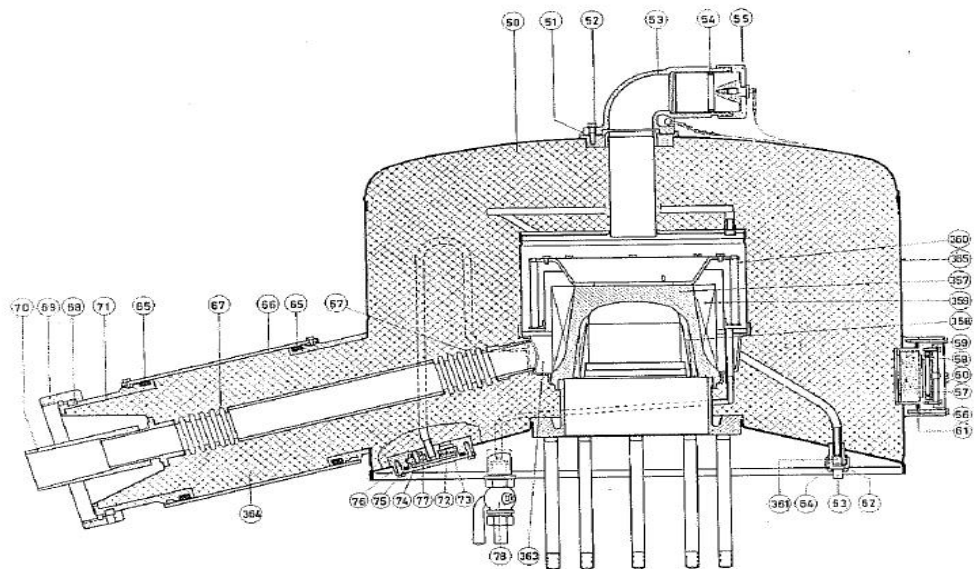


Abbildung 2–8: Schnitt durch den Kondensatorkopf

Quelle: Philips Service

Zur Erklärung der Wirkungsweise wird der Prozess während einer Umdrehung der Kurbelwelle in vier Phasen zerlegt. Die Abbildung 2-9 zeigt die Ausgangstellung des Prozesses. Der Verdrängerkolben befindet sich am oberen Totpunkt (OT), der Arbeitskolben am unteren Totpunkt (UT). Das Arbeitsgas (Helium) befindet sich hauptsächlich im Kompressionsraum, worauf nun der Arbeitskolben bei stillstehendem Verdränger nach oben bewegt wird.

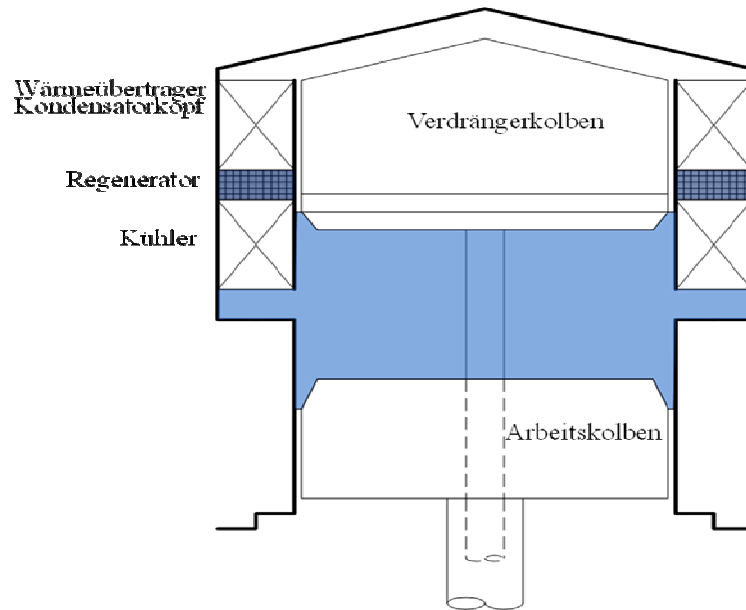


Abbildung 2–9: Ausgangsstellung des Kaltgas-Arbeitsprozesses

Die Abbildung 2-10 zeigt nun die erste Phase. Das Arbeitsmedium, welches sich hauptsächlich im Kompressionsraum befindet, wird von Druck p_1 auf p_{Max} verdichtet. Dabei steigt neben dem Druck die Temperatur erheblich an.

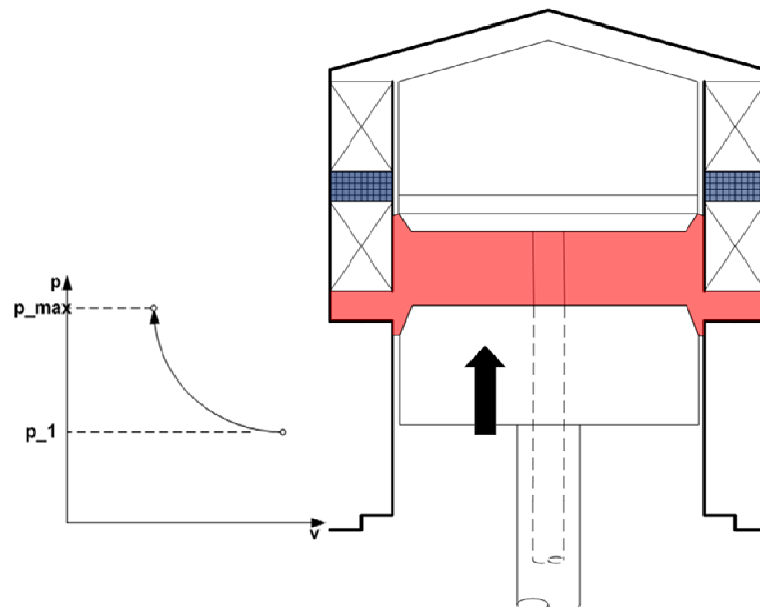


Abbildung 2–10: Phase 1 des Kreisprozesses

In Abbildung 2-11 bewegt sich der Verdrängerkolben, bei stillstehendem Arbeitskolben, vom OT aus nach unten. Dabei gibt das durch die Kompression erwärmte Gas zuerst im vom Kühlwasser umflossenen Wärmeübertrager seine Energie ab. Zur Vereinfachung wird nun angenommen, dass der Regenerator bereits seine tiefkalte Betriebstemperatur erreicht hat. Das noch recht

warme Gas (nahezu Kühlwassertemperatur) speichert daher nach dem Wasserkühler seine Energie im Regenerator. Dann strömt es durch den letzten Wärmeübertrager im Kondensatorkopf in den Expansionsraum. Durch die Abkühlung bei gleichem Volumen senkt sich der Druck von p_{\max} auf p_2 .

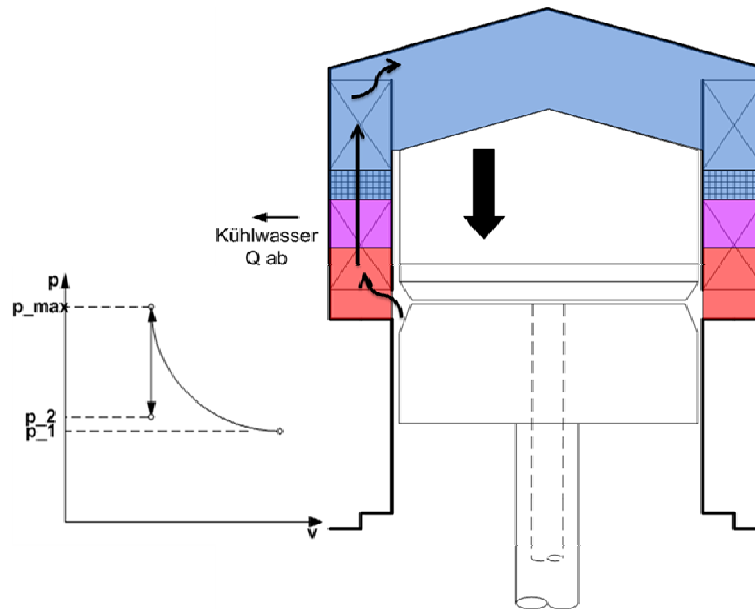


Abbildung 2–11: Phase 2 des Kreisprozesses

Nun bewegen sich beide Kolben nach unten. Hierbei wird die eigentliche „Kälteleistung“ erbracht. Das Arbeitsgas, welches sich abgekühlt hat sowie unter hohem Druck steht, wird durch die Volumenvergrößerung expandiert, vgl. Abbildung 2-12. Dabei fällt der Druck auf p_{\min} . Die Temperatur fällt dabei unter den Siedepunkt des Stickstoffes. Die beiden Kolben erreichen hierbei ihren jeweiligen UT.

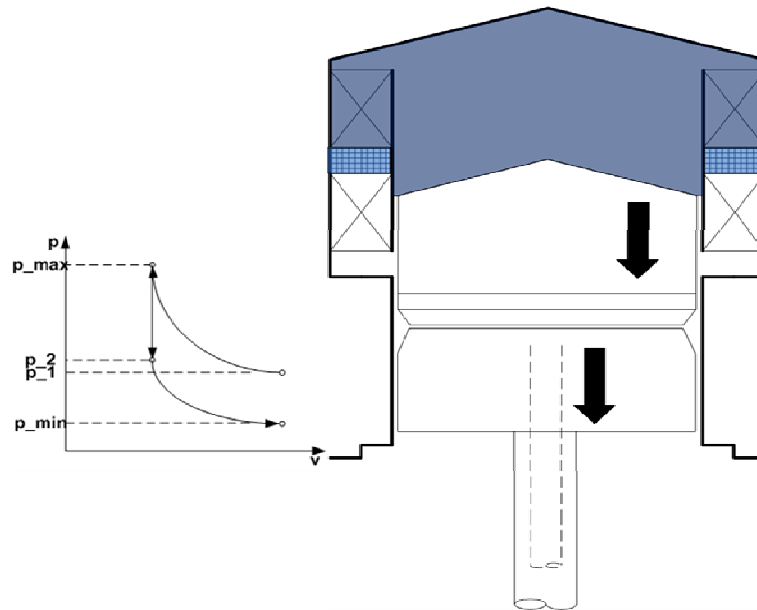


Abbildung 2–12: Phase 3 des Kreisprozesses

In der letzten Phase des Kreisprozesses bewegt sich der Verdränger wieder nach oben. Das Arbeitsgas strömt nun zuerst über den Wärmeübertrager im Kondensatorkopf, an dessen Außenseite sich der Stickstoff niederschlägt und verflüssigt. Danach nimmt das Helium die zuvor im Regenerator zwischengespeicherte Wärme wieder auf und strömt nun, wie Abbildung 2-13 zeigt, wieder in den Kompressionsraum zurück.

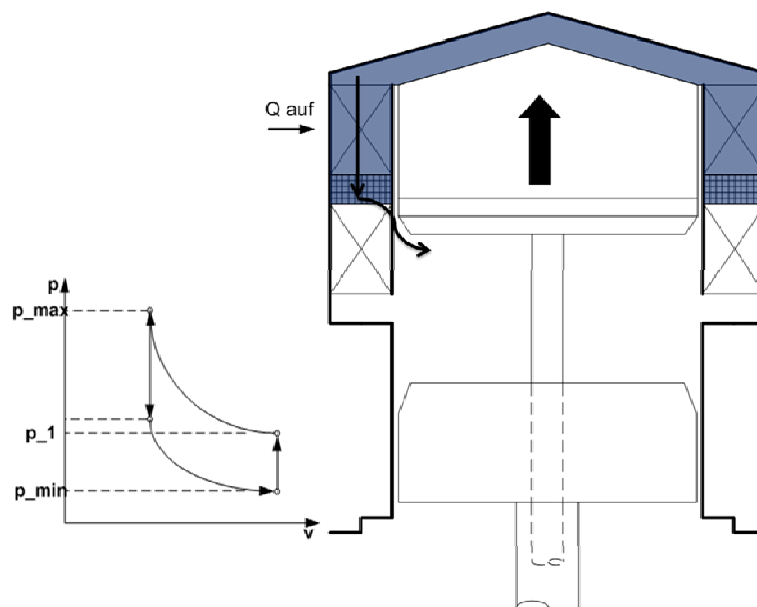


Abbildung 2–13: Phase 4 des Kreisprozesses

Wie man sich nun vorstellen kann, herrscht unterhalb des Verdrängers eine Durchschnittstemperatur, welche nahe an der Kompressionstemperatur liegt, während oberhalb desselben die Temperatur der des Siedepunktes des Stickstoffes entspricht. In diesem Kolben, der rund 15 cm in der Höhe misst, darf aufgrund der Wirtschaftlichkeit kein allzu großer Wärmestrom entstehen, da dies die Leistung erheblich mindern würde. Dazu ist der Kolben selbst aus einem Material, welches die Wärme nur schlecht leitet. Auch das Kolbeninnere ist so ausgeführt, dass darin ein Wärmetransport auf das Minimum reduziert wird. Der Verdränger kann nicht mit Öl geschmiert werden, da jegliches Öl bei solch tiefen Temperaturen nicht arbeitsfähig wäre. Aufgrund dessen ist der Kolben selbst mit einem Kohlekolbenring umschlossen, welcher wiederum in einer Zylinderbuchse aus imprägniertem Flugzeugsperrholz läuft. Bedenkt man diese Punkte und betrachtet sich das Baujahr von 1956, so ist dies eine beachtliche Ingenieursleistung. Die Technischen Daten der Maschine sind dabei wie folgt (vgl. Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2: Technische Daten der Kaltgasmaschine

Quelle: Stirling-Maschinen Technik [8]

Technische Daten der Kaltgasmaschine	
Zylinder-Durchmesser	80 mm
Hub	52 mm
überstrichenes Volumen	261,4 cm ³
max. mittlerer Arbeitsdruck	30 bar
Drehzahl	1450 1/min
Kälteleistung	1000 W (bei 77K) 2500 W (bei 200K)
Leistungsaufnahme	11 kW (bei 77K)
modifizierter West-Faktor	0,308 (bei 77K) 0,394 (bei 200K)
Kälteleistungszahl	0,091 (bei 77K)
Leistungsziffer bezogen auf Carnot	23,9 %

Zuvor wurde der Arbeitsablauf in vier Phasen erläutert. Da jedoch naturgemäß keine „eckigen“ Kreisprozesse zu realisieren sind, verwischt der ideale Fall in der praktischen Anwendung, wie in der zusammenfassenden Abbildung 2-14 noch einmal gezeigt wird.

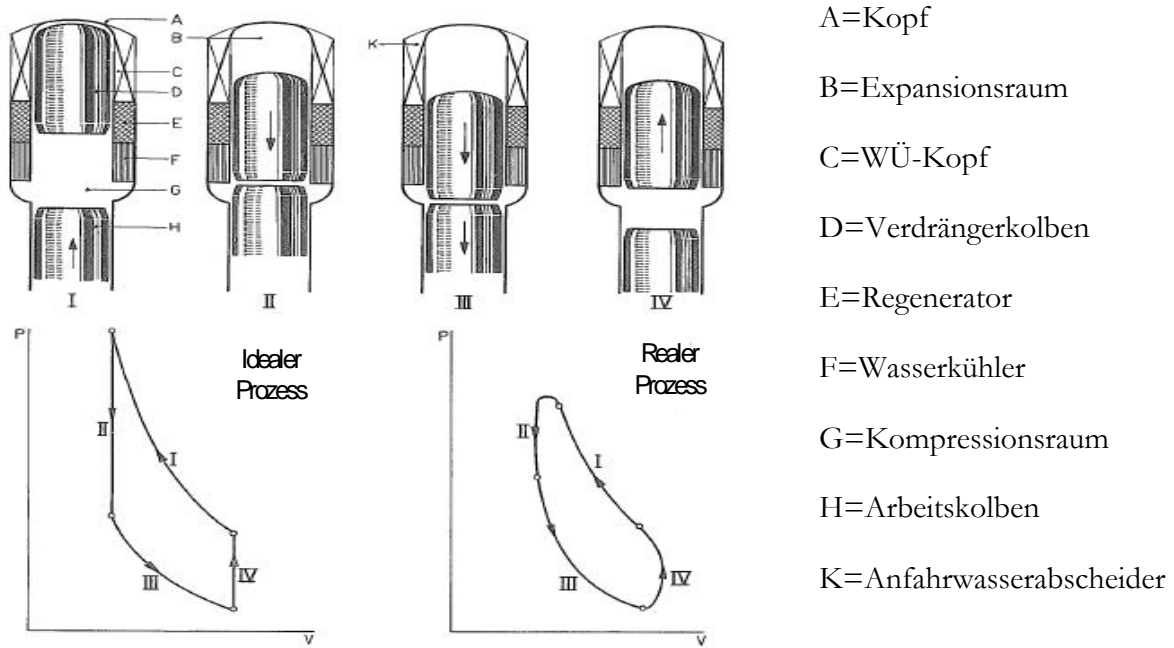


Abbildung 2–14: Arbeitsabläufe des Kaltgaskreisprozesses

Quelle: Philips Service

2.3 Normbedingungen und Verbesserungspotential

Zu den Normbedingungen zählen alle Einflüsse, die direkt auf die Leistungskapazität der Stickstoffproduktion eingehen. Dies sind wie folgt:

1. Drehzahl der Kaltgasmaschine (1450 1/min)
2. Kühlwassertemperatur (15°C)
3. Kühlwasserdurchflussmenge (1,5m³/h)
4. Taupunkt der zugeführten Luft (15°C)
5. Druck der zugeführten Luft (1,013bar)

Die Anlage wurde bei der Restauration so konzipiert, dass alle Einflüsse in sinnvollen Grenzen einstellbar sind. Um den Taupunkt der zugeführten Luft zu senken, sind im Solenetz Abgänge

vorgesehen um einen Luftkühler anzuschließen. Der Bau desselben und die damit verbundenen Versuche bleiben späteren Arbeiten vorbehalten.

Das damit einhergehende Verbesserungspotential (etwa bei steigender und kälterer Kühlwassermenge, trockenerer Luft, etc...) kann somit in weiterführenden Arbeiten durchgeführt werden. Abbildung 2-15 zeigt die zu erwartende Änderung der Stickstoffproduktion bei verschiedenen Betriebsbedingungen.

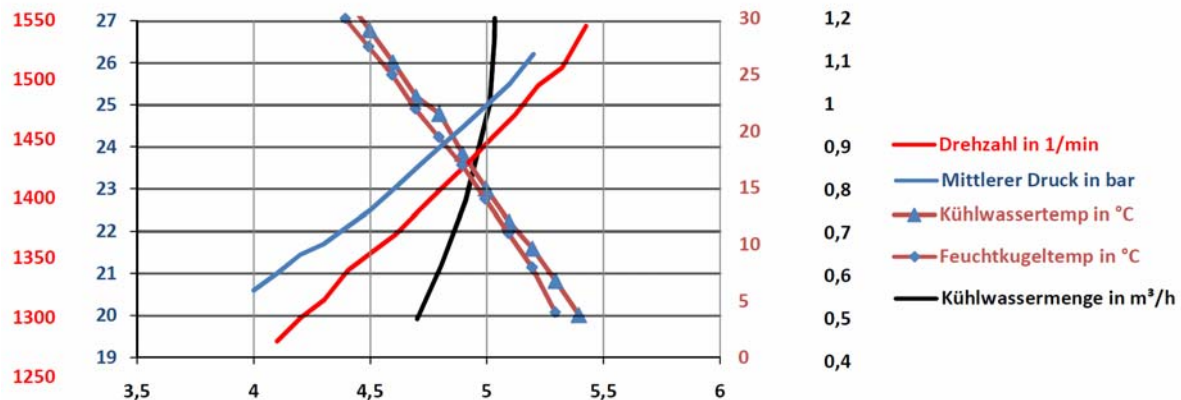


Abbildung 2–15: Produktionsmengen an LN₂ in dm³ bei verschiedenen Betriebsbedingungen

Quelle : Philips Service

2.4 Einsatzmöglichkeiten

Man kann die flüssige Luft direkt auffangen, um diese zu nutzen z.B. zur Kühlung eines Elektronenmikroskops oder die gewonnene Luft in O₂ (Gasförmig) sowie LN₂ (flüssig) trennen. Der austretende nahezu reine flüssige Stickstoff, ist hierbei noch um einige K kälter, als die normal austretende flüssige Luft. Wie zuvor bereits erwähnt, dient die flüssige Luft (bzw. der Stickstoff) als Kühlmedium in Elektronenmikroskopen, Labors für künstliche Befruchtung sowie Krankenhäuser, Sternwarten oder Universitäten.

Praktische Anwendung dieser Maschine findet man für die verschiedensten Zwecke und bei all denjenigen, die einen Bedarf für diese sehr tiefen Temperaturen haben, jedoch nicht größere Menge benötigen. Bei kontinuierlichem Verbrauch größerer Mengen würde sich die Anschaffung von Lagertanks lohnen. Bzw. aufgrund örtlicher Gegebenheiten kein Stickstoff per LKW beziehen können (z.b. Tropenlabore).

3 Vorüberlegung und Herangehensweise

Die Gaskältemaschine wurde ursprünglich mit Frisch- bzw. Stadtwasser betrieben. Ein Frischwasserverbrauch von 1-1,5 m³/h ist jedoch ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar. So stand zu Beginn unserer Überlegungen die Frage nach der technischen Umsetzung der Rückkühlung des Kühlwassers. Dazu standen zunächst, wie in Tabelle 3-1 ersichtlich mehrere Überlegungen im Raum.

Tabelle 3-1: Auswahl der Kühlwasserrückkühlung mit Vor/und Nachteilen

Technologie	Vorteile	Nachteile
Neuer Kaltwassersatz	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassbare Leistung • Energetisch optimiert • Weitere Messungen als Lehrobjekt durchführbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Zeitaufwand • Teuer in der Anschaffung
vorhandener 2-stufiger Flüssigkeitskühlsatz	<ul style="list-style-type: none"> • Geringer Zeitaufwand • Billig • Nutzung vorhandener Maschinenkapazität 	<ul style="list-style-type: none"> • Energetisch sehr unwirtschaftlich • Keine Verwendung von Wasser als Wärmeträger
trockenes Rückkühlwerk	<ul style="list-style-type: none"> • Geringer Regelaufwand 	<ul style="list-style-type: none"> • Abhängig von der Außentemperatur • Geringe Mess- und Versuchsmöglichkeiten

Nach sorgfältiger Abwägung aller Gesichtspunkte fiel die Wahl auf einen neu zu projektierenden Kaltwassersatz. Die hohe Flexibilität in der Kühlwassertemperatur und Menge sowie die daraus resultierenden Messungsmöglichkeiten überwogen gegenüber dem hohen Aufwand. Zumal alle Hauptkomponenten durch Spenden namhafter Hersteller der Branche gestellt wurden, konnten die Kosten auf den reinen Arbeitsaufwand reduziert werden. Dies ermöglicht es, eine Anlage ohne den Kostendruck zu projektieren der sonst üblich wäre, sodass die Auslegung der Einzelkomponenten auf Basis höchstmöglicher Energieeffizienz erfolgen konnte.

Nach der Festlegung der Komponenten und des Systems, stand nun die Frage nach der Aufstellung und der Platzverteilung in der uns zur Verfügung gestellten Fläche im Raum. Die etwas improvisierte Lösung mit Plakaten in Abbildung 3-1 sowie die 3D-Zeichnung (s. Anlage A1) sollte ein Gefühl dafür vermitteln, wie das Projekt in Vollendung aussehen könnte. Dabei wurde darauf Wert gelegt, dass die Anlage als „Blickfang“ fungiert und alle Teile und Komponenten so aufgestellt werden, dass auch größere Gruppen bequem darum Platz finden. Zur Versorgung der Gaskältemaschine wurde deshalb eine Kabel/ Rohrbrücke gewählt, sodass man um die Anlage herumgehen kann.



Abbildung 3-1: Erste Aufstellung mit Wandplatzhalter

3.1 Technische Berechnung der Kaltwasseranlage

Zur Berechnung aller Komponenten wurde eine bereits bestehende Anlage mit Kolonne im Deutschen Museum in München sowie zwei reine Luftverflüssigungsmaschinen an der HS Karlsruhe und der FH Gießen besucht. Nach Besichtigung der Anlagen wurde der Nennpunkt der Kaltwasseranlage, wie in Tabelle 3-2 ersichtlich, festgelegt. Durch den Einsatz von Frequenzumformern an allen arbeitsleistenden Maschinen kann die Wassertemperatur und der Volumenstrom zu Versuchszwecken angepasst werden. Das Spektrum der möglichen

Betriebszustände liefern hierbei die Temperaturen aus dem möglichen Druckverhältnis, die Einsatzgrenze des Verdichters [10], welche minimal bei t_c/t_0 von 8/20°C und maximal bei 50/-20°C liegt.

Tabelle 3-2: Auslegungsnennpunkt der Kaltwasseranlage

	Formelzeichen	Zahlenwerte	Einheit
Kaltwasservolumenstrom	\dot{V}	1500	dm ³ /h
Kaltwasservorlauftemperatur	t_{Vorlauf}	12	°C
Kaltwasserrücklauftemperatur	$t_{\text{Rücklauf}}$	18	°C
Kälteleistung	\dot{Q}_0	10	KW
Verflüssigungstemperatur	t_0	36	°C
Verdampfungstemperatur	t_c	6	°C
Unterkühlung bis Sauggaswärmeübertrager	$t_{\text{UK},1}$	3	K
Überhitzung im Verdampfer	$t_{\text{oh, Verdampfer}}$	5	K
Überhitzung im Sauggaswärmeübertrager	$t_{\text{oh, iWÜ}}$	5	K

Die sich aus den Nennpunktvorgaben und den verwendeten Komponenten ergebende theoretischen Prozesspunkte liefert Tabelle 3-3. Vgl. hierzu ebenfalls das R+I-Schema des Kaltwassersatzes (Anlage A3). Das dazugehörige log p, h Diagramm wird in Abbildung 3-2 dargestellt.

Zustandsänderungen sind:

- 1-2_s Die isentrope Verdichtung
- 1-2 Die polytrope Verdichtung
- 2-3' Rückkühlung des Druckdampfes im Verflüssiger
- 3'-3 Unterkühlung der Flüssigkeit im iWÜ
- 3-4 Die isenthalpe Expansion
- 4-1' Verdampfung im Plattenwärmeübertrager
- 1'-1 Überhitzung des Saugdampfes im iWÜ

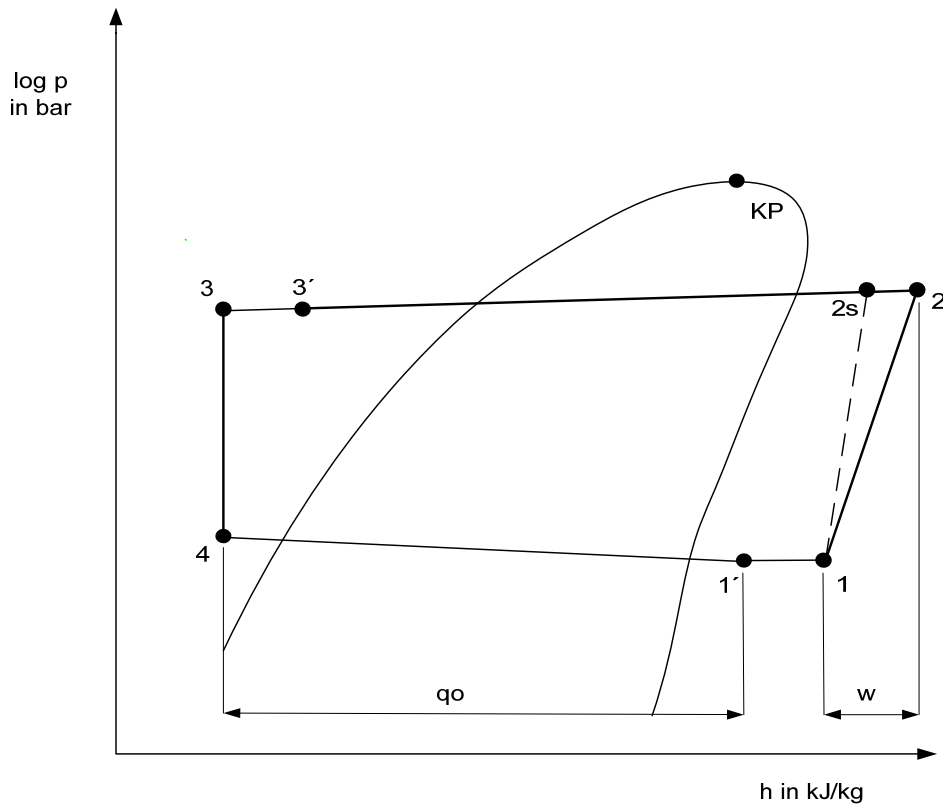


Abbildung 3-2: Kältekreislauf des Kaltwassersatzes im log p,h Diagramm

Tabelle 3-3: Theoretische Prozesspunkte der Kaltwasseranlage

	t in °C	p in bar	h in kJ/kg	s in kJ/kgK	v in dm ³ /kg	x in %
1'	5,07	2,9202	406,16	1,7544	72,4193	
1	15,07	2,9202	414,64	1,7843	75,5966	
2is	54,62	9,3761	441,10	1,7843	24,5749	
2	61,36	9,3761	447,72	1,8043	25,3778	
3'	33	9,1262	245,80	1,1563	0,8547	
3	27,21	9,1262	237,31	1,1287	0,8394	
4	6	3,6012	237,31	1,1337	9,2701	14,9
q _{iWÜ}			8,49			
q ₀			168,85			
w			33,08			
w _{is}			26,46			

3.2 Theoretische Betrachtungen zum Sauggaswärmeübertrager

Wie zu erkennen ist, wurde ein Sauggaswärmeübertrager (iWÜ) in der Anlage verwendet. Dies hat mehrere Gründe. Zum einen wurde ein neuartiges Einspritzventil verwendet. Da die Erfahrung mit diesem Ventil fehlte, liefert ein iWÜ (in der Saugleitung) einen größeren Schutz vor Flüssigkeitsteilchen in der Saugleitung, welche bekanntlich zu vermeiden sind. Eine separate Überhitzung in der Saugleitung wurde aufgrund der Kürze der Saugleitung vernachlässigt. In Abbildung 3-3 ist das log p,h – Diagramm des Kreislaufes zunächst ohne und dann mit iWÜ eingezeichnet.

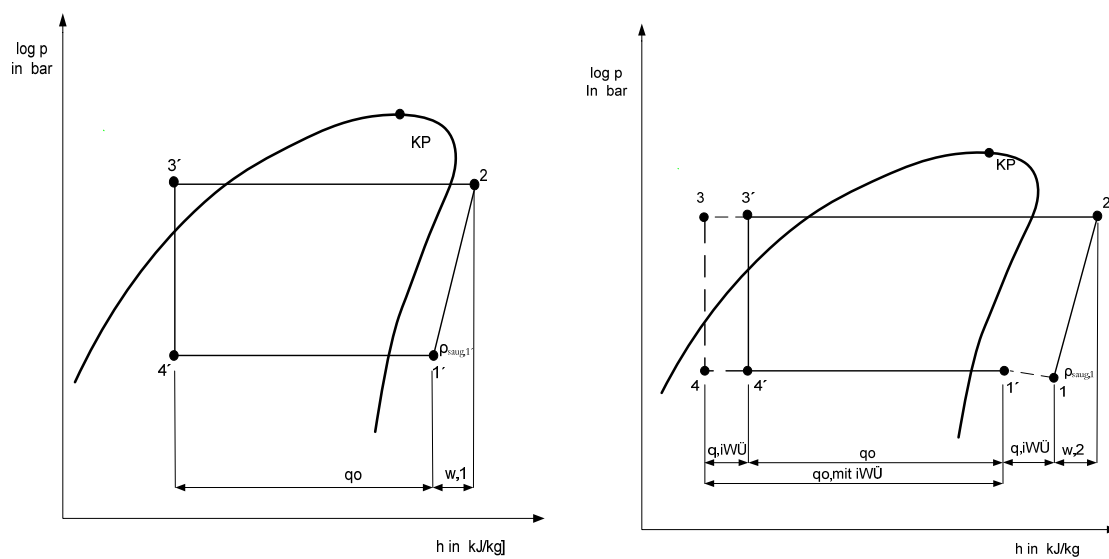


Abbildung 3-3: Vergleich zum Sauggaswärmeübertrager im log p,h Diagramm

Der zweite Grund für den Einsatz eines iWÜ liefert die nachfolgende Überlegung. Dazu soll zuerst gesagt werden, dass in der durchgeführten Betrachtung $w_1 = w_2$ gilt. Des Weiteren werden auch die Temperaturabhängigkeit und das sich nur unwesentlich ändernde Druckverhältnis, welches sich auf den Liefergrad λ auswirkt, vernachlässigt.

Ohne iWÜ ergibt sich:

$$\dot{Q}_{0,1} = \dot{m}^* q_0, \quad (3.1)$$

$$\dot{m} = V_{th} * \lambda * \rho_{saug} * q_0, \quad (3.2)$$

aus (3.1) und (3.2) ergibt sich für Abbildung 3-3

$$\dot{Q}_{0,1} = V_{th} * \lambda * \rho_{saug,1'} * q_0. \quad (3.3)$$

Mit iWÜ ergibt sich :

$$q_{0,iWÜ} = q_0 + q_{iWÜ}, \quad (3.4)$$

$$\dot{Q}_{0,2} = V_{th} * \lambda * \rho_{saug,1} * q_{0,iWÜ}. \quad (3.5)$$

aus (3.4) und (3.5) ergibt sich (3.6)

$$\dot{Q}_{0,2} = V_{th} * \lambda * \rho_{saug,1} * (q_0 + q_{iWT}). \quad (3.6)$$

Aus (3.3) und (3.6) folgt also, dass der Sauggaswärmeübertrager nur dann sinnvoll ist, wenn

$$\rho_{saug,1} * (q_0 + q_{iWÜ}) > \rho_{saug,1'} * q_0. \quad (3.7)$$

Oder wenn

$$\left[\frac{\rho_{saug,1}}{\rho_{saug,1'}} * \left(1 + \frac{q_{iWÜ}}{q_0} \right) \right] > 1, \quad (3.8)$$

bzw.

$$\left[\frac{\frac{1}{v_{saug,1}} * \left(1 + \frac{q_{iWÜ}}{q_0} \right)}{\frac{1}{v_{saug,1'}}} \right] > 1 \quad (3.9)$$

ist.

Werden nun die Werte der Prozesspunkte in die Formel (3.9) eingesetzt, so erhält man folgendes Ergebnis:

$$\frac{\frac{1}{75,9566 * 10^3 [m^3 / kg]}}{\frac{1}{72,4193 * 10^3 [m^3 / kg]}} * \left(1 + \frac{8,49 [kJ / kg]}{168,85 [kJ / kg]}\right) = 1,00137$$

Folglich bewirkt der iWÜ keine nennenswerte Verbesserung des Prozesses, jedoch wirkt er sich aber auch nicht nachteilig aus. Sodass letztendlich der positive Effekt der sicheren Überhitzung des Kältemittels bleibt. Des Weiteren soll hier gesagt werden, dass es sich um die theoretischen Werte im Nennpunkt handelt. Da der Kaltwassersatz jedoch in verschiedenen Punkten gefahren werden kann, muss diese Betrachtung mit verschiedenen Messwerten der Praxis noch einmal zum späteren Zeitpunkt durchgeführt werden. Dies war im Zeitrahmen dieser Arbeit nicht mehr möglich und bleibt späteren Tätigkeiten vorbehalten.

3.3 Auslegung der kältemittelführenden Rohrleitungen

Nachstehend ist die Auslegung der kältemittelführenden Rohrleitung erläutert. Zuerst wird eine Vorauswahl mittels Abbildung 3-4 getroffen. In Tabelle 3-4 wird für die einzelnen Leitungen nach praktischen Erfahrungswerten für Geschwindigkeiten sowie den Werten aus Tabelle 3-2 folgende Nennweiten festgelegt.

Tabelle 3-4: Vorauswahl der Kältemittelleitungen

Benennung	Länge in m	Geschwindigkeit in m/s	gewählte Dimension in mm
Saugdampfleitung	1,5	8	28
Druckdampfleitung	22	8	22
Flüssigkeitsleitung	22	0,5	15

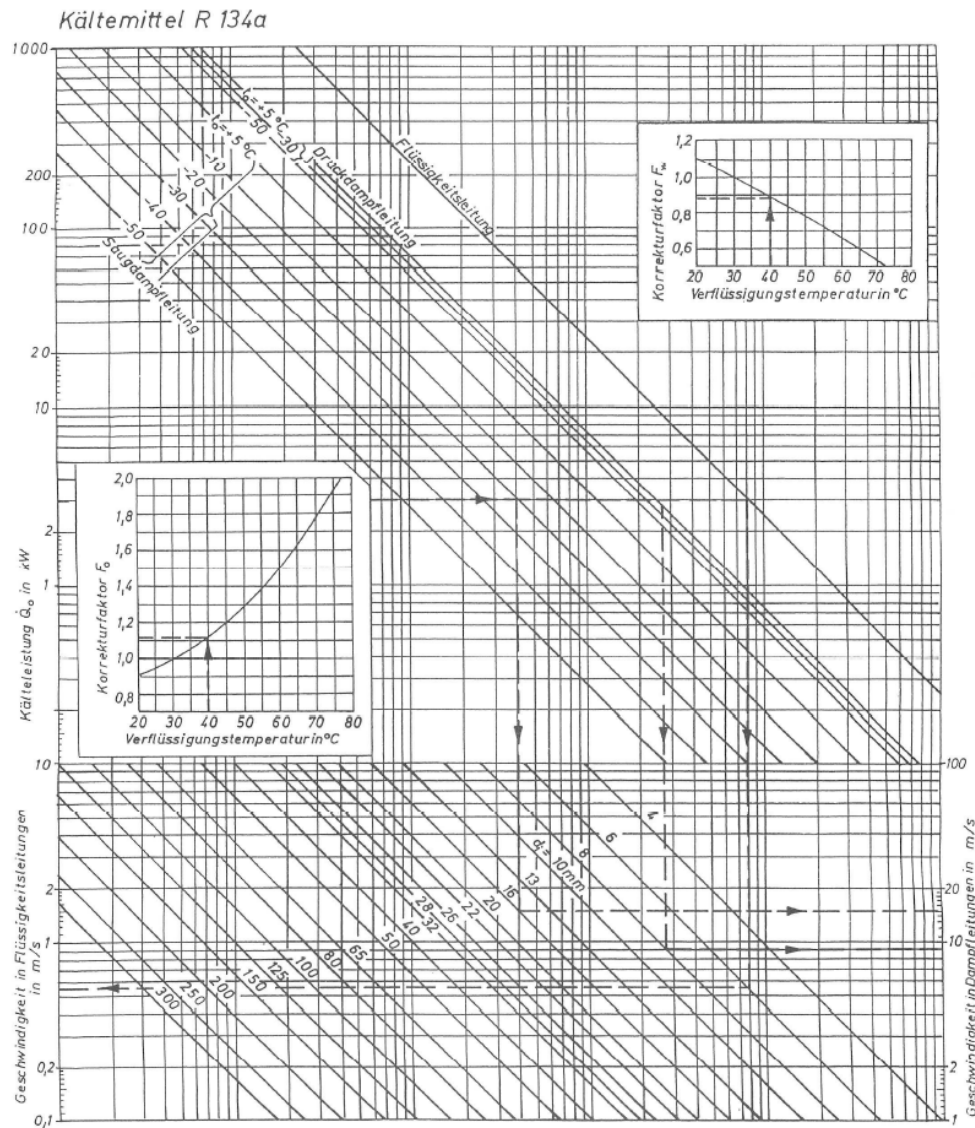


Abbildung 3–4: Nomogramm, Geschwindigkeiten in Rohrleitungen für R 134a

Quelle : Bundesfachschule Kälte-Klima Technik

3.3.1 Auslegung/Nachrechnung der Saugdampfleitung

Die Auslegung von Saugdampfleitungen erfolgt im Wesentlichen nach folgenden Kriterien:

- Sicherstellung des Öltransportes
- Vermeidung von äquivalenten Druckabfällen $>2K$

Aufgrund der Kürze der Saugdampfleitung sowie des örtlich tiefer als der Verdampfer angeordneten Verdichters, wird auf eine intensive Berechnung der Saugleitung verzichtet. Es wird lediglich darauf geachtet, dass die Saugleitung mit stetigem Gefälle verlegt ist.

3.3.2 Berechnung der minimalen Kälteleistung zum Öltransport in der Druckdampfleitung

Wie eingangs erwähnt, wird der Kaltwassersatz mit der Möglichkeit der variablen Leistung ausgestattet. Da im Nennpunkt jedoch die Auslegung erfolgt (gewählte Heissgasleitung 22x1mm), soll in diesem Kapitel die Berechnung der minimal notwendigen Leistung erfolgen, die benötigt wird, um den Öltransport in den Steigleitungsabschnitten sicherzustellen. Desweiteren soll es die Erkenntnis liefern, ob evtl. Leitungssplittungen für die Teillast in Erwägung gezogen werden muss. Die Berechnung der minimal erforderlichen Geschwindigkeit erfolgt auf Basis der Jakobs-Gleichung [11]. Hierzu wird u.A. die Dichte des Kältemittelölgemisches benötigt. Diese ist in Abbildung 3-5 über der Kältemitteltemperatur mit Hilfe der Gemischkonzentration aufgetragen.

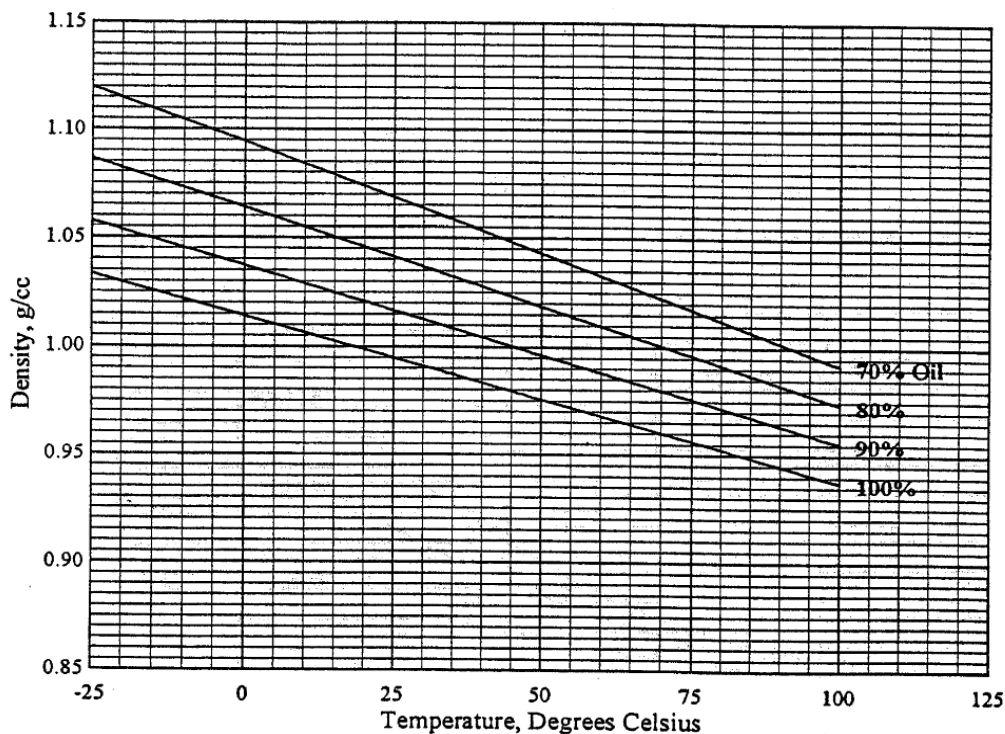


Abbildung 3-5: Dichte von Fuchs Triton SEZ32 / R134a Gemischen

Quelle : Fuchs Europe Schmierstoff GmbH

Die Ausgangsform der Jakobs-Gleichung [11] lautet wie folgt:

$$w_{\min, \text{Steigabschnitt}} = 0,92 * \sqrt{\frac{g * d_i * 10^3 * \frac{\rho_{KM, \text{öl}}}{1 * 10^3} - \frac{\rho_{KM}}{1 * 10^3}}{\sqrt{\rho_{KM}}}} \quad (3.10)$$

Die Zusammenhänge für die Strömungsgeschwindigkeit im Rohr sowie der Strömungsfläche und des Massenstromes sind:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{q_0}, \quad (3.11)$$

$$w = \frac{\dot{m}}{\rho_{KM} * A}, \quad (3.12)$$

$$A = \frac{\pi}{4} * d_i^2. \quad (3.13)$$

Setzt man (3.11) und (3.13) in (3.12) ein so erhält man:

$$w = \frac{\frac{\dot{Q}}{q_0}}{\rho_{KM} * \frac{\pi}{4} * d_i^2}. \quad (3.14)$$

Setzt man nun (3.14) und (3.10) gleich erhält man:

$$\frac{\frac{\dot{Q}}{q_0}}{\rho_{KM} * \frac{\pi}{4} * d_i^2} = 0,92 * \frac{\sqrt{g * d_i * 10^3 * \frac{\rho_{KM,öl}}{1 * 10^3} - \frac{\rho_{KM}}{1 * 10^3}}}{\sqrt{\rho_{KM}}}. \quad (3.15)$$

Stellt man (3.15) nach der Kälteleistung (\dot{Q}) um ergibt sich:

$$\dot{Q} = 0,722566 * d_i^2 * q_0 * \sqrt{\rho_{KM}} * \sqrt{-0,001 * \rho_{KM} + d_i * g * \rho_{KM,öl}}. \quad (3.15a)$$

Setzt man nun die Werte aus Tabelle 3-2 sowie die Dimension der ausgelegten Heissgasleitung und der Dichte des Öl-Kältemittelgemisches, (vgl. Abbildung 3-5) in die Formel (3.15a) ein, so erhält man die minimal erforderliche Leistung im Nennpunkt für die Sicherstellung des Öltransportes:

$$\dot{Q} = 0,722566 * (0,02[m])^2 * 168,85[\frac{kJ}{kg}] * \sqrt{39,4[\frac{kg}{m^3}] *}$$

$$\sqrt{-0,001 * 39,4 \left[\frac{kg}{m^3} \right] + 0,02 [m] * 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right] * 970 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} = 4,2257$$

Die erforderliche Leistung erscheint als gering genug, um auf eine Steigleitungssplittung zu verzichten. Soll sich wider Erwarten hierbei herausstellen, dass es in bestimmten Punkten zu Schwierigkeiten kommt, so kann mit relativ geringem Aufwand (etwa durch die zyklische kurzzeitige Anhebung der Verdichterdrehzahl in der Steuerung) gegengesteuert werden.

3.3.3 Auslegung der Flüssigkeitsleitung

Das Hauptkriterium für die Auslegung von kältemittelführenden Leitungen für Saugdampf oder Druckdampfleitungen einer DX-Kälteanlage liegt hauptsächlich in der Energieeffizienz und der Sicherstellung des Öltransportes. Beide Punkte spielen in der Flüssigkeitsleitung eine eher untergeordnete Rolle. In der hier untersuchten Anlage liegt das Augenmerk vielmehr auf folgenden Gesichtspunkten:

- Sicherstellung von reiner Flüssigkeit vor dem Drosselorgan
- Vermeidung beschleunigter Flüssigkeit durch Ventilschaltungen
- Geschwindigkeit der fließenden Flüssigkeit $\sim 0,5$ m/s

Die ersten beiden Punkte sollen hierbei hinreichend bekannt sein. Da die Vielzahl aller DX-Kälteanlagen in diesem Leistungsbereich mit TEV arbeiten, wird hier nochmals speziell auf die Geschwindigkeit der fließenden Kältemittelflüssigkeit hingewiesen. Diese sollte den Wert von 1 m/s nicht überschreiten.

3.4 Aufstellung der Philips Gaskältemaschine

In diesem Kapitel wird nun kurz dargestellt werden, welche Überlegungen zur örtlichen Aufstellung der Gaskältemaschine getätigt wurden. In [4] wurde ein Betonsockel, siehe Abbildung 3-6, unter der Gaskältemaschine vorgeschlagen, der schlicht mit seiner Masse gegen die Schwingung wirken sollte.

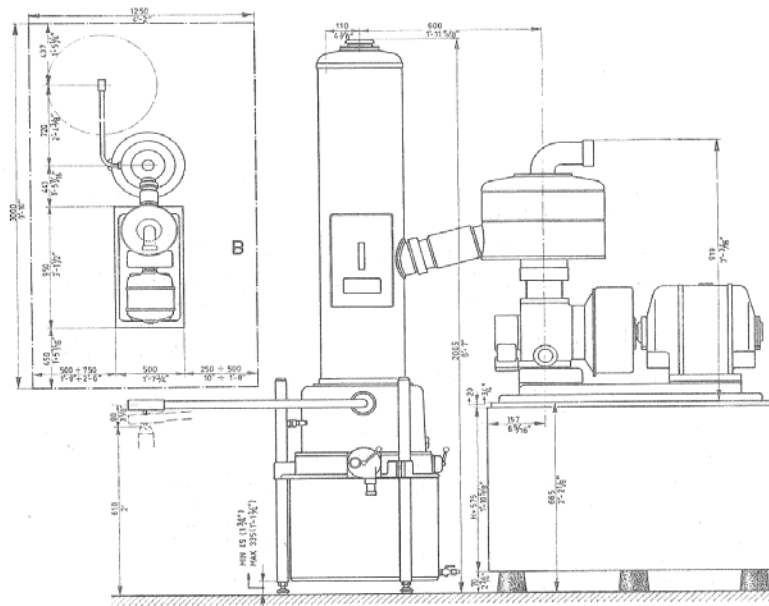


Abbildung 3–6: Aufstellungsvorschlag der Fa. Philips

Quelle : Philips Service

Im Aufstellungsort des Maschinenlabor der BFS war jedoch lange Zeit die genaue Beschaffenheit des Estriches und des Untergrundes unbekannt, sodass man sich für einen Stahlbau, gem. Anlage A13, entschied. Der Stahlbau wurde extern gefertigt. Er ruht wiederum auf Schwingungsisolatoren und steht aufgrund der Gewichtsverteilung auf einer Betonplatte. Diese Betonplatte andererseits wurde vor Ort auf eine Gummigranulatunterlage gegossen. Ziel dieser Konstellation, wie sie Abbildung 3-7 zeigt, war es, die mittleren Frequenzen in den Schwingungsisolatoren unter dem Stahlbau zu kompensieren. Die niederen Frequenzen wiederum, werden in die Betonplatte geleitet, welche mit Ihrer Masse dagegen wirkt. Die Platte selbst wurde, wie bereits erwähnt, auf Gummigranulat gegossen. Dies soll verbleibende niedere Schwingungen und Körperschall kompensieren. Des Weiteren wurde der Stahlbau so ausgelegt, dass es nachträglich möglich ist, durch Gewichtseinlagen die Gegenmasse weiter zu erhöhen.

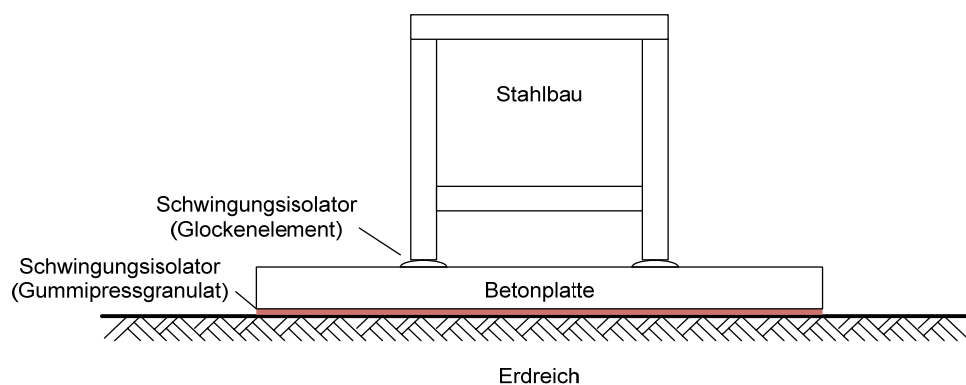


Abbildung 3–7: Aufstellung der Gaskältemaschine im Querschnitt

4 Beschreibung der speicherprogrammierbaren Steuerung

Der Begriff "Programmierbare Steuerung" entstand durch eine wörtliche Übersetzung der amerikanischen Bezeichnung "Programmable Controller" oder abgekürzt PC. In der Zwischenzeit wird der Begriff PC für "Personal Computer" verwendet und man führte die Abkürzung SPS für "Speicher Programmierbare Steuerung" ein. Der Begriff SPS wird nun wie folgt definiert: Die speicherprogrammierbare Steuerung ist ein speicherprogrammierbares Automatisierungsgerät mit anwenderorientierter Programmiersprache, das im Schwerpunkt zum Steuern eingesetzt wird. Das Programm kann in der Anwenderprogrammiersprache direkt in das Automatisierungsgerät eingegeben werden und aus diesem ebenfalls unmittelbar rückübersetzt und ausgegeben werden.

So kam die Forderung nach einem Steuerungstyp, der im Gegensatz zu festverdrahteten Relais-, Schütz- oder Elektroniksteuerungen speicherprogrammierbar sein soll, bereits 1968 von General-Motors, wobei folgende Kriterien im Vordergrund standen:

- Die Steuerung soll einfach und bei Bedarf auch neu programmierbar sein
- Die Steuerung sollte zuverlässiger als eine elektromechanische Lösung arbeiten und im Preis-Leistungsverhältnis den bekannten Lösungen überlegen sein.

Mit der Entwicklung der Halbleitertechnologie bestand die Möglichkeit, diese Forderungen mit "Speicherprogrammierbaren Steuerungen" (SPS) zu erfüllen.

4.1 Aufbau und Funktionsweise einer SPS

Im vorhergehenden Kapitel wurde der grundsätzliche Aufbau und die Funktionsweise einer SPS beschrieben. Die Bestandteile der Steuerung werden am Beispiel der Philipsgaskältemaschine veranschaulicht.

4.2 Allgemeiner Aufbau und Funktionsweise

Eine Speicherprogrammierbare Steuerung besteht grundsätzlich aus folgenden 3 Hauptkomponenten:

- Eingänge
- Zentralbaugruppe
- Ausgänge

In der Eingangskomponente werden die eingehenden Signale der Sensoren (Geber) durch ein Anpassungsmodul in, von der Zentralbaugruppe verarbeitbare, Signale umgewandelt. Dies ist in Abbildung 4-1 ersichtlich.

In der Zentralbaugruppe befindet sich das Anwenderprogramm. Es erfasst die aktuellen Zustände der Geber. Durch Merker, Akkumulatoren, Zeit- und Zählerfunktionen kann das Anwenderprogramm die Sensorenzustände mit (programmierten) Sollwerten vergleichen, programmierte logische Funktionen ausführen und Informationen an die Ausgangskomponente übertragen.

In der Ausgangskomponente werden diese Informationen angepasst und an die Aktoren und Stellglieder, die mit den Ausgängen verbunden sind, ausgegeben.

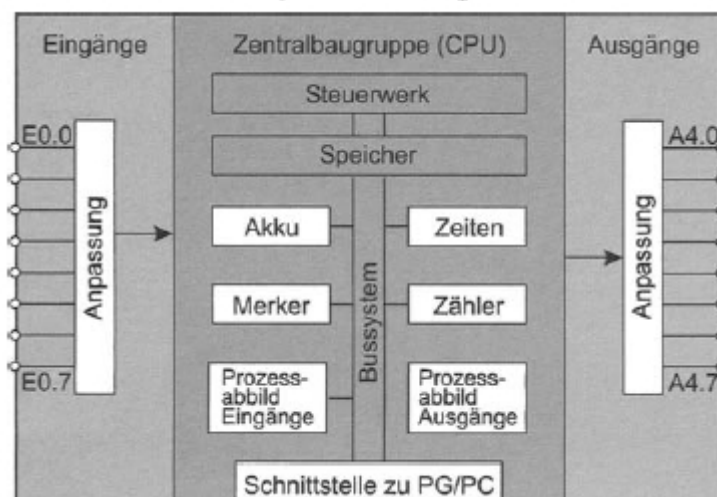


Abbildung 4–1: Allgemeiner Aufbau einer SPS

Quelle: Automatisieren mit SPS- Übersichten und Übungsaufgaben, S. 2, Vieweg Verlag

Wie in Darstellung 4-2 gezeigt, funktioniert eine SPS in der Regel "zyklusorientiert". Das bedeutet, das Anwenderprogramm wird über eine Anweisungsliste, die im Speicher abgelegt ist und sequentiell bearbeitet wird, realisiert. Die Anweisungsliste besteht aus logischen Befehlen wie UND, ODER und SETZEN in Verbindung mit einer Adressierung. Jede Verknüpfung, die die Steuerung durchzuführen hat, steht in fester Reihenfolge im Speicher und wird nacheinander in zyklischer Folge aufgerufen und bearbeitet. Ist das Programm einmal bis zum Ende durchgelaufen, beginnt die Bearbeitung des Programms wieder von vorne.

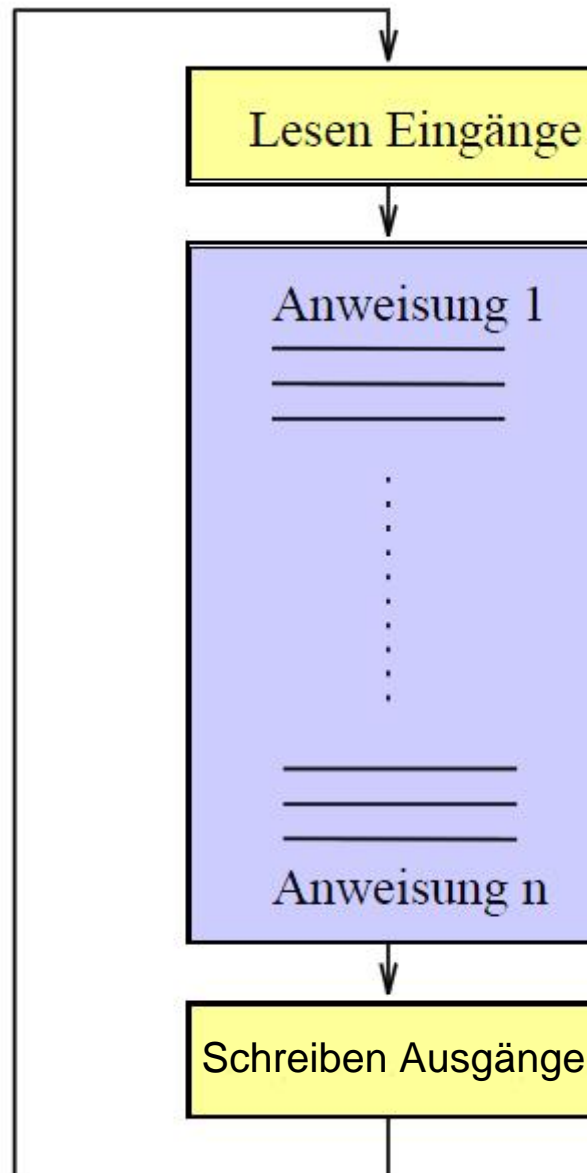


Abbildung 4-2: Zyklen eines Anwenderprogramms

4.3 **Aufbau der SPS für die „Philips-Anwendung“**

Die Saia-Burgess PCD3 SPS ist modular aufgebaut. Das bedeutet, durch Steckmodule kann die Steuerung erweitert bzw. an die Anforderungen angepasst werden. Für den Anwendungsfall des Philips-Kryogenerator werden drei Eingangs- und vier Ausgangsmodule sowie ein Flashkartenmodul benötigt. Wie aus der Abbildung 4-3 ersichtlich ist, kommen verschiedene Module zum Einsatz.

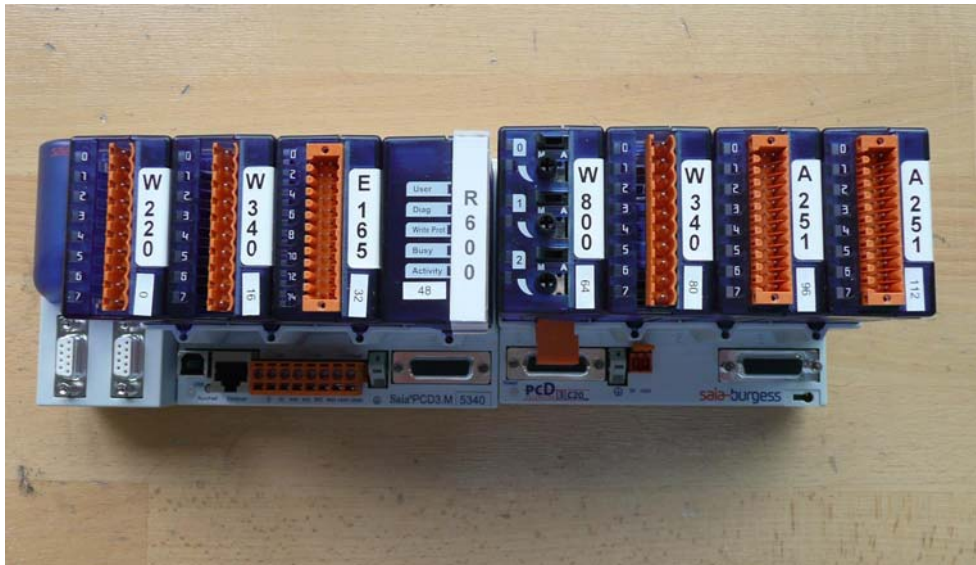


Abbildung 4–3: Module der SPS

- **Eingangsmodul W220**

An diesem Modul können bis zu 8 Temperatursensoren angeschlossen werden. Es dient zur Außenluft-, Verflüssigungs-, Verdampfungs-, Heißgas-, Unterkühlungs- und der Wassertemperaturerfassung.

- **Eingangsmodul W340 (2 Stück)**

Das Modul W340 ist für einen universellen Einsatz geeignet. Es besitzt 8 Kanälen mit je 12 Bit Auflösung. So können Spannungen 0...10 V und Ströme 0...20 mA sowie Signale von verschiedenen Temperaturmesssonden erfasst werden. Im Philips-Anwendungsfall nehmen die angeschlossenen Drucktransmitter den Verdampfungs- und Kondensationsdruck sowie die Drücke der Messgasanschlüsse auf.

- **Eingangsmodul E165**

Dieses Eingangsmodul verfügt über 16 Digitaleingänge, die wahlweise im Quell- oder Senkenbetrieb bei 24 V DC genutzt werden können. Mit diesem Bauelement werden Systemzustände und Störmeldungen wie z.B. das Auslösen des Hoch- oder Niederdruckschalters erfasst.

- **Ausgangsmodul A251 (2 Stück)**

In diesem Modul sind 8 Relais für Gleich- und Wechselspannung bis 2A, 48 V AC untergebracht. Davon besitzen sechs Relais Umschaltkontakte und zwei davon nur einen Schließerkontakt. Es wird genutzt um Anlagenteile, wie zum Beispiel den Motor des Philips-Kryogenerators, einzuschalten. Um die maximale Schaltlast der eingebauten Relais nicht zu überlasten, werden die

Lastströme der Verbraucher über Leistungsschütze bzw. Koppelrelais geschaltet, die von den Relais im Ausgangsmodul aktiviert werden.

- **Ausgangsmodul W800**

Das Modul W800 ist ein analoges Ausgangsmodul mit Handbedienmöglichkeit. Im Automatikmodus stehen 4 analoge Ausgangskanäle 0...10 V mit je 10 Bit Auflösung zur Verfügung. Die Ausgänge werden zu Regelungszwecken wie z.B. als Regelungssignal des Frequenzumrichters des Kryogeneratormotors, genutzt. Drei der analogen Ausgangskanäle verfügen über Handbedienfunktion. In diesem Modus wird die Ausgangsspannung mittels der Potentiometer auf der Frontplatte voreingestellt. Über diese Potentiometer soll ein manuelles Regeln, z.B. des Verflüssigerlüftermotores, realisiert werden.

- **Speichermodul R600 für Flashcards**

Dieses Speichermodul für die SD flash Memory Karte dient als Backup für das User Programm und für die Datenaufzeichnung. Auf die Dateien kann über FTP- oder Web-Server der PCD3 zugegriffen werden. Die SPS kann auch PC-lesbare Dateien (*.csv Dateien) direkt auf das Modul schreiben. Im Modul können SD Karten bis 1 GB Kapazität genutzt werden.

4.4 Realisierung des „Philipsprojekts“

4.4.1 Aufgabenstellung

Wie der Anlage A3 entnommen werden kann, besitzt die Anlage Sicherheitseinrichtungen, wie Hoch- und Niederdruckschalter und einen Flusswächter. Des Weiteren werden die Verbraucher, wie der Verdichter, der Verflüssigerventilator und der Motor des Kryogenerators vor Überlastung geschützt. Diese Systemzustände werden von der SPS erfasst und verarbeitet. Im Störfall werden die betreffenden Anlagenteile gestoppt und durch Signallampen eine Störmeldung ausgegeben. Die Kältemitteldrücke und sowie die Temperaturen der einzelnen Anlagenteile werden durch die SPS registriert. Diese werden über die Speicherkarte im Modul R600 oder durch eine USB- oder Netzwerkverbindung auf einen Computer übertragen und dort ausgewertet.

4.4.2 Anwenderprogramm

4.4.3 Störmeldung

Die Abbildung 4-4 zeigt die erste Seite des Funktionsplans des Anwenderprogramms. Das Anwenderprogramm wird mit der „PG5“-Software von Saia-Burgess erstellt. Durch das Setzen der logischen Bauteile und das Verknüpfen dieser Elemente entsteht ein Funktionsplan. Dieser Funktionsplan wird von PG5 kompiliert und kann anschließend in den Speicher der SPS übertragen werden. Durch einen Reset wird anschließend das neue Programm geladen und die SPS erfüllt die neuprogrammierten Aufgaben.

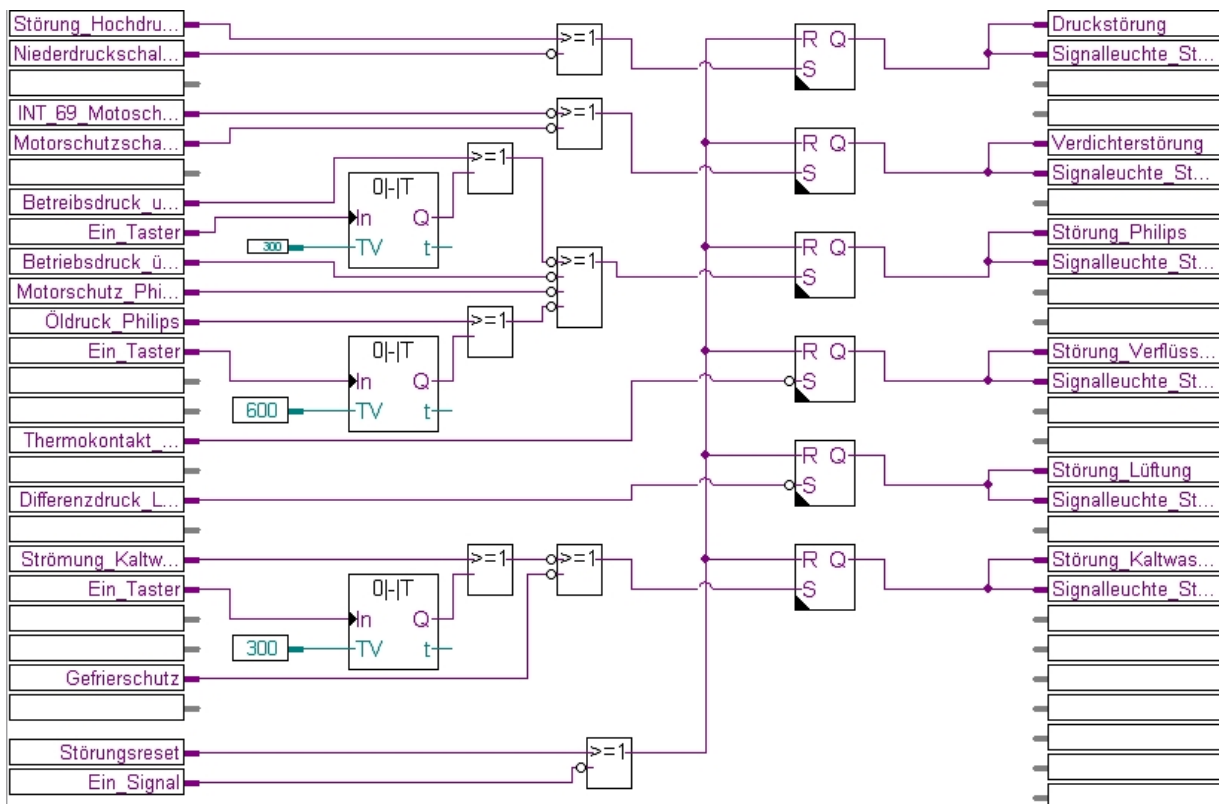
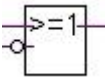
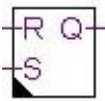
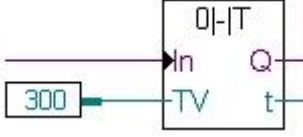


Abbildung 4-4: Anwenderprogramm: Störmeldungen

Logische Bauteile:

 Oder Verknüpfung	Liegt an einem der Eingänge ein „Ein“-Signal an, so hat auch der Ausgang ein „Ein“-Signal. Hinweis: der Kreis invertiert das Signal am Eingang 2.
	Wird am S-Eingang ein „Ein“-Signal angelegt, so wird der Ausgang ebenfalls auf „Ein“ gesetzt. Dies bleibt solange, bis auf dem

RS Flip-Flop	Resetkanal ein „Ein“-Signal anliegt.
 <p>Abfallverzögerung</p>	Liegt am In-Kanal ein „Ein“-Signal an, so bleibt der Ausgang Q noch für die festgelegte Zeit (Kanal TV), nachdem das In-Signal abgefallen ist, auf „Ein“ gesetzt. Dabei ist die Zeiteingabe in 1/10 Sek. zu machen. Am Kanal t kann der Wert der verbleibenden Zeit entnommen werden.

Funktionsbeschreibung:

Die Steuerung ist leitungsbruchsicher konzipiert, das bedeutet, wenn z.B. am Eingang „Niederdruckschalter“ keine Spannung anliegt, wird die Niederdruckstörung aktiviert. Die kann entweder der Fall sein, wenn der Niederdruckschalter aufgrund eines zu niedrigen Systemdrucks die Verbindung unterbricht oder durch eine fehlerhafte Verbindungsleitung. Auch die anderen Sicherheitsorgane sind auf diese Weise eingebunden.

Eine Ausnahme bildet hier der Hochdruckschalter. Der Hochdruckschalter als eines der wichtigsten Sicherheitsorgane darf nicht über eine Logiksteuerung ausgeführt bzw. geschaltet werden, aus diesem Grund wird das „Ein“-Signal des Hochdruckschalters im Vergleich zu den anderen Eingängen nicht invertiert. Ein Hochdruckschalter besitzt zwei Kontakte, einer davon ist im Normalbetrieb geschlossen. Über diesen Kontakt wird ein Hauptschütz geschaltet, der im Fehlerfall die ganze Anlage stromlos macht. Der zweite Kontakt wird nur im Störfall geschlossen. Dieser ist mit dem Eingang „Störung Hochdruckschalter“ an der SPS verbunden. Liegt an diesem Eingang Spannung an oder am Eingang „Niederdruckschalter“ keine Spannung an, so wird die „Druckstörung“ ausgelöst. Dies wird über die logische Oder-Verknüpfung realisiert. Durch die Invertierung wird bewirkt, dass am Ausgang des Oder-Bausteins ein „Ein“-Signal anliegt, wenn am Eingang „Niederdruckschalter“ keine Spannung anliegt. Dieses „Ein“-Signal wird anschließend an das Flip-Flop weitergeleitet. Das Flip-Flop hält die Störmeldung solange aufrecht, bis ein „Störungsreset“-Signal das Flip-Flop zurücksetzt. Die Druckstörung wird über den Ausgang „Signalleuchte_Störung_Druck“ an eine Signalleuchte weitergegeben und diese zeigt die Druckstörung dem Benutzer an. Gleichzeitig wird das Störungssignal in den Merker „Druckstörung“ geschrieben und steht somit in anderen Seiten des Funktionsplans zur Verfügung.

Die Eingänge „Betriebsdruck_unterschritten_Philips“, „Öldruck_Philips“ und „Strömung_Kaltwasser“ werden über eine Abfallverzögerung, zeitverzögert. So wird beim

Betätigen des „Ein-Tasters“ die Verzögerung aktiviert und eine Störmeldung bleibt auch dann aus, wenn an diesen Eingängen keine Spannung anliegt. Liegt jedoch nach Ablauf der Verzögerungszeit immer noch keine Spannung an dem jeweiligen Kanal an, so wird die betreffende Störung ausgelöst.

Der Störungsreset ist über eine Oder-Verknüpfung mit dem Merker „Ein_Signal“ von der Seite 2 des Funktionsplans verbunden. An diesem Merker liegt von dem Zeitpunkt des ersten Betätigens, bis zum zweiten Betätigen des Ein-Tasters, ein „Ein“-Signal an. Die Umkehrung des Signals bewirkt, dass in dem Zeitraum, während die Anlage unter Strom steht, jedoch der Ein-Taster noch nicht gedrückt wurde, alle Störmeldungen deaktiviert sind.

4.4.4 Freigabe des Kaltwassersatzes

Die Abbildung 4-5 zeigt die Seite 2 des Funktionsplans. Auf dieser Seite wird die Freigabe des Kaltwassersatzes gesteuert.

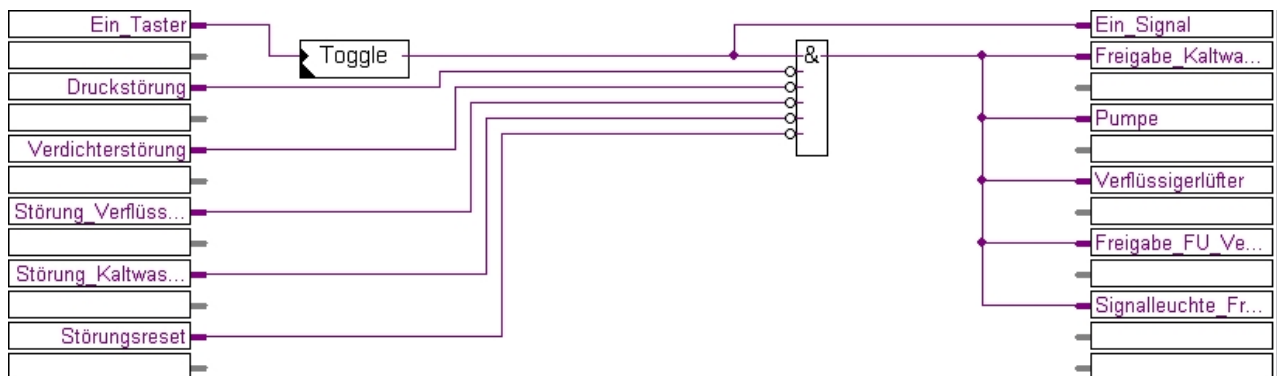
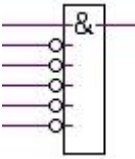
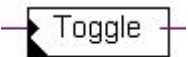


Abbildung 4-5: Anwenderprogramm: Freigabe Kaltwassersatz

Logische Bauteile:

 <p>Und Verknüpfung</p>	<p>Liegt an allen Eingängen ein „Ein“-Signal an, so liegt auch am Ausgang ein „Ein“-Signal.</p> <p>Hinweis: der Kreis invertiert das Signal am Eingang.</p>
	<p>Wird am Eingang ein „Ein“-Signal angelegt, so wird der Ausgang ebenfalls auf „Ein“ gesetzt. Dies bleibt solange, bis am</p>

Flip-Flop	Eingang nochmals ein „Ein“-Signal anliegt.
-----------	--

Funktionsbeschreibung:

Wird der Ein-Taster betätigt, wird dieses Signal bis zum erneuten Betätigen durch das Flip-Flop gehalten. Tritt nun keine Störung auf, welche durch Merker von der vorherigen Seite des Funktionsplan übertragen wurde, so wird der Kaltwassersatz freigegeben. Das Freigabesignal wird in einen Merker geschrieben und die Pumpe, der Verflüssigerlüfter, der Frequenzumformer des Verdichters und die Signalleuchte „Freigabe Kaltwassersatz“ werden aktiviert.

4.4.5 Freigabe Kryogenerator

Die Abbildung 4-6 zeigt die 3. Seite des Funktionsplans. Auf dieser Seite wird die Freigabe des Kryogenerators gesteuert.

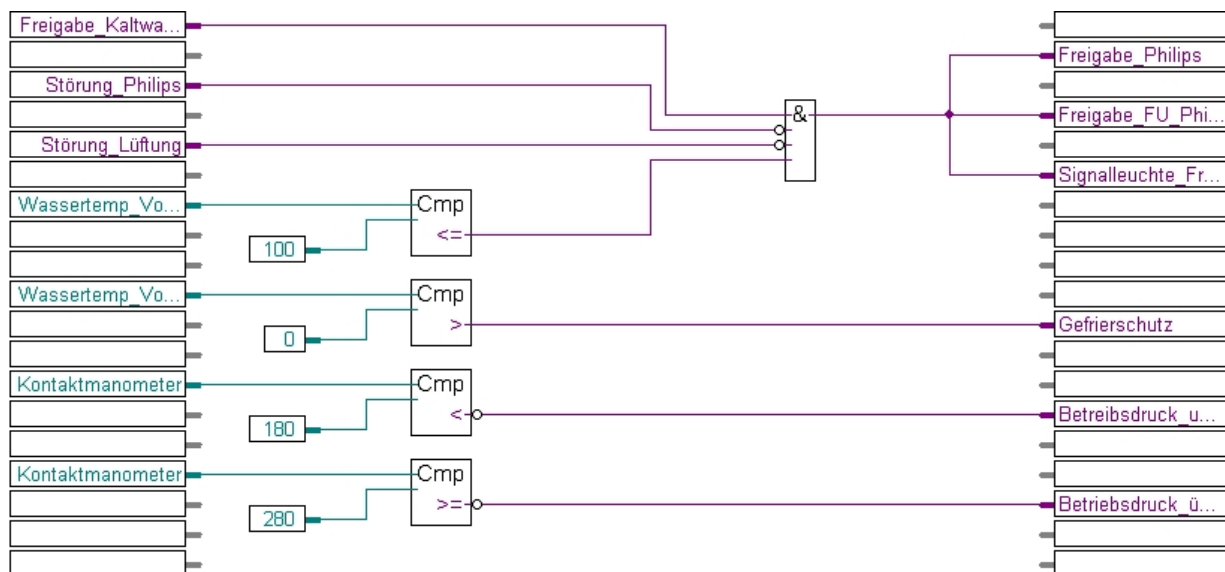


Abbildung 4-6:

Anwenderprogramm: Freigabe Kryogenerator

Logische Bausteine:

<p>Vergleich (kleiner/gleich)</p>	<p>Mit diesem Baustein werden Werte verglichen, entspricht der anliegende Wert dem Vergleichswert (in 1/10 einzugeben), so wird ein „Ein“-Signal ausgegeben.</p>
-----------------------------------	--

Funktionsweise:

Die Freigabe des Kryogenerators erfolgt erst dann, wenn die Freigabe des Kaltwassersatzes vorliegt, keine Störungen auftreten und das Kühlwasser die gewünschte Temperatur erreicht hat. Dies wird durch die Und-Verknüpfung sowie dem Vergleichsbaustein realisiert. Die Freigabe wird in den Merker geschrieben und gleichzeitig werden der Frequenzumformer des Kryogenerators sowie die Signallampe „Freigabe Philips“ eingeschaltet.

Die anderen Vergleichsbausteine dienen als Gefrierschutz, indem sie die Wassertemperatur mit dem Wert von 0 °C vergleichen. Wird die Temperatur unterschritten, so wird dies durch Merker auf die Seite der Störmeldungen übertragen und somit die Anlage gestoppt.

Die Überprüfung des Betriebsdruckes des Kryogenerators funktioniert auf ähnliche Weise. Wird der Druck von 28 bar über- bzw. 16 bar unterschritten, wird dies als Störmeldungen registriert.

4.4.6 Analoge Eingänge

Die Abbildung 4-7 zeigt die Einbindung der Analogen Eingangsmodule W220 und W340. Analoge Eingänge werden nicht wie Digitaleingänge über die Kontaktleiste auf der rechten Seite im Funktionsplan, sondern als logische Bausteine eingebunden.

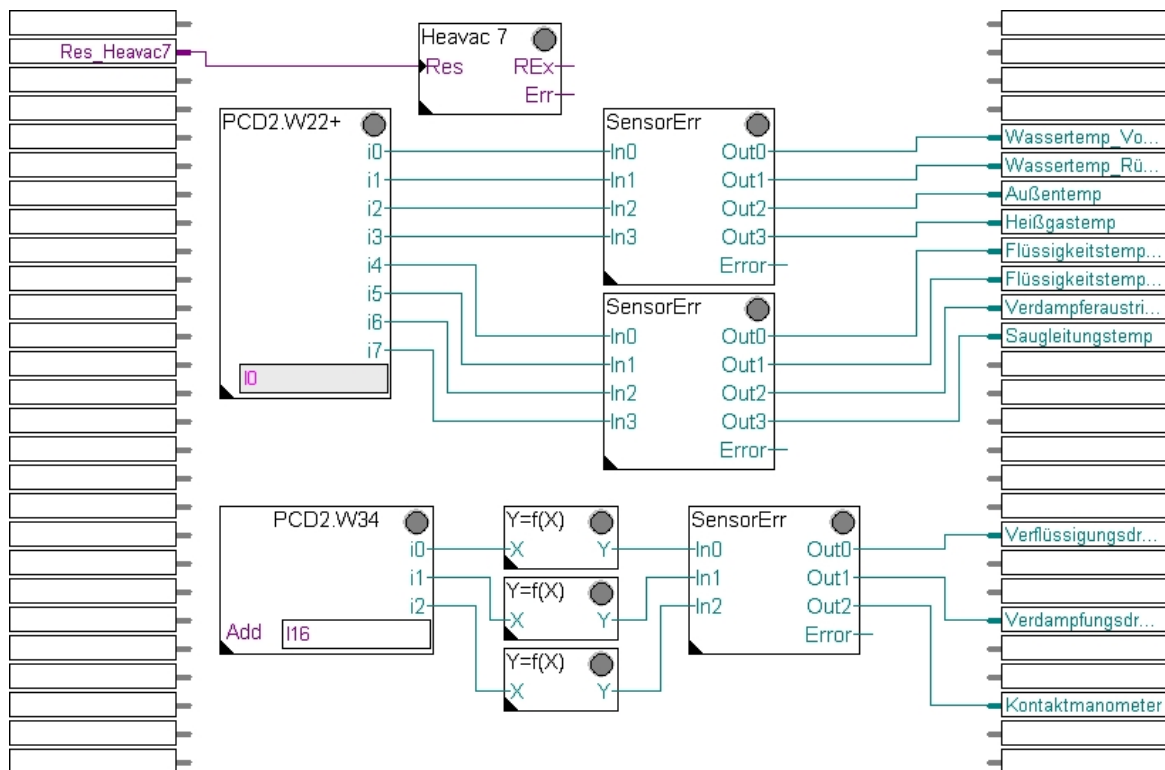
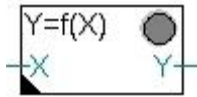

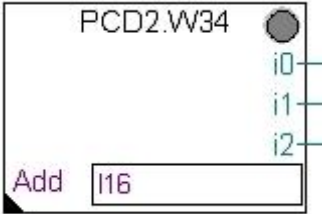

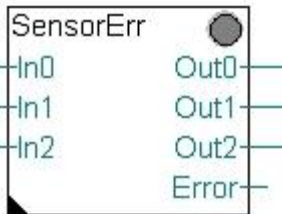


Abbildung 4-7: Anwenderprogramm: Analoge Eingänge

Logische Bausteine:

 <p>Umwandlung</p>	<p>In diesem Baustein werden eingehende Werte linear umgewandelt. So wird in diesem Anwendungsfall dem Eingang von 4...20 mA ein Druck von 0...25 bar zugeordnet.</p>
 <p>Initialisierung HLK 7</p>	<p>Die Bausteine der Eingangsmodule W220 und W340 sind Bestandteile einer speziellen Bibliothek für logische Bauteile der Heizungs-, Lüftung- und Klimatechnik. Durch diesen Baustein wird die Bibliothek geladen und die Bausteine der Eingangsmodule aktiviert.</p>
 <p>Eingangsmodul W340</p>	<p>Bei diesem Eingangsmodul wird die Adresse der einzulesenden Eingänge festgelegt. Da es sich hier um ein Universaleingangsmodul handelt, muss ebenfalls die Art des Eingangssignals (0...10V, 0...20 mA, 4...20 mA oder PT1000) gewählt werden.</p>
 <p>Eingangsmodul W220</p>	<p>Bei dem Eingangsmodul W220 muss ebenfalls die Adresse der Eingangskanäle festgelegt werden. Auch hier muss der Typ der angeschlossenen Temperaturfühler festgelegt werden. Das Modul in diesem Anwendungsfall hat die Adresse I0, was bedeutet, dass es sich bei dem Modul um ein Eingangsmodul handelt und dieses sich im erste Steckplatz der SPS befindet.</p>
 <p>Fühlerfehler</p>	<p>Der Baustein „Fühlerfehler“ soll verhindern, dass falsche Messwerte die Anlage gefährden. Dies wäre z.B. beim Gefrierschutz der Fall. Aus diesem Grund werden in dem Baustein Einsatzgrenzen hinterlegt. Weicht der gemessene Wert hiervon ab, gibt der Baustein einen vorher gewählten Fehlerwert z.B. -9999.99 °C aus und der Gefrierschutz löst aus.</p>

Funktionsbeschreibung:

Die Initialisierung der HLK 7 Bibliothek aktiviert die Eingangsmodule. Der gemessene Temperaturwert des W220 Moduls wird von einem „Fühlerfehler“-Baustein überwacht, um eine Gefährdung der Anlage durch falsche Messwerte auszuschließen. Nach der Überprüfung werden die Werte in die Merker geschrieben um auf einer weiteren Seite des Funktionsplans wieder genutzt werden zu können.

Die Werte des Eingangsmoduls W340 werden vor der Überprüfung des „Fühlerfehler“-Bausteins linear, entsprechend der Abbildung 4-8, umgewandelt und anschließend in die Merker geschrieben.

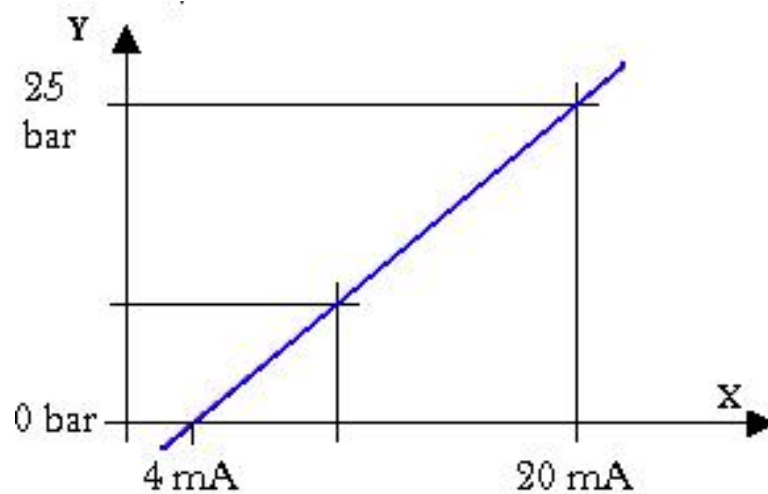


Abbildung 4-8: Lineare Umwandlung

4.4.7 Analoge Ausgänge

Auf Abbildung 4-9 lässt sich die Programmierung der analogen Ausgänge erkennen. Diese wird durch Logikbausteine realisiert.

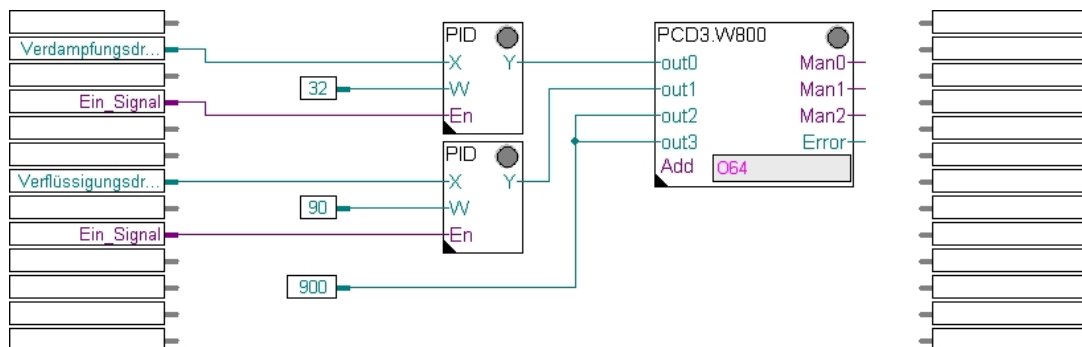
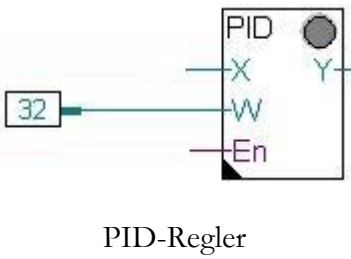



Abbildung 4-9: Anwenderprogramm: analoge Ausgänge

Logische Bausteine:

 <p>PID-Regler</p>	<p>Dieser PID-Regler soll im Allgemeinen die Regelgröße (Eingang X) durch die Beeinflussung der Stellgröße (Ausgang Y) so nahe wie möglich an den Sollwert (Eingang W) steuern. Der Sollwert ist in 1/10 anzugeben.</p>
 <p>Ausgangsmodul W800</p>	<p>Bei dem Ausgangsmodul W800 wird die Adresse der Ausgangskanäle festgelegt. Da dieses Modul mit Potentiometer die Möglichkeit für den manuellen Betrieb bzw. eine manuelle Ausgangswerteinstellung bietet, muss die Skalierung des Potentiometers bestimmt werden.</p>

Funktionsbeschreibung:

Der PID-Regler des Verdampfungsdrucks hat die Aufgabe den aus dem Merker „Verdampfungsdruck“ ausgelesenen Wert durch das verändern des Wertes am Ausgang Y an den Sollwert von 3.2 bar anzunähern und zu halten. Der Wert des Ausgangs Y wird an das Ausgangsmodul W800 weitergegeben, welches eine Spannung von 0...10 V ausgibt. Durch dieses Spannungssignal wird die Drehzahl des Kältemittelverdichters geregelt.

Die Regelung des Verflüssigerventilators funktioniert auf ähnliche Weise. Hier wird jedoch als Regelgröße der Verflüssigungsdruck verwendet. Als Regelgerät wird für den Ventilator kein Frequenzumformer, sondern ein Phasenanschnittregler verwendet, da der Ventilator einen 1-Phasen, 230V Motor besitzt.

Die Ausgänge 2 und 3 des Moduls sind fest auf 9 V also auf 90 % eingestellt. Einer dieser Ausgang wird für den Frequenzumformer des Kryogenerators verwendet. Dieser soll im Normalfall bei 50 Hz betrieben werden, was 90 % entspricht. Für Versuche kann diese Drehzahl sowie die Drehzahl der anderen Motoren durch die Potentiometer manuell geregelt werden.

4.4.8 Messwerverfassung

Die Abbildung 4-10 zeigt die Seite 6 des Funktionsplans. Auf dieser Seite befinden sich die Datenbankbausteine. Diese werden genutzt, um die erfassten Messdaten zu speichern.

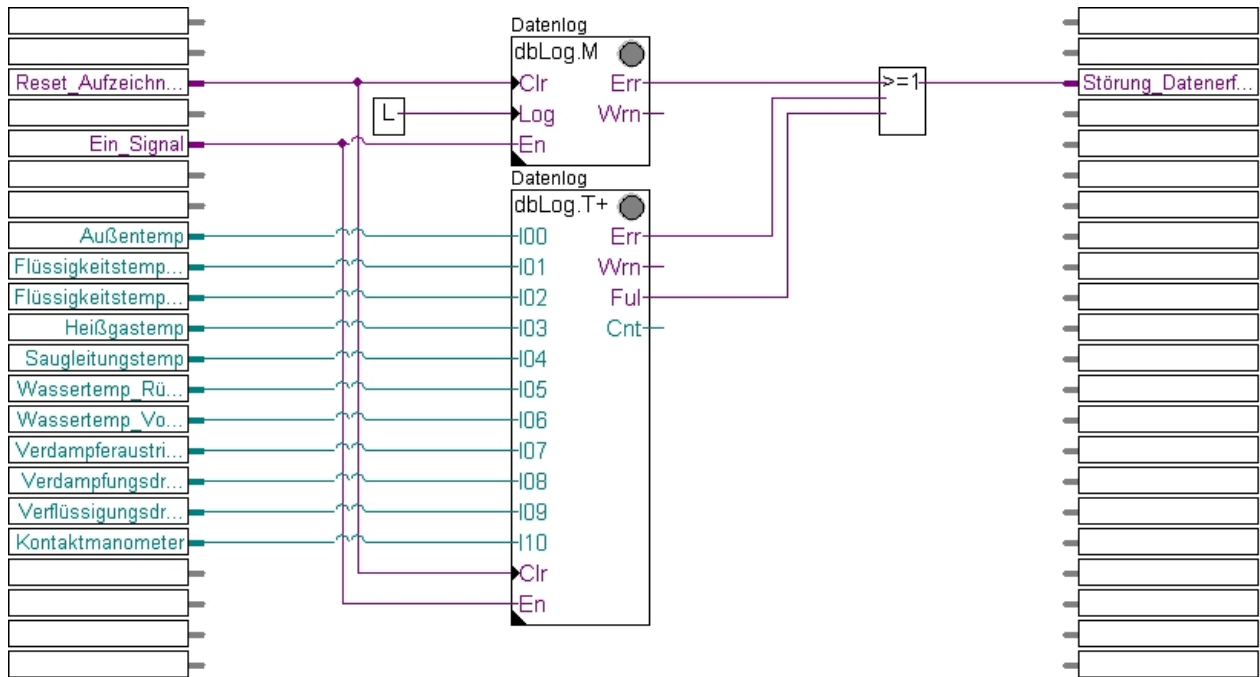
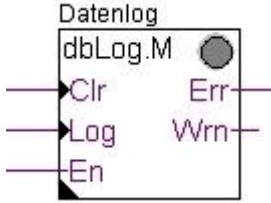
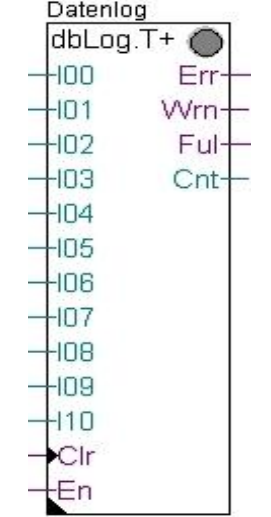


Abbildung 4–10: Messwerterfassung

Logische Bausteine:

 <p>Initialisierung dbLog</p>	<p>Ähnlich wie die Bausteine der Eingangsmodule W220 und W340 sind die dbLog-Elemente Bestandteile einer speziellen Bibliothek für Daten-aufzeichnung. Durch diesen Baustein wird die Bibliothek geladen und die Bausteine der der Datenerfassung aktiviert.</p>
 <p>Ganzzahlaufzeichnung</p>	<p>Dieser Datenlogbaustein dient der zeitgesteuerten Aufzeichnung. Das bedeutet, nachdem er aktiviert wurde, zeichnet er alle eingehenden Werte in einem festgelegten Zeitintervall auf. Des Weiteren kann die Art des Speichers, z.B. Ringpuffer, festgelegt werden. Der Ausgang „Wrn“ gibt ein „Ein“-Signal aus, sobald der Speicher zu 75% gefüllt ist. Ist der Speicher komplett gefüllt, wird ein Fehler auf dem Ausgang „Ful“ ausgegeben.</p>

Funktionsbeschreibung:

Beim Starten der Anlage liegt das „Ein_Signal“ an den „En“ Eingängen der Aufzeichnungsbausteine an und aktiviert diese. Alle eingehenden Temperatur- und Druckmesswerte werden von dem dbLog.T+ Baustein erfasst und in eine Datenbank geschrieben. Diese Datenbank kann durch das Programm „dbLog Filer“ von einem Computer über eine USB- oder einer Netzwerkverbindung ausgelesen werden. Der „Log“-Eingang des Initialisierungselements ist dauerhaft mit einem „L“ - bzw. „Aus“-Signal verbunden. Dieser Eingang dient einer globalen Aktivierung aller Aufzeichnungsbausteine im Funktionsplan. Da diese Funktion nicht benötigt wird, ist der Eingang dauerhaft auf Aus gesetzt. Alle aufgezeichneten Werte werden parallel auf die Flash-Speicherkarte im R600 Speichermodul gesichert. Dies dient als Backup, falls durch einen Fehlerfall die Datenbank zerstört wird.

4.4.9 Fehlererfassung

Die Fehlererfassung wird wie in Darstellung 4-11 gezeigt, durchgeführt. Hierbei werden die Störmeldungen der Seite 1 im Funktionsplan aufgezeichnet.

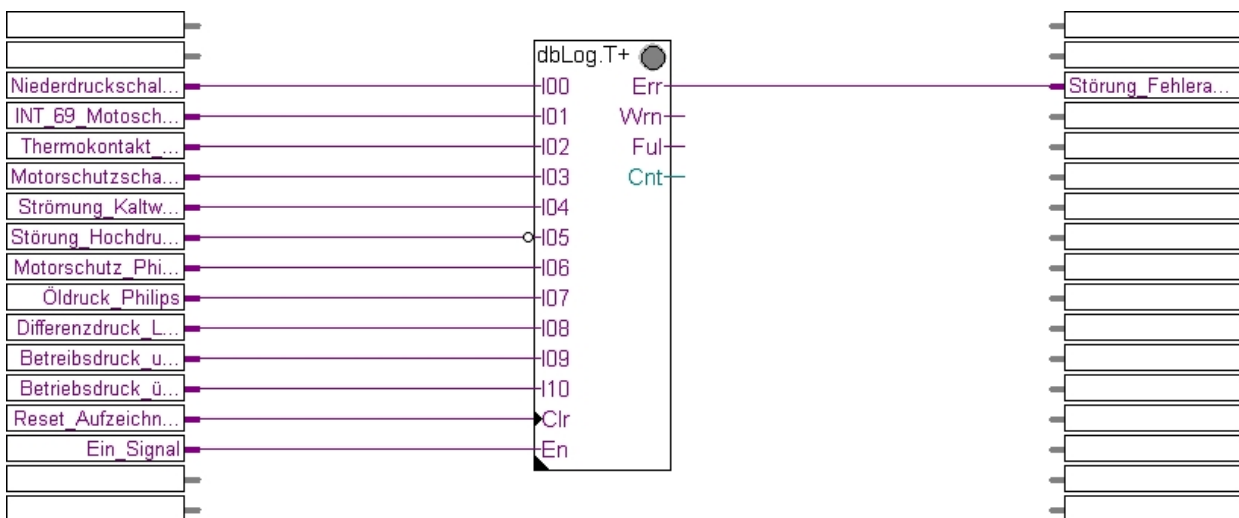


Abbildung 4-11: Fehlererfassung

Funktionsbeschreibung:

Ähnlich wie bei der Messwerterfassung werden auch hier die Merker der Störmeldungen von einem zeitgesteuerten Datenbankbaustein aufgezeichnet. Dies dient zur schnelleren Fehlersuche. Das Signal des Hochdruckschalters wird auch hier invertiert, da dieser Eingang im Normalfall spannungsfrei ist. Die Datenbank kann von einem PC ausgelesen werden.

4.4.10 Betriebsstundenzähler

In der Abbildung 4-12 wird die letzte Seite des Funktionsplans dargestellt. Auf dieser Seite wird ein Betriebsstundenzähler realisiert.

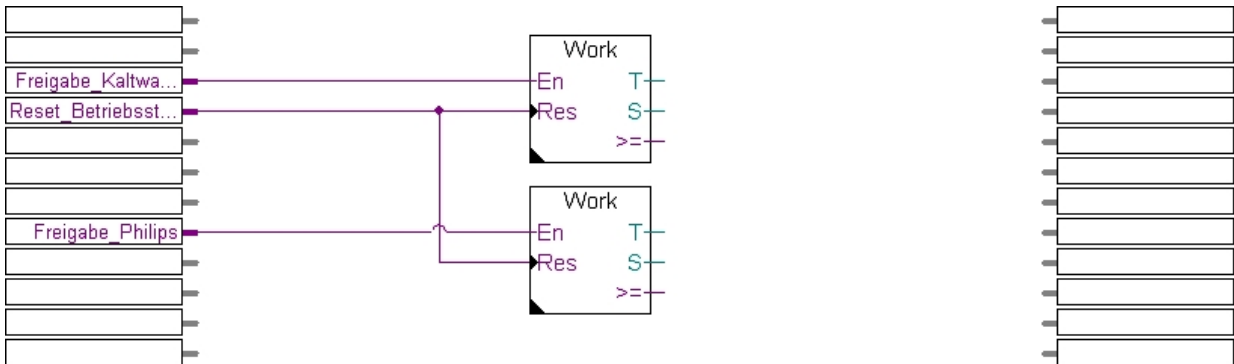
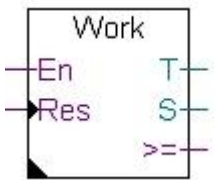


Abbildung 4-12: Betriebsstundenzähler

Logische Bauteile:

 <p>Betriebstundenzähler</p>	<p>Dieser Zähler erfasst die Betriebsstunden und der Anzahl der Einschaltungen. Der Zähler kann manuell oder automatisch zurückgesetzt werden.</p>
--	--

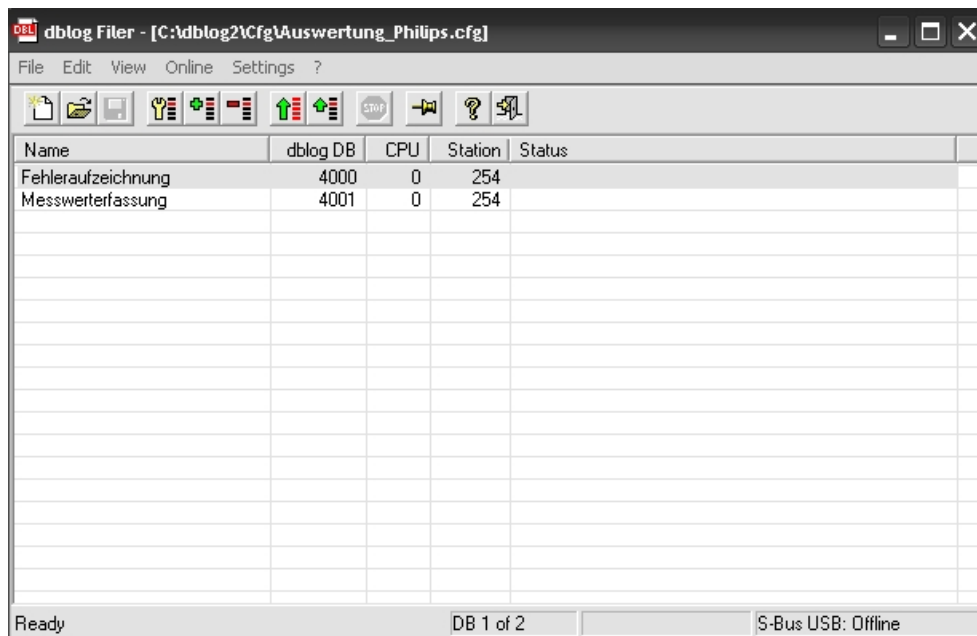
Funktionsbeschreibung:

Mit den Betriebstundenzählern wird das vorhandene mechanische Zählwerk am Schaltschrank des Kryogenerators ersetzt. Da nun die Laufzeiten des Kaltwassersatzes und des Kryogenerators unterschieden werden, lassen sich dadurch exaktere Angaben über den tatsächlichen Energieverbrauch der Anlage machen. Die Bausteine können über die PG5-Software ausgelesen oder zurückgesetzt werden. Eine Erfassung über eine Datenbank wäre ebenfalls möglich.

4.4.11 Auswertung

4.4.12 Datenbankprogramm „dbLog Filer“

Die Darstellung 4-13 zeigt die Software „dbLog Filer“. Mit dieser Software lassen sich die Datenbanken auf der SPS auslesen. Dazu müssen die Namen der Datenbanken, die Adressen und die Verbindung zur Steuerung hinterlegt werden. Im Programm lässt sich das Dateiformat wählen, in das die ausgelesenen Werte umgewandelt und gespeichert werden. Des Weiteren kann eine automatische Übertragung programmiert werden. Die ausgegebenen Dateien können entweder als Ringpuffer, als separate Datei oder als ständig erweiterte Datei gehandhabt werden. Für den Anwendungsfall des „Philips-Projekts“ werden die Werte in einer Excel Datei ausgegeben, die mit jeder Übertragung erweitert wird. Die Auswertung erfolgt über ein Excel Makro.



Name	dblog DB	CPU	Station	Status
Fehleraufzeichnung	4000	0	254	
Messwerterfassung	4001	0	254	

Ready | DB 1 of 2 | S-Bus USB: Offline

Abbildung 4-13: dbLog Filer

Quelle: Fa. Uhlemann

4.4.13 Auswertung über Excel Makro

Die Abbildung 4-14 zeigt das Excel Makro zur Auswertung der Temperatur- und Druckmesswerte. Durch das Drücken des Start-Knopfes, werden aus der zuvor mit dem „dbLog Filer“ erstellen Exceldatei die Werte geladen und automatisch Diagramme erstellt. Durch Drücken der Pfeiltasten, kann der nächste Messwert geladen werden. Das Zeitintervall zwischen den Messwerten wird im dbLog-Baustein im Funktionsplan festgelegt. Der gewählte Messwert wird automatisch in das Fließbild eingefügt und somit kann schnell der Gesamtzustand des System zum Messzeitpunkt überblickt werden. Über die Scrollbalken an den Diagrammen kann der gesamte zeitliche Verlauf in einem Diagramm dargestellt werden.

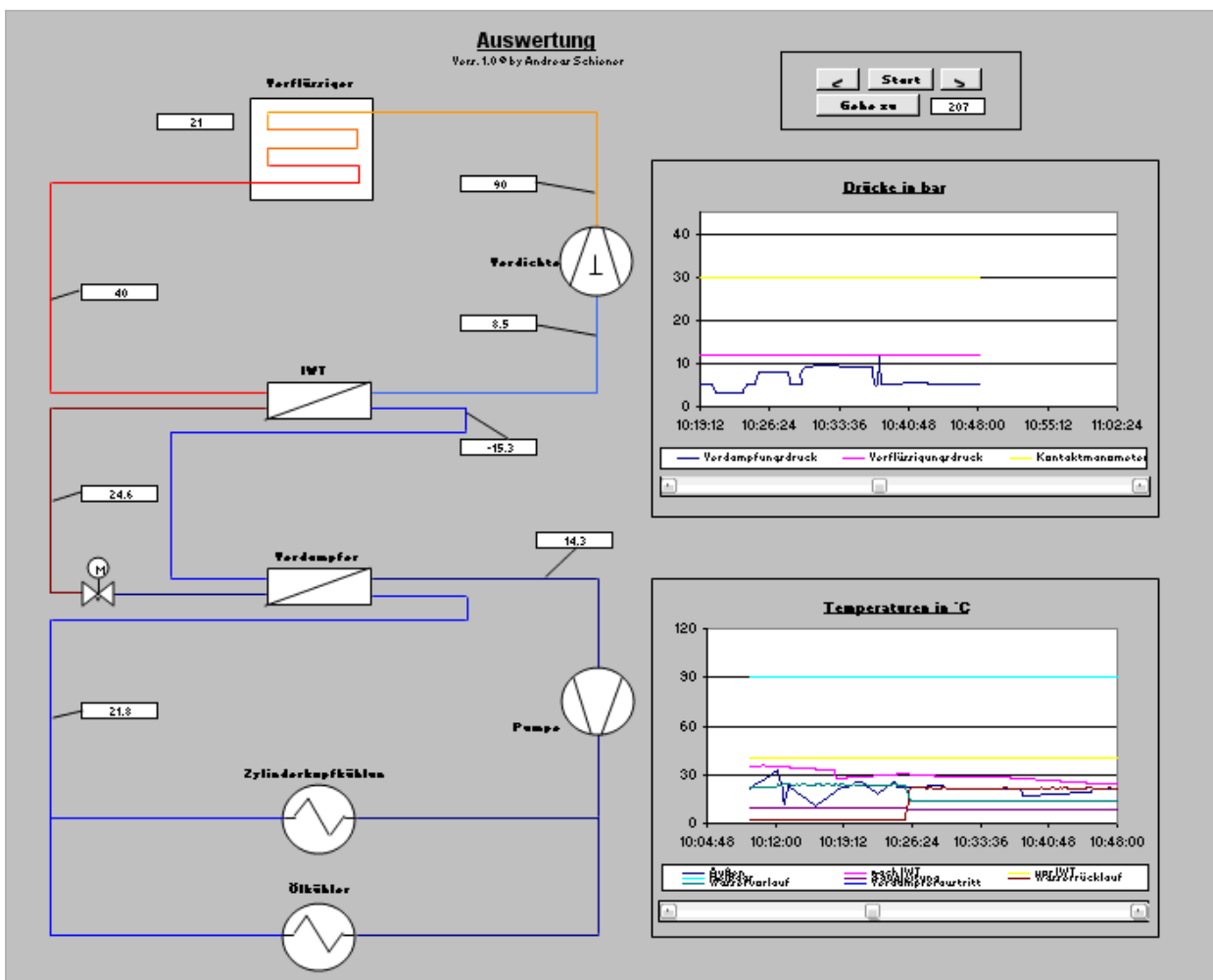


Abbildung 4–14: Excel Makro

5 Die Anlage (Bildergalerie)

Nachfolgend werden hier einige Bilder des Aufbaus sowie der fertigen Anlage gezeigt. Dieses Kapitel soll den Werdegang der Anlage im Verlauf wiedergeben und ist daher ohne viel Text gestaltet.



Abbildung 5-1: Gesamtansicht

5.1 Restauration verschiedener Teile

Wie in Kapitel 1 bereits erwähnt, hatte die Gaskältemaschine einen langen Weg vom ursprünglichen Aufstellungsort bis zur Entscheidung, die Maschine wieder aufzubauen hinter sich. Aufgrund dessen hatte der „Zahn der Zeit“ seine Spuren hinterlassen, siehe Abbildung 5-2. Hier wird gezeigt, wie die Einzelteile durch Korrosion und Verschmutzung teilweise stark angegriffen waren.

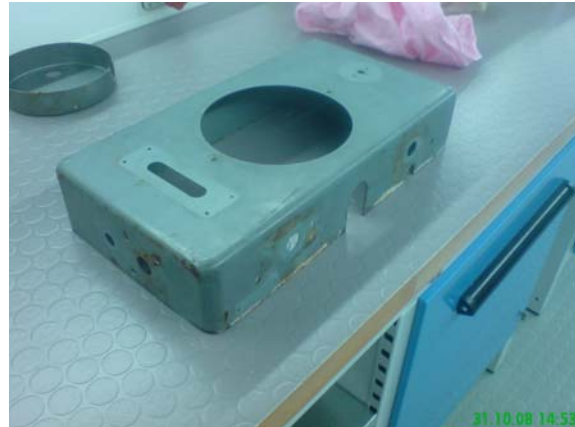
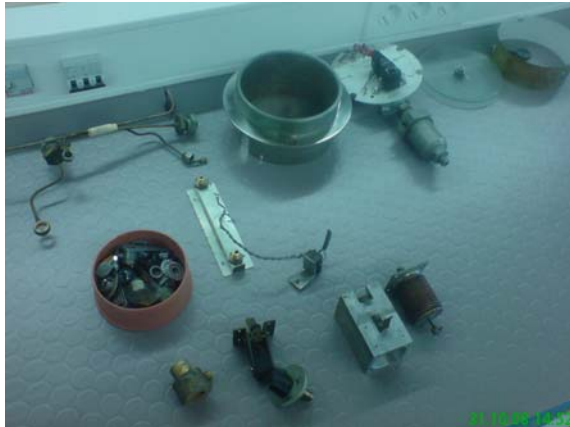


Abbildung 5-2: Das Kontaktmanometer im Ausgangszustand

Da jedoch neben der technischen Funktionalität auch ein gewisser optischer Aspekt bestand, wurden alle wichtigen Bauteile welche spätere Verwendung fanden, z.B. das Kontaktmanometer oder der Ausgleichsbehälter komplett abgeschliffen, grundiert und neu lackiert. Ebenso wurden alle Chromteile, welche zum Teil stark angelaufen waren, poliert, vgl. Abbildung 5-2.



Abbildung 5-3: Das Kontaktmanometer nach der Restauration

5.2 Bilder des Aufbaus



Abbildung 5–4: Anschließen des Verflüssigers



Abbildung 5–5: Anschließen des Verflüssigers 2



Abbildung 5-6: Befestigung des Sammlers



Abbildung 5-7: Kaltwassersatz im Aufbau



Abbildung 5–8: Evakuierung des Systems



Abbildung 5–9: Gesamtanlage im Aufbau



Abbildung 5–10: Verdrängerkolben im Ausgangszustand



Abbildung 5–11: Gereinigter Ölfilter

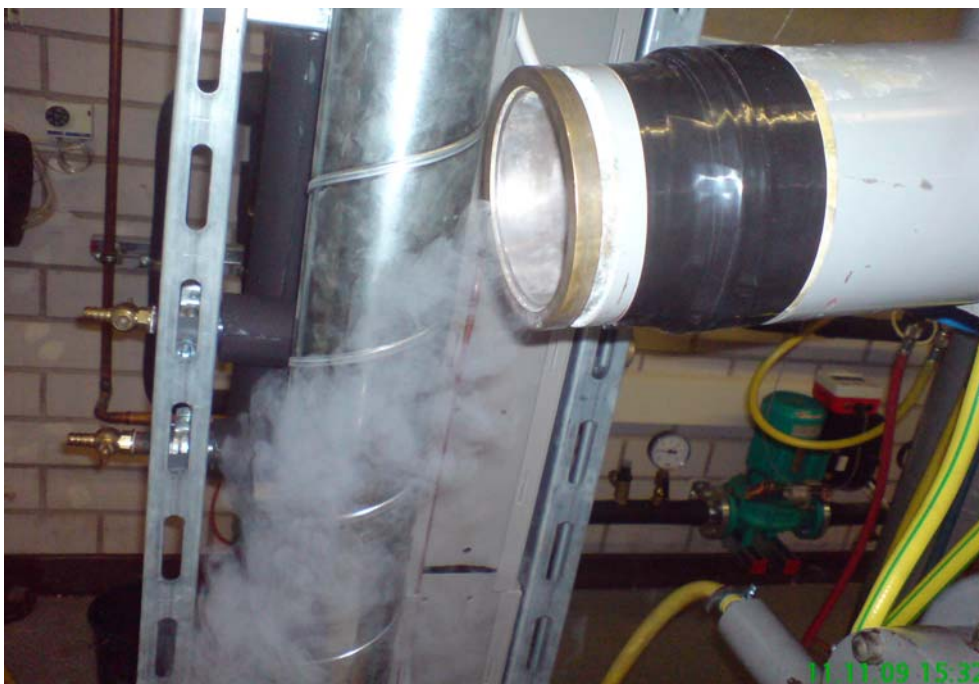


Abbildung 5–12: Erster Abkühlungstest ($T \sim 120\text{K}$)



Abbildung 5–13: Erste Produktion von LN₂



Abbildung 5-14: Geöffneter Kondensatorkopf 1

Quelle : Brüderl Roman



Abbildung 5-15: Geöffneter Kondensatorkopf 2

Quelle : Brüderl Roman



Abbildung 5–16: Verlegung des Rohrsystems

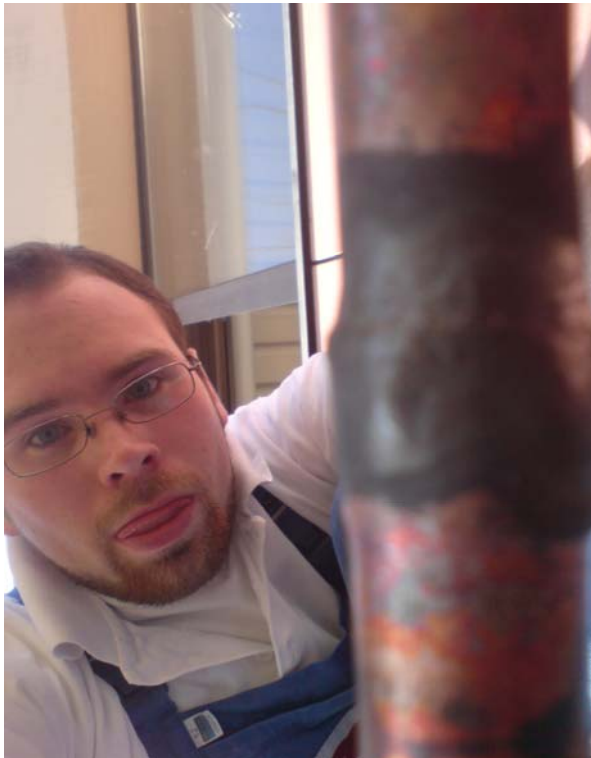


Abbildung 5–17: Verlegung und Dämmung des Rohrsystems



Abbildung 5–18: Guss der Betonplatte (Zuschneiden der Gummiplatte)



Abbildung 5–19: Guss der Betonplatte (Schalung mit PE Folie)



Abbildung 5–20: Guss der Betonplatte (Beton mit Drahtmatte)



Abbildung 5–21: Guss der Betonplatte (fertig abgezogen)

5.2.1 Der Kaltwassersatz



Abbildung 5–22: Verdichter mit Instrumententafel



Abbildung 5–23: Wasserpumpe mit Massestromzähler



Abbildung 5–24: Verdampfer, innerer Wärmeübertrager, Instrumententafel und Massestromzähler



Abbildung 5–25: Verflüssiger mit Sammler

5.2.2 Der Schaltschrank



Abbildung 5–26: Schaltschrank Außenansicht

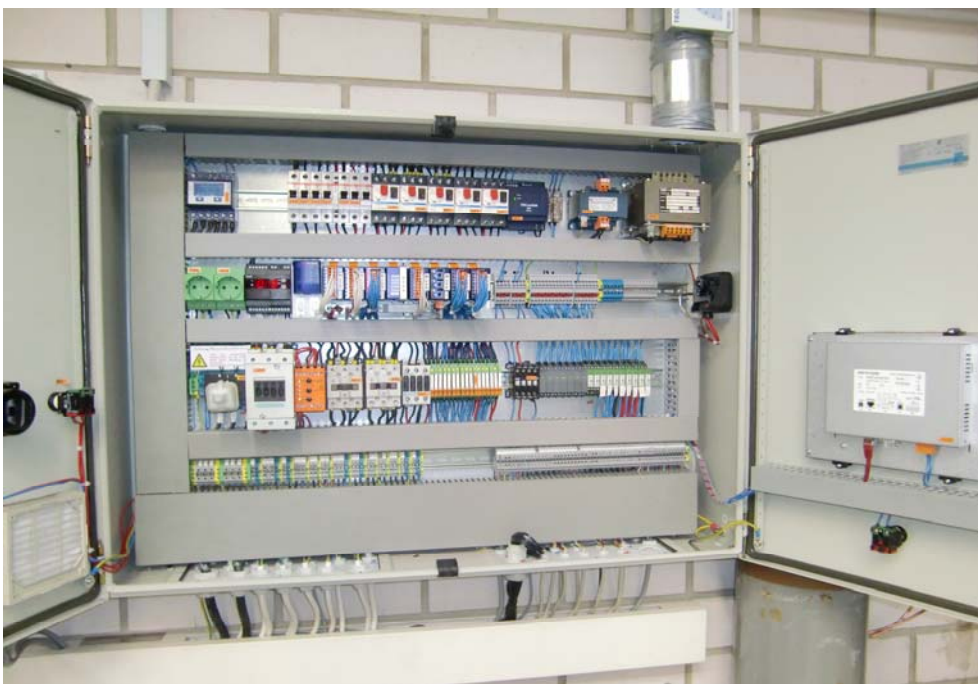


Abbildung 5–27: Schaltschrank Innenansicht

5.2.3 Die Philipsmaschine

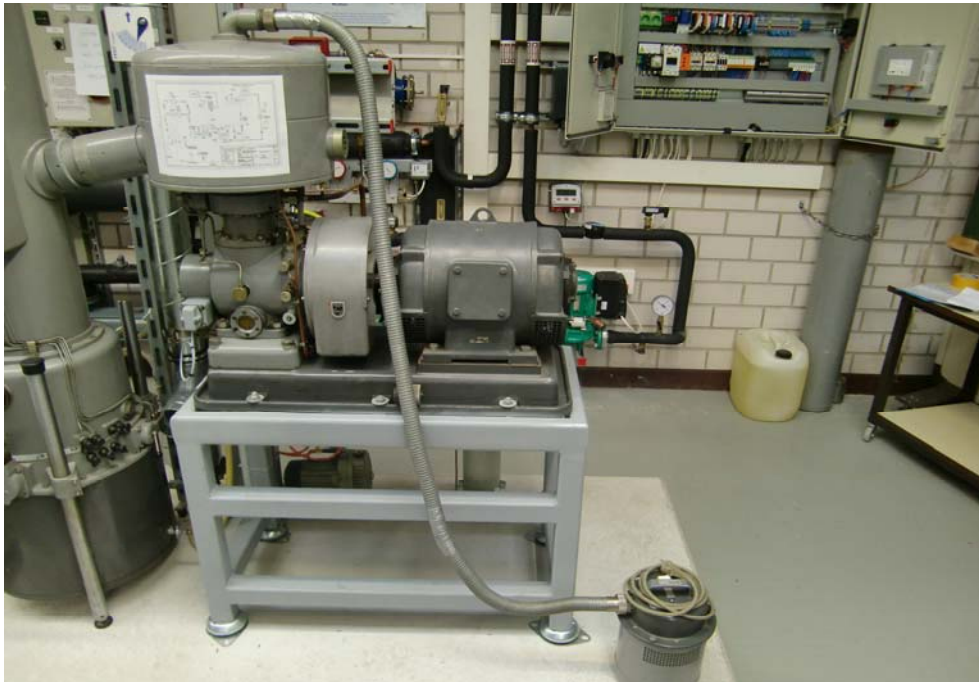


Abbildung 5–28: Philipsmaschine mit Motor und Warmblasegerät



Abbildung 5–29: Kontaktmanometer

5.2.4 Die Kolonne



Abbildung 5–30: Kolonne mit Dewargefäß



Abbildung 5–31: Kolonne mit Wasserkreis der Dampfblasenpumpe

6 Das Projekt Budget

Dieses Projekt umfasst ein Budget von insgesamt 35577,60 Euro an Gesamtvolumen. Abbildung 6-1 zeigt die spezifische Verteilung der Kosten zum Bau und zur Restauration der Anlage.

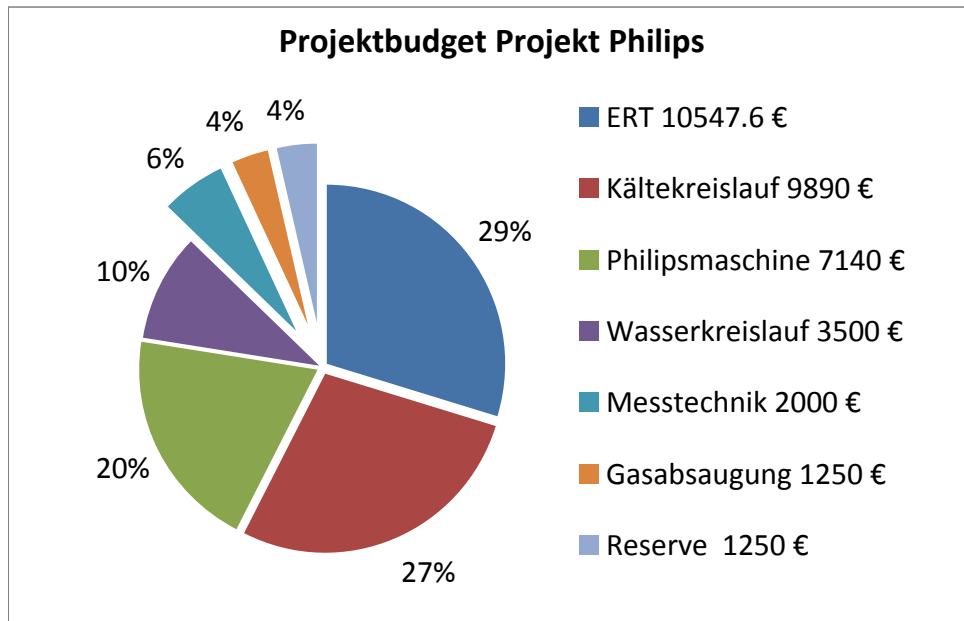


Abbildung 6–1: Übersicht über das Projektbudget des Projektes

Hierbei ist der überwiegende Teil durch Sachspenden aus der Kältebranche zur Verfügung gestellt worden, sodass die spezifischen Realkosten im Bereich der Kälteanlage fast komplett durch Sachspenden gedeckt werden konnte (vgl. Abbildung 6-2). Auch im Bereich der Philipsmaschine konnten die Kosten durch Spenden drastisch reduziert werden. Das beantragte Fördergeld rechnete sich somit aus den vorab ermittelten Restkosten + 5% Reserve zu 8000€.

Leider ergab sich im Verlauf der Restaurationsarbeiten eine Änderung der zuerst zugesagten Unterstützung dahingehend, dass die Arbeiten der Fa. ERT nur noch gegen volle Bezahlung durchgeführt wurde. Da diese Kosten zu Beginn der Arbeiten nicht im Budget veranschlagt wurden, war es somit nicht möglich den aufgestellten Kostenplan einzuhalten.

Dennoch sollte hier nochmals die große Unterstützung seitens der ESaK Geschäftsführung erwähnt werden, die diese Kosten letztlich übernahm. Die Abbildung 6-2 zeigt die Kostenaufstellung des Projektes mit den spezifischen Kosten der einzelnen Anlagenbauteilen. Die einzelnen Realausgaben sind informativ in Anlage 14 ersichtlich.

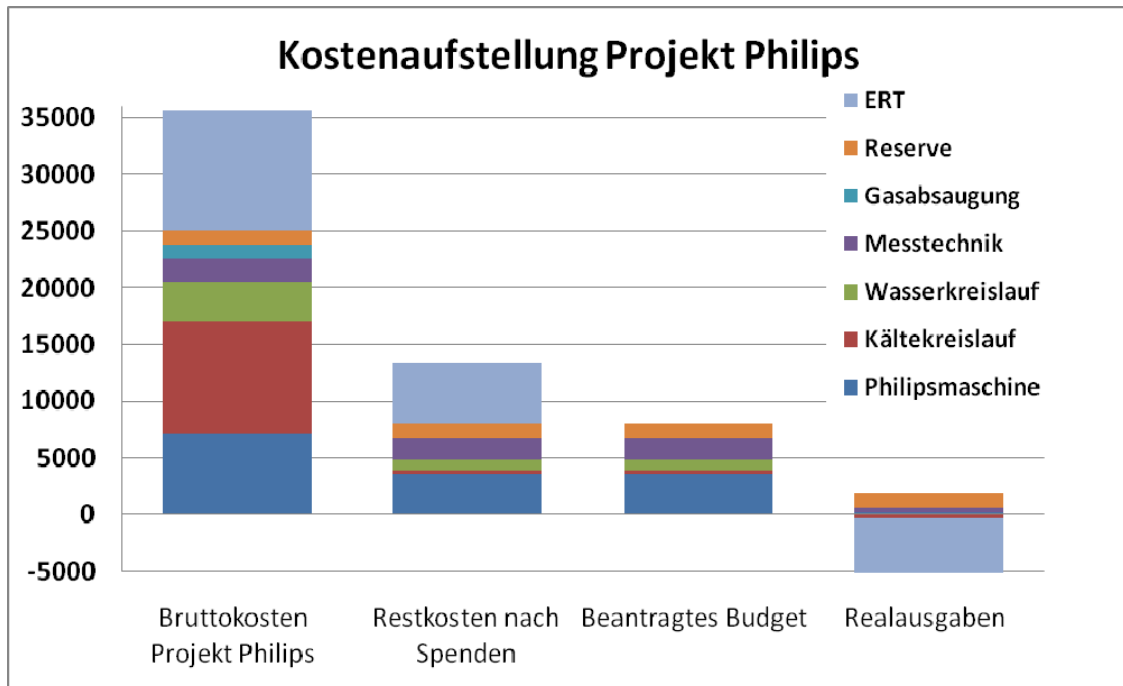


Abbildung 6–2: Kostenaufstellung des Projektes

7 Versuche mit flüssigem Stickstoff

Bevor man diese Versuche durchführt, muss man sich darüber informieren, ob die benötigten Materialien zur Verfügung stehen. Die angeführten Zeitangaben bei den Versuchen beziehen sich darauf, wenn der Dozent den Versuch durchführt. Die Zeit, die für das Zusammensuchen der Materialien benötigt wird, ist jedoch nicht eingerechnet. **Vor der Durchführung der Versuche sind die Sicherheitshinweise mit den Teilnehmern zu besprechen.** Zusätzlich sollte man für die unten angeführten Versuche ein Teesieb bereithalten, mit dem Blätter, Blumen, die in den Stickstoff gefallen sind, herausgeholt werden können.

7.1 Versuch 1 Leidenfrost'sches Phänomen

Versuchsanordnung

Material:

Dewargefäß mit flüssigem Stickstoff

Versuchsdurchführung (theoretisch)

Man taucht die Hand mit gespreizten Fingern in den flüssigen Stickstoff. Sobald an den empfindlichen Stellen der Hand (Nagelbett, unter den Fingernägeln) ein Kältegefühl auftritt, zieht man die Hand blitzschnell wieder heraus. Dabei sollte man die Finger weiterhin gespreizt halten, damit nirgends Stickstofftropfen haften bleiben können.

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 5 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Man kann trotz der tiefen Temperatur kurzzeitig gefahrlos in den flüssigen Stickstoff greifen, ohne dabei das Gefühl von Kälte zu empfinden. Wenn man die warme Hand in den Stickstoff hält, bildet sich zwischen der warmen Haut und der kalten Flüssigkeit sofort eine schützende dünne Dampfhaut, welche die Kälte jedoch nur schlecht leitet („Leidenfrost'sches Phänomen“). Bei diesem Versuch muss man darauf achten, dass die Flüssigkeit rund um die Hand zirkulieren kann (Finger spreizen!), da sonst das Leidenfrost'sche Phänomen nicht auftritt.

Experimentelle Schwierigkeiten und deren Behebung / Anmerkungen

Man darf den Stickstoff z. B. nicht in die hohle Hand gießen, da hier nach kurzer Zeit das Leidenfrostúche Phänomen versagt, da die Flüssigkeit nicht zirkulieren kann. Deshalb muss man darauf achten, die Finger so zu halten, dass nirgends Stickstofftropfen an der Haut haften. Weiters müssen die angeführten Sicherheitshinweise berücksichtigt werden.

7.2 Versuch 2 Sprödigkeit durch Schockgefrieren

Versuchsanordnung

Material:

Dewargefäß mit flüssigem Stickstoff

Blumen

Blätter

Versuchsdurchführung

Blumen oder Blätter werden solange in den flüssigen Stickstoff gehalten, bis sich die Temperatur der Blumen der Temperatur des Stickstoffs angenähert hat (bis der Stickstoff nicht mehr blubbert). Anschließend werden sie mit den Händen zerbrösel. Man muss darauf achten, anschließend die Hände sofort zu öffnen, damit Flüssigkeitstropfen auf der Haut keine Verletzungen hervorrufen können. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Blume am Tisch zu zerschlagen.

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 3 - 5 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Durch die plötzliche niedrige Temperatur wird die Zellflüssigkeit von Organismen gefroren, ohne allerdings die Struktur der Zelle zu beschädigen. Die gefrorenen Blumen/Blätter sind so spröde, dass sie einfach zerbrösel werden können.

Experimentelle Schwierigkeiten und deren Behebung / Anmerkungen

Wenn man Blumen durch Eintauchen in flüssigen Stickstoff schockgefriert und sie anschließend kühlt, kann man sie im Blütezustand über Wochen aufbewahren. Sogar noch nicht aufgeblühte Blumen blühen nach dem Auftauen weiter auf. Das einzige Merkmal, an dem man kältebehandelte Blumen erkennt, ist, dass bei kältebehandelten Blumen nach wenigen Tagen der Kopf knickt, während frische Blumen den Kopf nicht hängen lassen.

7.3 Versuch 3 Elastizitätsänderung durch Gefrieren**Versuchsanordnung**

Material:

Gummischlauch

Hammer

Dewargefäß mit flüssigem Stickstoff

Versuchsdurchführung

Zuerst klopft man mit dem Schlauch auf den Tisch: der Schlauch ist elastisch. Anschließend hält man ein Ende des Schlauches in den flüssigen Stickstoff; am anderen Ende strömt gasförmiger Stickstoff und auch Tropfen aus (wie ein Stickstoffbrunnen). Wenn dieser Effekt aufhört, nimmt man den Schlauch aus dem Stickstoff und klopft mit dem gefrorenen Ende auf den Tisch – man hört nun einen anderen Ton. Durch einen Schlag mit dem Hammer zersplittert der Gummischlauch.

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 5 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Bei künstlichen elastischen Stoffen wird durch Abkühlen deren Molekülgerüst verfestigt; auch wird dieses dadurch nicht beschädigt. In unserem Fall ist der elastische Schlauch durch das Abkühlen spröde geworden. Nun kann der Schlauch durch Krafteinwirkung von außen zerstört werden, was im elastischen Zustand nur sehr schwer möglich ist.

Experimentelle Schwierigkeiten und deren Behebung / Anmerkungen

Bevor man den Schlauch mit dem Hammer zerschlägt, muss man die Schüler darauf hinweisen, dass sie die Splitter nicht berühren dürfen. Diese sind nämlich kalt und zudem scharfkantig wie Glas. Wenn man den Gummischlauch wieder erwärmt, wird er wieder so elastisch wie zuvor.

7.4 Versuch 4 Elastizitätsänderung - Gummiringe

Versuchsanordnung

Material:

Holzstäbchen

Gummiringerl

Dewargefäß mit flüssigem Stickstoff

Versuchsdurchführung

Man befestigt die Gummiringe an einem Ende des Holzstäbchens. Jetzt hängen sie lose herunter. Anschließend taucht man sie eine Weile in flüssigen Stickstoff. Durch die Kälte haben sich die Gummiringe zu „Locken“ verformt.

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 5 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Durch das Abkühlen ändern sich die Materialeigenschaften des Gummis – er wird spröde. Wenn man die Gummiringe wieder erwärmt, wird diese Änderung rückgängig gemacht.

7.5 Versuch 5 Änderung des Volumens

Versuchsanordnung

Material:

Luftballon

Dewargefäß mit flüssigem Stickstoff

Versuchsdurchführung

Zuerst bläst man einen Luftballon so weit auf, dass er noch in das Dewargefäß passt und bindet ihn zu. Anschließend hält man ihn in den flüssigen Stickstoff; der Ballon schrumpft. Nun nimmt man den Ballon wieder heraus und wärmt ihn mit den Händen an. Dabei sollte man ihn drehen, damit keine Stickstofftropfen haften bleiben. Man kann jetzt beobachten, wie sich der Ballon wieder weitet.

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 5 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Man kann vereinfachend von der idealen Gasgleichung

$$p * V = n * R * T \tag{7.1}$$

ausgehen. Wie man sieht, ändert sich, wenn der rechte Term sich verkleinert auch der linke. Da der Druck immer gleich bleibt (Atmosphärendruck) muss sich also bei Verkleinerung der Temperatur das Volumen der Luft im Ballon ändern (der Ballon zieht sich zusammen). Wenn man ihn nun aus dem Stickstoff herausnimmt, vergrößert sich die Temperatur und somit das Volumen der Luft im Ballon.

Experimentelle Schwierigkeiten und deren Behebung / Anmerkungen

Hier noch eine kleine Anmerkung: auch beim Sauerstoff ist es so, dass 1 Liter flüssiger Sauerstoff etwa 800 Liter Sauerstoffgas entspricht. Flüssigkeiten brauchen somit extrem weniger Raum als Gase. Somit kann man durch Verflüssigung von Sauerstoff diesen platzsparend transportieren. In der Praxis gibt es dafür folgende Anwendungen: Atemluft für Piloten in Dewargefäßen; Luft für Taucher; flüssiger Sauerstoff als Raketentreibstoff.

7.6 Versuch 6 Änderung des Volumens 2

Versuchsanordnung

Material:

Dewargefäß mit flüssigem Stickstoff

Vorrichtung mit Eisenring und Eisenkugel (gibt es in jedem Physiksaal)

Gefäß mit heißem Wasser

Versuchsdurchführung

Zuerst zeigt man, dass bei Zimmertemperatur die Eisenkugel durch den Ring passt. Anschließend hält man die Vorrichtung mit dem Eisenring in den flüssigen Stickstoff bis dieser nicht mehr blubbert. Anschließend versucht man nochmals, die Kugel durch den Ring zu stecken, doch nun passt die Kugel nicht mehr durch den Ring. Danach erwärmt man den Ring, in dem man ihn in heißes Wasser hält – nun passt die Kugel wieder durch den Ring.

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 5 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Wenn Eisen erwärmt wird, dehnt es sich aus; bei Abkühlung hingegen zieht es sich zusammen. Durch die Abkühlung wird der Eisenring kleiner und die Kugel passt nicht mehr durch. Durch die anschließende Erwärmung in heißem Wasser dehnt er sich wieder aus, sodass die Kugel wieder durchpasst.

Experimentelle Schwierigkeiten und deren Behebung / Anmerkungen

Beim Eintauchen der eckigen Vorrichtung mit dem Eisenring in das runde Dewargefäß muss man darauf achten, dieses nicht zu beschädigen.

7.7 Versuch 7 Volumsänderung durch Verdampfen

Versuchsanordnung

Material:

Dewargefäß mit flüssigem Stickstoff

Glasflasche

Trichter

Luftballon

Handschuhe

Versuchsdurchführung

Zuerst bläst man einen Luftballon kurz auf, damit er vorgedehnt wird. Man füllt flüssigen Stickstoff mit Hilfe eines Trichters aus dem Dewargefäß in die Glasflasche (zum Halten der Glasflasche sollte man Handschuhe tragen). Anschließend zieht man den vorgedehnten, unaufgeblasenen Ballon über die Öffnung der Glasflasche und schwenkt diese, damit der Stickstoff besser verdampft. Der Luftballon wird durch den verdampfenden Stickstoff „aufgeblasen“ bis er zerplatzt.

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 5 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Sobald sich der Stickstoff in der Glasflasche befindet, erwärmt er sich und verdampft. Wie wir bereits wissen, entspricht 1 Liter flüssiger Stickstoff ca. 800 Liter Stickstoffgas. Durch den verdampfenden Stickstoff wird der Luftballon „aufgeblasen“ bis er zerplatzt.

Experimentelle Schwierigkeiten und deren Behebung / Anmerkungen

Bei der Durchführung dieses Versuches sollte man zu zweit sein. Eine Person füllt den Stickstoff in die Flasche, die andere hält diese. Weiters sollte man für diesen Versuch eine Flasche nehmen, die einen guten Stand hat. Man muss bei diesem Versuch den Luftballon möglichst schnell und weit genug über die Öffnung der Glasflasche ziehen. Wenn das nicht schnell genug gelingt, wird der Luftballon durch die Kälte spröde und lässt sich nicht mehr über die Flasche ziehen.

7.8 Versuch 8 Druckaufbau durch Erwärmen - Stickstoffbombe

Versuchsanordnung

Material:

Dewargefäß mit flüssigem Stickstoff

einige Filmdosen

Versuchsdurchführung (Achtung Gefahr !)

Bei diesem Versuch muss man schnell sein! Außerdem sieht man was passiert, wenn man einen Stickstoffbehälter fest verschließt. Man gießt flüssigen Stickstoff in die Filmdose und verschließt diese mit dem Deckel. Nach kurzer Zeit „explodiert“ die Dose (der Deckel wird weggesprengt).

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 3 - 5 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Auch hier kann man vereinfachend von der idealen Gasgleichung $pV = nRT$ ausgehen. Sobald sich der Stickstoff in der Filmdose befindet erwärmt er sich. Da die Dose verschlossen ist, kann er sich nicht ausdehnen – folglich steigt der Druck in der Dose, bis er ausreicht, um den Deckel wegzusprengen.

Experimentelle Schwierigkeiten und deren Behebung / Anmerkungen

Man braucht für diesen Versuch einige Deckel. Wenn man die Filmdose mit dem Deckel nicht schnell genug dicht verschließt, wird der Deckel durch die Kälte spröde und lässt sich nicht mehr verwenden.

7.9 Versuch 9 Änderung der Farbe

Versuchsanordnung

Material:

Dewargefäß mit flüssigem Stickstoff

3 Probenröhrchen

Kupferchlorid

Minium (ein Bleioxid – Pb_3O_4)

Schwefel

Versuchsdurchführung

Kupferchlorid, Minium und Schwefel in Probenröhrchen einfüllen und nacheinander in flüssigen Stickstoff eintauchen, bis dieser nicht mehr blubbert (bis sich die Temperatur des Röhrchens der Umgebungstemperatur angeglichen hat). Dabei treten folgende Farbänderungen (vgl. Tabelle 7-1) auf:

Tabelle 7-1: Farbänderung einiger Stoffe beim Abkühlen

	Farbe bei $t=20^\circ\text{C}$	Farbe bei $t=-196^\circ\text{C}$
Kupferchlorid	grün	grün
Minium (Pb_3O_4)	rot	gelb
Schwefel	gelb	weiß

Somit ändert sich die Farbe von Minium und Schwefel während Kupferchlorid immer grün bleibt. Wenn man die Proberöhrchen anschließend in warmes Wasser hält bis sie wieder Zimmertemperatur haben, nehmen die Proben wieder ihre Ausgangsfarbe an.

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 5 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Durch das Abkühlen ändert sich der Abstand der Moleküle in den Proben. Dadurch ändert sich die Wellenlänge des absorbierten Lichts und somit auch die Farbe der Substanz. Dieser Effekt tritt aber nicht bei allen Substanzen auf. Kupferchlorid behält seine Farbe, während sich die Farbe von Minium und Schwefel ändert. Bei Minium und Schwefel ist der Farbeffekt reversibel, d. h. die Substanzen nehmen bei Erwärmung ihre ursprüngliche Farbe an. Es gibt jedoch auch

Substanzen, bei denen die Farbänderung dauerhaft ist – diese behalten die Farbe, die durch das Abkühlen entstanden ist, auch nach dem Erwärmen.

Experimentelle Schwierigkeiten und deren Behebung / Anmerkungen

Die dauerhafte Farbänderung machen sich unter anderem Rosenzüchter zunutze. Lachsrosa Rosen erhalten durch Eintauchen in Stickstoff eine weinrote Farbe, die auch bei anschließender Erwärmung erhalten bleibt. Da lachsrosa Rosen billiger sind als gezüchtete weinrote Rosen (die jedoch eher gekauft werden), können Gärtner durch diese Vorgehensweise Geld sparen.

7.10 Versuch 10 Änderung der Materialeigenschaften

Versuchsanordnung

Material:

Bleirohr, das an einem Faden hängt

Dewargefäß mit flüssigem Stickstoff

Hammer

Versuchsdurchführung

Zuerst hält man das Bleirohr an der Schnur und schlägt es mit dem Hammer an. Es entsteht ein dumpfer Ton und das Rohr verformt sich. Anschließend gibt man das Bleirohr in den flüssigen Stickstoff, bis sich die Temperatur des Bleirohrs der des Stickstoffs angeglichen hat (bis der Stickstoff nicht mehr blubbert). Nun klopft man nochmals mit dem Hammer auf das Rohr. Jetzt klingt es heller und wird zudem nicht verformt.

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 5 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Blei ist bei Zimmertemperatur plastisch, d. h. wenn es verformt wird, behält es die Verformung bei. Durch das Abkühlen auf eine tiefe Temperatur ändert sich der molekulare Aufbau des Bleis – das Blei wird elastisch. Deshalb kann es nun durch einen Hammerschlag

nicht verformt werden. Wenn man zum Abschluss das Bleirohr in warmes Wasser taucht, wird das Blei wieder plastisch, d. h. die Änderung der Materialeigenschaften ist reversibel.

7.11 Versuch 11 Rauchender Kopf

Versuchsanordnung

Material:

flüssiger Stickstoff

Filzhut

Versuchsdurchführung

Man gießt flüssigen Stickstoff in den Filzhut, der durch den Hut durchfließt. Anschließend setzt man den Hut einer Person auf den Kopf. Gibt man nun den Hut herunter, „raucht“ der Kopf.

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 5 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Würde man Wasser in den Filzhut gießen, so würde dieses nicht durchfließen sondern im Hut bleiben, da die Oberflächenspannung des Wassers für ein Durchfließen zu groß ist. Stickstoff hat jedoch eine kleinere Oberflächenspannung als Wasser, deshalb kann es durch den Hut fließen. Der Effekt des „rauchenden Kopfes“ entsteht, weil der verdampfende Stickstoff Flüssigkeitsteilchen mitreißt.

Experimentelle Schwierigkeiten und deren Behebung / Anmerkungen

Der „rauchende Kopf“ ist am besten sichtbar, wenn man dafür eine Person mit dunklen Haaren wählt und diese zusätzlich vor einen dunklen Hintergrund stellt. Weiters muss bei diesem Versuch der Hut trocken sein, d. h. man darf nicht zuvor zeigen, dass kein Wasser durch den Filzhut laufen kann.

7.12 Versuch 12 Theaternebel

Versuchsanordnung

Material:

flüssigen Stickstoff

Plastikwanne mit heißem Wasser

Fön

Versuchsdurchführung

Man gießt flüssigen Stickstoff in die Plastikwanne mit heißem Wasser. Es bildet sich starker Nebel, der über den Wannenrand kriecht. Man kann den Nebel besser verteilen, wenn man mit einem Fön in die Wanne bläst.

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 5 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Der verdampfende Stickstoff reißt die Flüssigkeitsteilchen des Wassers mit – dadurch entsteht der Nebel. Da dieser schwerer als Luft ist, kriecht er am Boden. So kann man im Theater gute Effekte erzielen. Die Nebelbildung dauert solange an, bis entweder der Stickstoff verdampft ist oder das Wasser zu stark abgekühlt ist.

Experimentelle Schwierigkeiten und deren Behebung / Anmerkungen

Der Vorteil bei dieser Nebelbildung (im Gegensatz zu anderen Nebelmaschinen) liegt in der einfachen Herstellung sowie der Tatsache, dass er Sänger oder Schauspieler nicht belästigt (er riecht nicht unangenehm und breitet sich vornehmlich am Boden aus).

7.13 Versuch 13 Meißner-Ochsenfeld-Effekt

Versuchsanordnung

Material:
flüssiger Stickstoff
Teflonpinzette
Hochtemperatursupraleiter
kleine Eisenplatte mit Magneten
Styroporbehälter

Versuchsdurchführung

Man legt die Eisenplatte, auf der einige Magnete angebracht sind, in den Styroporbehälter und legt den Hochtemperatursupraleiter auf die Magnete und zwar so, dass er sich ungefähr über deren Mitte befindet. Anschließend gießt man flüssigen Stickstoff über die Anordnung bis der Hochtemperatursupraleiter unter seine Sprungtemperatur abgekühlt ist. Sobald die Sprungtemperatur erreicht wird, beginnt der Supraleiter über den Magneten zu schweben. Dies kann man überprüfen, indem man mit der Pinzette zwischen Magneten und Supraleiter durchfährt. Eine zweite Möglichkeit diesen Versuch durchzuführen besteht darin, zuerst sowohl Magnete als auch den Hochtemperatursupraleiter abzukühlen und erst anschließend diesen auf die Magnete zu legen.

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 5 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Es gibt Materialien (Supraleiter) deren Widerstand unterhalb einer bestimmten kritischen Temperatur null wird. Die kritische Temperatur (sie wird auch als Sprungtemperatur bezeichnet) ist von Material zu Material verschieden. Betrachten wir ein supraleitendes Material bei einer Temperatur, die höher als seine kritische Temperatur ist; ferner liege ein kleines, externes Magnetfeld an. In nachstehender Abbildung 7-1 sehen wir den Verlauf der Magnetfeldlinien in diesem Fall.

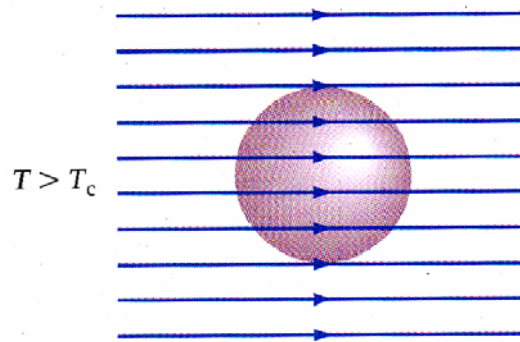


Abbildung 7–1: Magnetfeldlinien oberhalb der Sprungtemperatur

Quelle: Paul A. Tipler [12]

Wird das Material auf Temperaturen unterhalb einer kritischen Temperatur abgekühlt, dann wird es supraleitend. Da der Widerstand jetzt null ist, kann keine Spannung im Supraleiter abfallen und auch keine Spannung induziert werden. Aufgrund des Faradayschen Gesetzes kann sich daher das Magnetfeld im Supraleiter nicht ändern. Experimentell beobachtet man jedoch folgendes: Wenn ein Supraleiter in einem externen Magnetfeld unter seine kritische Temperatur abgekühlt wird, so werden die Magnetfeldlinien aus ihm herausgedrängt, und das Magnetfeld innerhalb des Supraleiters ist null (s. Abb. 7-2). Dieser Erscheinung wurde im Jahre 1933 entdeckt und heißt Meißner-Ochsenfeld-Effekt.

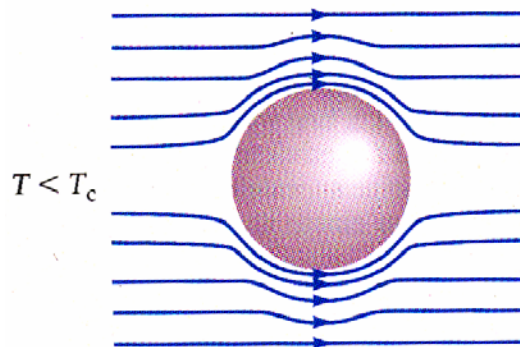


Abbildung 7–2: Magnetfeldlinien unterhalb der Sprungtemperatur

Quelle: Paul A. Tipler [12]

Der Mechanismus, durch den die Magnetfeldlinien herausgedrückt werden, beruht auf einem supraleitenden Strom auf der Oberfläche des Supraleiters. Das Schweben eines Magneten über einem Supraleiter ergibt sich aus der Abstoßung zwischen dem Magnetfeld des Permanentmagneten und dem Magnetfeld, das durch die induzierten Ströme innerhalb des Supraleiters hervorgerufen wird.

Experimentelle Schwierigkeiten und deren Behebung / Anmerkungen

Bei der Aufbewahrung des Hochtemperatursupraleiters muss man darauf achten, dass dieser nicht feucht wird. Man muss für entsprechende Aufbewahrung sorgen und ihn gegebenenfalls mit einem Fön trocknen.

7.14 Versuch 14 Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstands

Versuchsordnung

Material:

Dewargefäß mit flüssigem Stickstoff

Netzgerät

Kabeln

Lampenfassung

4 Scheinwerferlampen

Widerstand (Metallspirale aus ca. 50 cm Stahldraht mit einem Durchmesser von 1/10 mm, z.B. eine Klavierseite)

Versuchsdurchführung

Man baut einen einfachen Stromkreis indem man den Widerstand und die Scheinwerferlampen seriell an die Stromversorgung anschließt. Der Widerstand (die Stahldrahtspirale) wird in den flüssigen Stickstoff getaucht, bis sich die Temperatur des Widerstands der Temperatur des Stickstoffs angenähert hat. Nun stellt man die Spannung so ein, dass die Scheinwerferlampen gerade noch deutlich leuchten. Anschließend nimmt man den Widerstand aus dem Stickstoffbad heraus. Der Draht erwärmt sich – die Scheinwerferlampen hören auf zu leuchten.

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 5 - 10 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Der spezifische Widerstand des Drahtes ist temperaturabhängig und steigt mit zunehmender Temperatur. Wenn man den Draht aus dem Stickstoff herausgibt, steigt dessen Temperatur und somit auch der Widerstand – die Scheinwerferlampen leuchten nicht mehr.

Experimentelle Schwierigkeiten und deren Behebung / Anmerkungen

Man muss beim Zusammenstellen des Versuches darauf achten, solche Lampen und solchen Draht zu verwenden, dass beim Versuch selbst eine Spannung eingestellt werden kann, bei der die Lampen noch leuchten, wenn sich der Draht noch im Stickstoff befindet aber nicht mehr leuchten, wenn der Draht Zimmertemperatur hat.

7.15 Versuch 15 Temperaturabhängigkeit der Phosphoreszenz**Versuchsanordnung**

Material:

Dewargefäß mit flüssigem Stickstoff

Lochkartenstreifen

Leuchtfarbe (oder Reste von Bausätzen für Kinderspielzeug, z. B. Saurierskelett)

Versuchsdurchführung

Man verdunkelt einen Raum und hält den mit Leuchtfarbe bestrichenen Lochkartenstreifen für einige Zeit in das Licht einer Lampe. Anschließend dreht man das Licht ab – der Lochkartenstreifen leuchtet (phosphoresziert). Wenn man den Lochkartenstreifen in flüssigen Stickstoff taucht bis er abgekühlt ist, leuchtet er nicht mehr. Er beginnt erst wieder zu leuchten, wenn man ihn erwärmt

Zeit

Für diesen Versuch benötigt man zum Aufbau und zur Durchführung ca. 5 Minuten (ohne Zusammensuchen der einzelnen Materialien).

Theoretischer Hintergrund

Anregung: Das auf ein niedrigeres Energieniveau übergehende Elektron emittiert ein Photon, dessen Frequenz und Wellenlänge aus der beim Niveauwechsel auftretenden Energiedifferenz

bestimmt werden können. Zuvor muss das Elektron durch entsprechende Energiezufuhr auf ein energiereicheres Niveau angehoben werden. Man spricht von Anregung.

Für die Anregung gibt es mehrere Möglichkeiten; bei unserem Versuch handelt es sich um Photoanregung. Der mit Leuchtfarbe bestrichene Lochkartenstreifen wird beleuchtet, die Energie der auftreffenden Photonen hebt Elektronen auf ein höheres Niveau. Lumineszenz Die Phosphoreszenz gehört wie die Fluoreszenz zur Gruppe der Lumineszenz. Unter dieser Bezeichnung fasst man alle Vorgänge zusammen, bei denen die Lichtaussendung nicht auf thermischer Anregung beruht. Fluoreszenz und Phosphoreszenz beziehen sich, wie oben erklärt, auf die Lichtemission von Stoffe, die zuvor beleuchtet wurden. Sie unterscheiden sich in der Dauer der Lichtaussendung. Bei Fluoreszenz erfolgt die Ausstrahlung innerhalb von etwa 10^{-8} s, bei Phosphoreszenz in Zeiten, die von Sekunden bis Tagen betragen können.

Phosphoreszenz, d. h. das Leuchten eines Stoffes nach Ende der Bestrahlung wurde zuerst bei Phosphor beobachtet, daher die Bezeichnung; doch es gibt viele „Phosphore“ (Lichtsammler), die nichts mit Phosphor zu tun haben. Außerdem sind bei der Phosphoreszenz nicht nur einzelne Atome oder Moleküle sondern ganze Molekülverbände beteiligt. Die häufigsten Phosphore sind kristalline Fremdstoffphosphore. Sie bestehen aus einem Grundmaterial (Zinksulfid, Cadmiumsulfat, Erdalkali-Oxide und –Sulfide) das mit sehr geringen Mengen eines Schwermetalls (Kupfer, Silber) als Aktivator verschmolzen wurde.

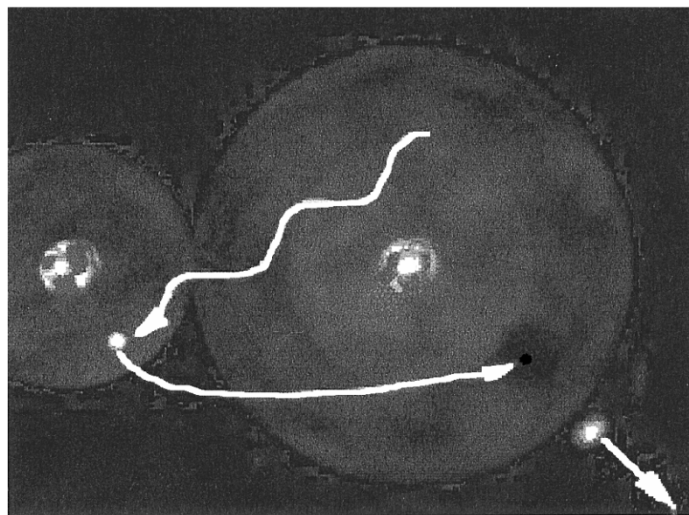


Abbildung 7–3: Phosphoreszenz

Quelle: Wachlisch M. [13]

Ein Photon hat aus einem Phosphor ein Elektron gelöst (rechts unten). Ein weiteres Lichtquant ionisiert das Erdalkalimetall (links). Dieses Elektron kann – auch erst nach längerer Zeit – das

Elektronenloch im Phosphor füllen. Die Phosphoreszenz beruht auf einem Photoeffekt an den Elektronen des eingelagerten Metalls. Nach einer Beleuchtung wird ein Phosphor der zuvor ein Isolator ist leitend. Das Leuchten tritt auf, sobald ein Elektron die durch die Photoionisation entstandene Leerstelle einnimmt, d. h. in einen energetisch niedrigeren Zustand zurückkehrt. Das kann dadurch entstehen, dass ein freies Elektron infolge seiner thermischen Bewegung in die Nähe des Ions gelangt und eingefangen wird. Es kann aber auch ein Elektron der umgebenden Erdalkaliumatome nach Aufnahme der nötigen kinetischen Energie oder durch Absorption eines Quants geringer Energie so weit angeregt werden, dass es vom Erdalkaliumatom zu Metallatom überwechselt. Bis zur Auffüllung des „Lochs“ kann längere Zeit vergehen. Diese Deutung wird dadurch bestätigt, dass das Nachleuchten früher erlischt, aber stärker ist, wenn man den Phosphor erwärmt: Den Elektronen wurde schneller die zum Überwechseln nötige Energie zugeführt. Die erzeugbare Lichtmenge ist jedoch konstant. Somit ist die Phosphoreszenz temperaturabhängig. Wenn, wie bei unserem Versuch, die Probe sehr stark abgekühlt wird, haben die Elektronen zu wenig thermische Energie um eingefangen zu werden – die Probe phosphoresziert nicht.

Experimentelle Schwierigkeiten und deren Behebung / Anmerkungen

Anstelle von Lochkartenstreifen, die man mit Leuchtfarbe bestreicht, kann man auch Reste von Bausätzen für Kinderspielzeug nehmen.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Wie bereits eingangs erläutert wurde die Möglichkeit einer eigenverantwortlichen Umsetzung dieses Projektes ein wesentlicher Bestandteil zur Ausbildung. Dabei war es von großem Nutzen für die Verfasser dieser Zeilen zu sehen wie dieses Projekt wuchs und mit welchen Hindernissen im Projektgeschäft zu rechnen sind. Zum Beispiel wurde erkannt das Zeit- und Budgetpläne auch wenn sie noch so gewissenhaft und sorgfältig geplant sind i.d.R. immer mit Störungen im Ablauf begleitet sind.

Ziel dieser Projektarbeit war die Restauration einer historischen Anlage kombiniert mit der Planung und des Aufbaus eines Kaltwassersatzes und der Entwicklung einer Steuerung der Gesamtanlage. Dies ist während unserer Studienzzeit geglückt letztlich geglückt.

Im ersten Kapitel wird der Verlauf der geschichtlichen Entwicklung der Luftzerlegung (mit dem gebräuchlichsten Verfahren nach C. v. Linde) dargelegt. Sowie auf die geschichtliche Entwicklung des Philips Kryogenerators eingegangen.

Im nachfolgenden Kapitel werden die physikalischen Grundlagen und die Arbeitsweise von Kolonne und Gaskältemaschine erläutert. Dabei wird insbesondere auch das Verbesserungspotential dargestellt welches durch den Kühlsatz und die Steuerung geschaffen wurden.

In Kapitel 3 werden die Vorüberlegungen dargestellt welche zum Bau des Kaltwassersatzes und der Aufstellung als Gesamteinheit dienten. Hierbei wird detailliert die Verwendung eines inneren Wärmeübertragers vorgestellt sowie die minimale Leistung zur Sicherstellung des Öltransportes in der Hochdruckleitung gerechnet.

Es musste eine Steuerung konzipiert und realisiert werden, die die Überwachung der Stirlingmaschine aber auch die Regelung des Kaltwassersatzes übernimmt. Der Aufbau und die Umsetzung werden in Kapitel 4 beschrieben. Es werden der grundlegende Aufbau und die Funktionsweise der SPS dargestellt. Außerdem werden die, für dieses Projekt verwendeten Ein- und Ausgangsmodule vorgestellt. Der Funktionsplan mit den einzelnen logischen Bauteilen und Verknüpfungen wird ebenfalls erläutert. Die von der Steuerung erfassten Messdaten werden mittels eines Excel-Makro ausgewertet

Kapitel 5 zeigt den Restaurierungsverlauf einzelner Bauteile, den allgemeinen Aufbau und detaillierte Bilder der Anlagenkomponenten. Dieses Kapitel soll als Bildergalerie dienen und ist ohne viel Text gestaltet.

Das gesamte Projektbudget und die Aufschlüsselung der Kosten in einzelne Bereichsgruppen werden in Kapitel 6 gezeigt. Hier sind die Kosten zusammengefasst und es werden die Spenden dargelegt die durch die BFS/ESaK – Stiftung, den HKK sowie zahlreiche Fachfirmen für dieses Projekt geleistet wurden. In Kapitel 7 werden abschließend verschiedene Versuche mit flüssigen Stickstoff beschrieben .

Leider konnten aufgrund mehrfacher zeitlicher Verzögerung Messungen und Verbesserungspotential der Philipsanlage nicht durchgeführt werden. Diese Arbeit bleibt somit nachfolgenden Semestern vorbehalten. Es können im Zuge dieser Arbeit keine Messergebnisse vorgestellt werden.

Jedoch sind mit der funktionsfähigen Anlage Grundlagen geschaffen worden auf die aufgebaut werden kann. Gerade im Hinblick auf den Stirlingprozess der durchaus in der Lage ist hocheffizient betrieben zu werden.

Quellenverzeichnis

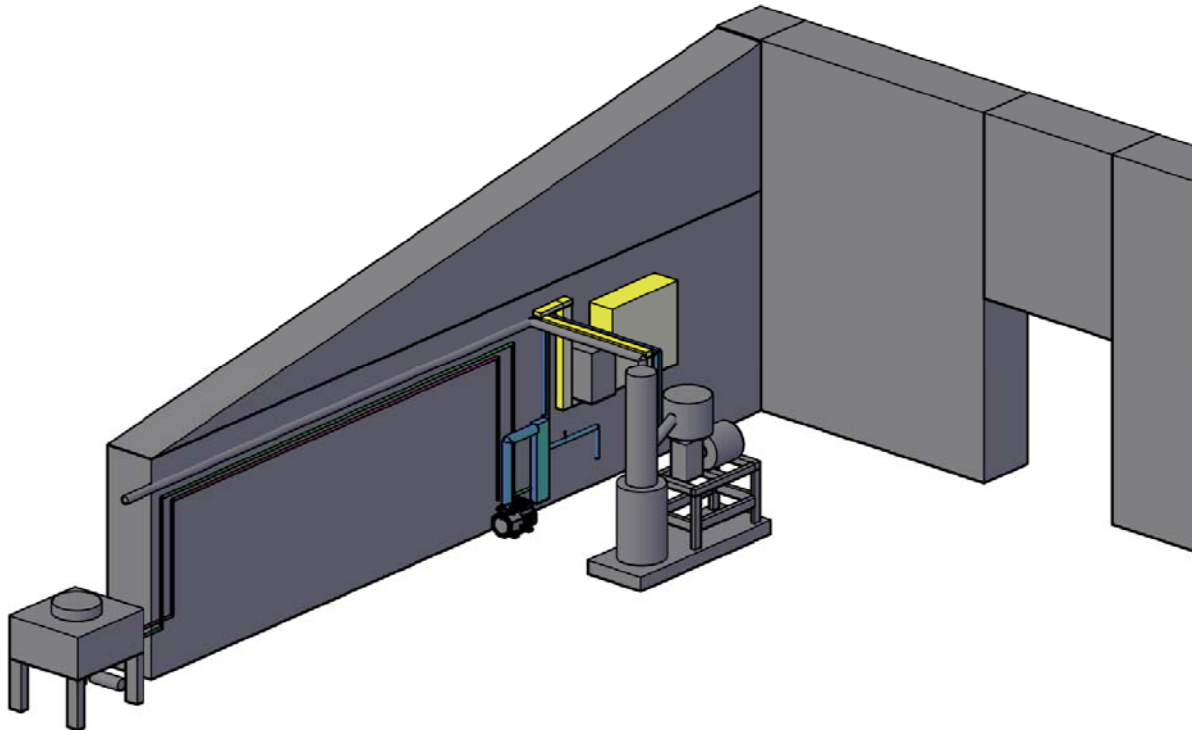
- [1] **Plank R.** et al. : Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie. Insb. S. 219-221, Heft 11 Jahrgang 35, 1928
- [2] **Linde AG** : Die Geschichte der Linde AG „Online im Internet“ URL :[<http://www.the-linde-group.com/en/index.html>] Abfrage vom 16.09.2009
- [3] **Dienel H-L.** : Die Linde AG Geschichte eines Technologiekonzerns 1879-2004. C.H.Beck Verlag. München 2004
- [4] **Fa. Philips** : Stickstoffverflüssigungsanlage Type PW7050. Philips Service Handbuch 1958
- [5] **Fa. Philips** : Kaltgasmaschine Type PW7000. Philips Service Handbuch 1958
- [6] **Cerbe G. , Wilhelms G.** : Technische Thermodynamik. 14. Auflage, Hanser Verlag, München 2007
- [7] **Kirschbaum E.** : Destillier- und Rektifizierteknik. Springer Verlag, 1950
- [8] **Steimle F.** et. al. : Stirling Maschinen Technik. C.F. Müller Verlag Heidelberg 2007
- [9] **Plank R. (Hrsg)** : Handbuch der Kältetechnik Band 5. Springer Verlag Berlin 1966
- [10] **Bitzer SE** : Datenblatt des Verdichters 2DC-F1Y. Insb. EG-Diagramm
- [11] **Korn D.** : Störfälle in Rohrsystemen von Kälteanlagen. C-F. Müller Verlag. Heidelberg 2008
- [12] **Tipler P. A.** : Physik Spektrum, Akademischer Verlag Heidelberg . Berlin 1994
- [13] **Waelisch M.** : Phosphoreszenz „Online im Internet“ URL:
[<http://ods.schule.de/schulen/forster/fach/phy/lk2000/grabosch/node6.html>]
Abfrage vom 11.11.10

A Anhang

Anlagenverzeichnis

A.1	Aufstellung im Maschinenlabor	96
A.2	Inbetriebnahmewerte	96
A.3	Instruktionen für das Anfahren/Abschalten der Philipsanlage.....	97
A.4	R&I-Schema Kaltwassersatz	98
A.5	Sicherheitsdatenblatt R134a.....	99
A.6	Kältemittelfüllprotokoll.....	101
A.7	Prüfbescheinigung.....	102
A.8	IB-Protokoll	103
A.9	Bescheinigung der Druckfestigkeitsprüfung	104
A.10	Bescheinigung der Prüfung der SI-Schalteinrichtung zur Druckbegrenzung	105
A.11	Bescheinigung der Dichtheitsprüfung	106
A.12	Übergabe-Bescheinigung	108
A.13	Sicherheitsdatenblatt Helium.....	114
A.14	Zeichnung des Stahlbaus	115
A.15	Detaillierte Kostenübersicht	116
A.16	Schaltplan.....	117
A.17	Spendentafel	124

A.1 Aufstellung im Maschinenlabor

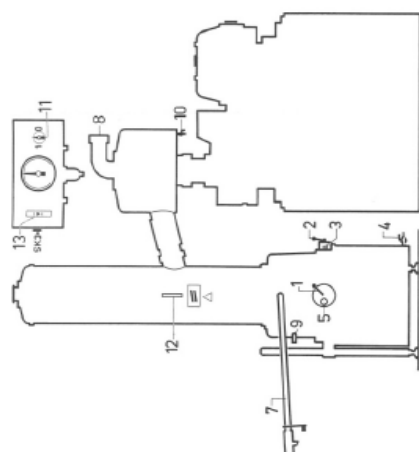


A.2 Inbetriebnahmewerte

Temperaturen			Drücke (Überdruck)		
Verdichter Eintritt	14,2	°C	KWS p_c	8,0	bar
Heissgas	74,9	°C	KWS p_0	1,6	bar
Fl. vor. iWÜ	30	°C	Philips	27,4	bar
Fl. vor EEV	6,8	°C	Massenströme		
Verdampfer Austritt	3,5	°C	Kältemittel	64	g/s
Außentemperatur	18,8	°C	Sole	270	g/s
Solevorlauf	6,3	°C	Hauptzuleitung (V/A)		
Solerücklauf	27,8	°C	L1	L2	L3
Sole n. Ölkühler	9,3	°C	(225,3/25,8)	(228,1/25,6)	(227,5/28,3)
Wasser Kolonnekreis	23,2	°C	Solekonzentration = -26°C		

A.3 Instruktionen für das Anfahren/Abschalten der Philipsanlage

Instruktionen für das Anfahren/Abschalten der Philipsanlage									
Arbeiten sind je Spalte von oben nach unten durchzuführen									
Reihenfolge der Handlung	Nummer	Anlaufperiode (* Anlage zuerst Durchblasen	Produktions- periode (*	Auftauern		Durchblasen	Anlage	Anlaufperiode (* Anlage zuerst Durchblasen	Produktions- periode (*
				Warmblasen	Auftauen mit Heizelement				
Anlage		Ausser Betrieb	In Betrieb	Ausser Betrieb	Ausser Betrieb	Ausser Betrieb			
Lufteintrittsventil	1	3	4	1	1	2			
Sauerstoffabblasventil	2	2	3	1	1	2			
Mess- und Ablassstellen	3	Schließen	Geschlossen	Öffnen	Schließen	Öffnen			
Kondensatablass Kolonne	4	Schließen	Öffnen	Öffnen	Öffnen	Öffnen			
Warmblasanschluss	5	Abschließen mit Kappe	Geschlossen	Heissluftgebläse anschließen	Geschlossen	Heissluftgebläse anschließen			
Heissluftgebläse		-	-	An	-	An			
Heizelement in der Kolonne		-	-	-	An	-			
Stickstoffablauf	7	Schließen	Öffnen	Schließen	Schließen	Öffnen			
Startluftöffnung	8	Öffnen	Schließen	Öffnen	Schließen	Schließen			
Sauerstoffregelventil	9	Einstellen auf Roten Punkt	Nach ca. 15 min Einstellen (**	Einstellen auf Roten Punkt	Einstellen auf Roten Punkt	Bis zum Anschlag Links drehen			
Kondensatablass Kopf	10	Schließen	Geschlossen	Öffnen	Geschlossen	Öffnen			
Regelventil (evtl. auch Drosselventil)	11	Schließen (0)	Schwimmer 13 Einstellen	Schließen (0)	Schließen (0)	0 (Geschlossen)			
Anlage		Starten	Ölniveau und Gasdruck kontr.	Ausser Betrieb	Ausser Betrieb	Ausser Betrieb			
Zeitdauer (ca.)		Ca. 1 h	Ca. 150 h	3-6 h	ca. 12h bei 1 Tag Betrieb	Ca. 0,25 h			
		Umschalten nachdem der Flüssigkeitsspiegel im Niveaumesser 12 den obersten Strich überschreitet	Die Anlage ist nach Ende der Produktions- periode auszuschalten Dann Warmblasen oder Auftauern	Bis kein Wasser mehr aus den Ablassstellen mehr kommt	ca. 40h bei 1 Woche	Dann Durchblasen			
				Dann Durchblasen					
									Kundendienst:



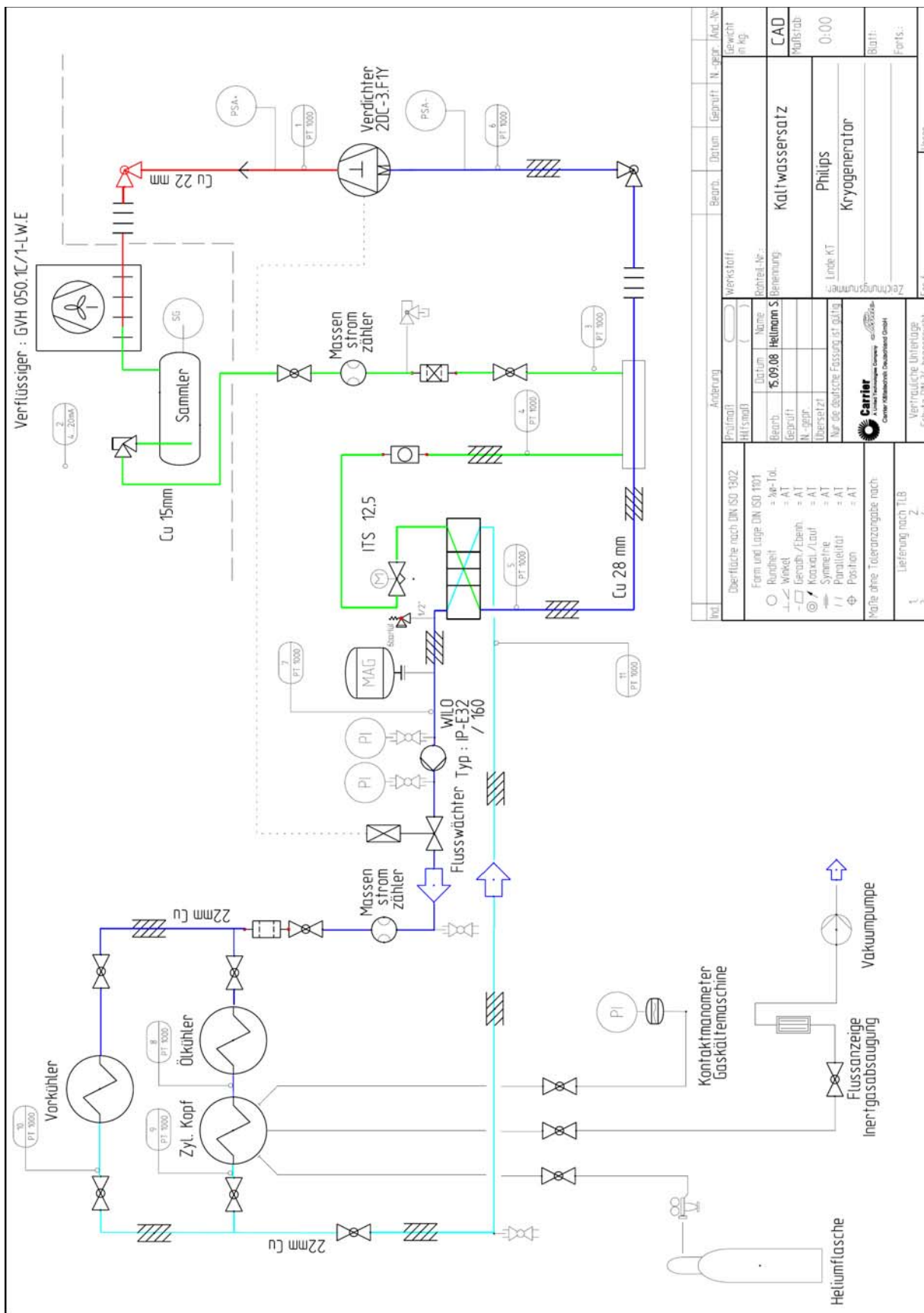
Einschalten der Anlage

- Ölniveauekontrolle
- Gasdruckkontrolle
- Wasserdruckkontrolle
- Hauptschalter Ein
- Anlage starten

Ausschalten der Anlage

- Anlage ausschalten
- Regelventil 11 Zu
- Hauptschalter Aus

A.4 R&I-Schema Kaltwassersatz



Art	Änderung	Prüfmaß	Werkstoff	Bearb.	Datum	Geprüft	N.-gegr.	Aut.-Nr.
		HL (smaß)						Gewicht in kg
Oberfläche nach DIN ISO 1302		Name		Kaltwassersatz		CAD		
Form und Lage DIN ISO 1101		Datum		Philipps		MultiTab		
= Ae-Iol		Beinh.		Kryogenerator		0:00		
= AT		Geprüft		Linde KT		Baht:		
= AT		N.-gegr.		Zählungsnummer:		Forts.:		
= AT		Übersetzt		ZRS-F.				
= AT		Nur die gebliebene Fassung ist gültig						
= AT		Parallellität						
= AT		Position						
Maße ohne Toleranzangabe nach		Carrier		Vertrauliche Unterlagen				
Lieferung nach TIB		Carrier Global Services (Inch/Standard Only)		Schutz. DIN 34, besprochen				
1								
2								
3								
4								

A.5 Sicherheitsdatenblatt R134a

Gas und Engineering

Geschäftsbereich Linde Gas



Sicherheitsdatenblatt

1,1,1,2-Tetrafluorethan (R134a)

Erstellungsdatum: 10.03.1994
überarbeitet am: 30.07.2002

Version: 2.0

SDB Nr.: 150
Seite 1 von 3

Hinweis:

Das Produkt ist kein Gefahrstoff im Sinne der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)
Das Sicherheitsdatenblatt unterliegt nicht den Anforderungen nach § 14 GefStoffV

1 STOFF/ZUBEREITUNGS- UND FIRMIENBEZEICHNUNG

Bezeichnung des Stoffes/der Zubereitung

1,1,1,2-Tetrafluorethan (R134a), verflüssigt.

Chemische Formel: CF₃-CH₂F

Verwendung des Stoffes/der Zubereitung:

Nicht bekannt

Hersteller/Lieferant

Linde AG, Werksgruppe Technische Gase
Seitnerstraße 70, D-82049 Höllriegelskreuth
NOTRUF-NUMMER 089-7446-0

2 ZUSAMMENSETZUNG/ANGABEN ZU BESTANDTEILEN

Stoff/Zubereitung: Stoff

Zusammensetzung/Information über Bestandteile

Enthält keine anderen Komponenten oder Verunreinigungen, die die Klassifizierung dieses Produktes beeinflussen.

CAS.NR.: 811-97-2

EINECS-Nr.: 212-377-0

3 MÖGLICHE GEFAHREN

Zusätzliche Gefahrenhinweise für Mensch und Umwelt

Verflüssigtes Gas.

Kontakt mit der Flüssigkeit kann Kaltverbrennungen/Erfrorungen verursachen.

Kann in hohen Konzentrationen erstickend wirken.

4 ERSTE-HILFE-MAßNAHMEN

Einatmen

Hohe Konzentrationen können Ersticken verursachen. Symptome können Verlust der Bewegungsfähigkeit und des Bewußtseins sein. Das Opfer bemerkt das Ersticken nicht. Das Opfer ist unter Benutzung eines umluftunabhängigen Atemgerätes in frische Luft zu bringen. Warm und ruhig halten. Arzt hinzuziehen. Bei Atemstillstand künstliche Beatmung.

Haut- und Augenkontakt

Bei Kontakt mit der Flüssigkeit: Mindestens 15 Minuten mit Wasser spülen. Arzt hinzuziehen.

Verschlucken

Verschlucken wird nicht als möglicher Weg der Exposition angesehen.

5 MAßNAHMEN ZUR BRANDBEKÄMPFUNG

Spezielle Risiken

Einwirkung von Feuer kann Bersten/Explodieren des Behälters verursachen. Nicht brennbar.

Gefährliche Verbrennungsprodukte

Bei Einwirkung von Feuer können durch thermische Zersetzung die folgenden toxischen und/oder ätzenden Stoffe entstehen:

Fluorwasserstoff

Geeignete Löschmittel

Alle bekannten Löschmittel können benutzt werden.

Spezielle Verfahren

Wenn möglich, Gasaustritt stoppen. Behälter entfernen oder mit Wasser aus geschützter Position kühlen.

Spezielle Schutzausrüstung für die Feuerwehr

Umluftunabhängiges Atemgerät und Chemieschutzanzug benutzen.

6 MAßNAHMEN BEI UNBEABSICHTIGTER FREISETZUNG

Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen

Gebiet räumen. Beim Betreten des Bereiches umluftunabhängiges Atemgerät benutzen, sofern nicht die Ungefährlichkeit der Atmosphäre nachgewiesen ist. Für ausreichende Lüftung sorgen.

Umweltschutzmaßnahmen

Versuchen, den Gasaustritt zu stoppen. Eindringen in Kanalisation, Keller, Arbeitsgruben oder andere Orte, an denen die Ansammlung gefährlich sein könnte, verhindern.

Reinigungsmethoden

Den Raum belüften.

7 HANDHABUNG UND LAGERUNG

Handhabung

Eindringen von Wasser in den Gasbehälter verhindern. Rückströmung in den Gasbehälter verhindern. Nur solche Ausrüstung verwenden, die für dieses Produkt und den vorgesehenen Druck und Temperatur geeignet ist. Im Zweifelsfall den Gaslieferanten konsultieren. Bedienungshinweise des Gaslieferanten beachten.

Lagerung

Technische Regeln Druckgase (TRG) 280 Ziffer 5 beachten. Flaschen vor Umfallen sichern. Behälter bei weniger als 50°C an einem gut gelüfteten Ort lagern.

8 EXPOSITIONSBEGRENZUNG UND PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG

Persönliche Schutzmaßnahmen

Angemessene Lüftung sicherstellen. Beim Umgang mit dem Produkt nicht rauchen. Beim Umgang mit Gasflaschen geeignete Schutzhandschuhe und Arbeitshandschuhe benutzen.

9 PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Allgemeine Angaben:

Aussehen: farbloses Gas.

Geruch: leicht etherisch.

Gas und Engineering

Geschäftsbereich Linde Gas

**Sicherheitsdatenblatt****1,1,1,2-Tetrafluorethan (R134a)**

Erstellungsdatum: 10.03.1994
überarbeitet am: 30.07.2002

Version: 2.0

SDB Nr.: 150
Seite 2 von 3

Hinweis:

Das Produkt ist kein Gefahrstoff im Sinne der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)
Das Sicherheitsdatenblatt unterliegt nicht den Anforderungen nach § 14 GefStoffV

Wichtige Angaben zum Gesundheits- und Umweltschutz sowie zur Sicherheit:

Molare Masse: 102
Schmelzpunkt: -101°C
Siedepunkt: -26°C
Kritische Temperatur: 100,6°C
Relative Dichte, gasf. (Luft = 1): schwerer als Luft
Dampfdruck bei 20°C: 5.7 bar
Löslichkeit in Wasser : 1,93 g/l bei 20°C, 1bar
Explosionsgrenzen: nicht brennbar.

Sonstige Angaben

Gas/Dämpfe sind schwerer als Luft. Sie können sich in geschlossenen Räumen ansammeln, insbesondere am Fußboden oder in tiefergelegenen Bereichen.

10 STABILITÄT UND REAKTIVITÄT**Zu vermeidende Stoffe**

Reagiert heftig mit Alkali- und Erdalkalimetallen.

11 TOXIKOLOGISCHE INFORMATIONEN**Akute Toxizität**

Toxische Wirkungen des Produkts sind nicht bekannt.

12 ANGABEN ZUR ÖKOLOGIE**Allgemeines**

Es sind keine schädlichen Wirkungen des Produkts auf die Umwelt bekannt.

13 HINWEISE ZUR ENTSORGUNG**Allgemeines**

Nicht in die Kanalisation, Keller, Arbeitsgruben und ähnliche Plätze, an denen die Ansammlung des Gases gefährlich werden könnte, ausströmen lassen. Rückfrage beim Gaselieferanten, wenn eine Beratung nötig ist.

EAK-Nr.: 160501

14 ANGABEN ZUM TRANSPORT**ADR/RID:**

Klasse 2
Klassifizierungscode 2 A

Kennzeichnungsnummer und Benennung:

UN 3159 1,1,1,2-Tetrafluorethan

Kennzeichnung nach ADR/RID

Gefahrzettel 2.2: Nicht brennbarer, nicht giftiger Stoff/Zubereitung

Weitere Transportinformationen

Möglichst nicht in Fahrzeugen transportieren, deren Laderaum nicht von der Fahrerkabine getrennt ist. Der Fahrer muß die möglichen Gefahren der Ladung kennen und er muß wissen, was bei einem Unfall oder Notfall zu tun ist. Gasflaschen vor dem Transport sichern. Das Flaschenventil muß geschlossen und dicht sein. Die Ventilverschlußmutter oder der Verschlußstopfen (soweit vorhanden) muß korrekt befestigt sein. Die Ventilschutzeinrichtung (soweit vorhanden) muß korrekt befestigt sein. Ausreichende Lüftung sicherstellen. Geltende Vorschriften beachten.

15 VORSCHRIFTEN**Nummer in Anhang I der Direktive 67/548:**

In Anhang I nicht genannt.

EG- Einstufung: Vorgeschlagen durch die Gase-Industrie:

Nicht als gefährlicher Stoff klassifiziert.

Kennzeichnung**-Symbole**

Kein Symbol erforderlich.

-Hinweise auf die besonderen Gefahren

RAs Erstickend in hohen Konzentrationen.

-Sicherheitsratschläge

S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren.

S23 Gas nicht einatmen.

Vorschriften-Informationen

Unfallverhütungsvorschriften (UVV)

Druckbehälterverordnung mit Technischen Regeln (TRB, TRG, TRR)

Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)

Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)

Wassergefährdungsklasse

WGK gemäß §19 WHG Anhang 1: nicht aufgeführt in VwVwS

16 SONSTIGE ANGABEN

Alle nationalen/örtlichen Vorschriften beachten. Das Risiko des Erstickens wird oft übersehen und muß bei der Unterweisung der Mitarbeiter besonders hervorgehoben werden. Bevor das Produkt in irgendeinem neuen Prozeß oder Versuch benutzt wird, sollte eine sorgfältige Studie über die Materialverträglichkeit und die Sicherheit durchgeführt werden.

Hinweis:

Die Angaben sind keine vertraglichen Zusicherungen von Produkteigenschaften. Sie stützen sich auf den heutigen Stand der Kenntnisse.

Weitere Informationen

Kühn-Birett: Merkblätter gefährliche Arbeitsstoffe: nicht aufgeführt

Hommel: Handbuch der gefährlichen Güter: nicht aufgeführt

BG- Merkblatt M 021 "Fluorkohlenwasserstoffe"

Gas und Engineering

Geschäftsbereich Linde Gas

**Sicherheitsdatenblatt****1,1,1,2-Tetrafluorethan (R134a)**Erstellungsdatum: 10.03.1994
überarbeitet am: 30.07.2002

Version: 2.0

SDB Nr.: 150
Seite 3 von 3**Hinweis:**Das Produkt ist kein Gefahrstoff im Sinne der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)
Das Sicherheitsdatenblatt unterliegt nicht den Anforderungen nach § 14 GefStoffV**A.6 Kältemittelfüllprotokoll****Wartungs- und Reparaturarbeiten an der Kälte-/Klima-/Wärmepumpenanlage (Nachfüllen und Rückgewinnung von Kältemittel)**

Datum	Durchgeführte Arbeit	Kältemittel in kg entnommen / eingefüllt		Fachbetrieb einschl. Zert.-Nr.	Zertifiziertes Personal einschl. Kat und Zert-Nr.	Bemerkungen (für H-FCKW Herkunft angeben (rezyklierte oder aufbereitete Ware)
22.10.09	Erstfüllung		12		Hellmann Kat 1 TH0028	Erstfüllung

A.7 Prüfbescheinigung

**Prüfbescheinigung
über die Prüfung einer
Kälteanlage oder Wärmepumpe nach DIN 8901**

Hersteller:

Firma	WS07 Hellmann/Kluge/Schiener
Straße	entfällt
PLZ, Ort	entfällt
Telefon	entfällt

Typ	1
Hersteller-/Seriennummer	WS07-1/2010
Baujahr	2010
Kältemittel	R 134a
Füllmenge	12 kg
Öl	SEZ 32
Ölmenge	3,5 l

Sicherheitseinrichtungen zur Abschaltung bei Leckage	P77AAA-9300
--	-------------

Abschaltpunkt der Sicherheitseinrichtungen, z.B. Überdruck in bar, Temperatur in °C, Konzentration in mg/m ³ Luft.	19 bar (Hochdruck) 0,1 bar (Niederdruck)
---	---

<input type="checkbox"/> Seriengerätehersteller <input type="checkbox"/> anerkannte Prüfstelle <input checked="" type="checkbox"/> Kälte-Klima-Fachbetrieb	Hellmann
--	----------

Geprüft am	22.09.10
------------	----------

Prüfer	Hellmann
--------	----------

Ort, Datum	Maintal , 22.09.10
------------	--------------------

Unterschrift	
--------------	--

A.8 IB-Protokoll

Inbetriebnahme-, Prüf- und Wartungsprotokoll						
Kunde:	ESaK			Anlage:	Stickstoffverflüssigung	
Hersteller:	WS07			Typ:	1	
		i. O.	nicht i. O.			beheben
Verdampfer:				Kontrollgeräte:		
<input type="checkbox"/>	Kühlschlange geprüft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Thermostat geprüft	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Lamellen gereinigt und gerichtet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hygrostat geprüft	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Kondensatwanne gereinigt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HD-Pressostat:		
<input checked="" type="checkbox"/>	E-Ventil geprüft	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ein 18 bar	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Filter gereinigt / gewechselt	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	aus 19 bar	<input type="checkbox"/>
Verflüssiger:				ND-Pressostat:		
<input type="checkbox"/>	Kühlschlange geprüft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ein 1 bar	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Lamellen gereinigt und gerichtet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	aus 0,1 bar	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Wassermenge reguliert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Überstromauslöser: A		
<input type="checkbox"/>	Entlüften	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ölsicherheitsschalter	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Verkalkung feststellen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Frostschutz	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Wasser- / Lufteingang	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Filterdifferenzdruck	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Wasser- /Luftausgang	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Warneinrichtung	<input type="checkbox"/>
Verdichter:				Steuerung und Regelung:		
<input checked="" type="checkbox"/>	Allgemeinzustand geprüft	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Steuergerät	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Geräusch- u. Vibrationsprüfung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Thermostat	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Ölstand u. Pumpe geprüft	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hygrostat	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Pump down kontrolliert	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Mikroschalter	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Hochdruck 8 bar	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Regelventil	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Niederdruck 1,6 bar	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Stellmotor	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	T ₀ -4 °C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Schalter	<input checked="" type="checkbox"/>
Kältemittelkreislauf:				<input checked="" type="checkbox"/> Schütz		
<input checked="" type="checkbox"/>	Kältemitteltyp: R134a	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sicherung	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Dichtigkeitsprüfung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Relais	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Füllmenge überprüft	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Trafo	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Isolierung überprüft	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Schaltuhr	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Schauglas u. Trockner geprüft	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Kabelklemmen	<input checked="" type="checkbox"/>
Motorantrieb:				<input checked="" type="checkbox"/> Funktionsprüfung		
<input checked="" type="checkbox"/>	Lager u. Welle geprüft	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bauteile:		
<input checked="" type="checkbox"/>	Lager geschmiert	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Kurbelwannenheizung	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Motorzustand geprüft	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kühlturm	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Keilriemen u. Scheiben geprüft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wäscher	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Kondensatoren geprüft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Feuerschutz	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Drehrichtung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ventilatoren	<input checked="" type="checkbox"/>
Heizgeräte:				Messwerte:		
<input type="checkbox"/>	E-Register	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Außentemperatur: 20 °C	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	PWW-Register	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raumtemperatur: 22 °C	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Wasservorlauf u. -rücklauf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Zulufttemperatur: 20 °C	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Luft Eintritt u. -austritt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ablufttemperatur: 24 °C	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Wärmepumpe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zuluftmenge: m ³ /h	<input type="checkbox"/>
Bemerkungen:				<input type="checkbox"/> Abluftmenge: m ³ /h		
Ort, Datum: Maintal, 22.09.10				<input checked="" type="checkbox"/> Kaltwassermenge 0,28kg/s		
				<input checked="" type="checkbox"/> Kältemittelmenge 64 g/s		
				<input checked="" type="checkbox"/> Spannung/Strom 400V / 25 A		
Unterschrift:						

A.9 Bescheinigung der Druckfestigkeitsprüfung

Bescheinigung über die Druckfestigkeitsprüfung einer Kälteanlage Protokoll Nr.: 1

Art der Anlage	Stickstoffverflüssigung
Typ	1
Seriennummer	WS07-1/2010
Kältemittel	R 134a
Füllmenge	12 kg
max. zul. Druck HD-Seite	20 bar
max. zul. Druck ND-Seite	20 bar
Verflüssigertemperatur	23 °C
Sachkundiger / befähigte Person	Hellmann

Ort der Prüfung

<input type="checkbox"/> im Herstellerwerk	<input checked="" type="checkbox"/> am Aufstellungsort
--	--

Werden Rohrleitungen und Verbindungen nicht zuvor einer Prüfung unterzogen, dann gelten für diese Rohrleitungen und Rohrleitungsverbindungen die folgenden Anforderungen

An den Rohrleitungen und Rohrleitungsverbindungen der Kategorie II oder höher ist eine der folgenden Prüfung durchzuführen:

- Durchführung der Prüfung nach EN 14276-2, oder
- separate Druckprüfung mit mindestens 1,43 * PS, oder
- Die Rohrleitungen und Rohrleitungsverbindungen sind einer Druckfestigkeitsprüfung mit mindestens 1,1 x PS zu unterziehen. Zusätzlich müssen 10% der nichtlösbaren Verbindungen der Kategorie II oder höher einer zerstörungsfreien Prüfung unterzogen werden.

Wenn die Kategorie dieser Rohrleitungen und Rohrleitungsverbindungen unter oder gleich der Kategorie I ist, ist eine der folgenden Prüfung durchzuführen:

- Durchführung einer der für Rohrleitungen und Rohrleitungsverbindungen der Kategorie II oder höher erforderlichen Prüfung, oder
- Prüfung der Rohrleitung und Rohrleitungsverbindungen mit mindestens 1,1 x PS, oder
- Durchführung einer Baumusterprüfung an diesen Rohrleitungen und Rohrleitungsverbindungen.

ANMERKUNG: Für die vorgenannte Prüfung der Druckfestigkeit dürfen die Druckentlastungs-, Steuer- und Regeleinrichtungen entfernt werden, falls dies erforderlich ist

Für die Verbindung dieser Teile ist eine Dichtheitsprüfung erforderlich, wenn die Teile nach der Druckfestigkeitsprüfung wieder an die Einrichtungen angeschlossen werden.

Der maximal zulässige Druck kann für jeden Abschnitt in der Anlage einzeln festgelegt werden. In diesem Fall kann auch für jeden Abschnitt ein anderer Prüfdruck festgelegt werden.

Prüfdruck: 22bar

Prüfergebnisse

Entsprechend den Druckfestigkeitsprüfung wurde das kältetechnische Erzeugnis zum Zeitpunkt der Prüfung als in Ordnung nicht in Ordnung befunden.

Bemerkungen

Ort, Datum: Maintal, 22.09.2010

Unterschrift:

Sachkundiger / befähigte Person

A.10 Bescheinigung der Prüfung der SI-Schaltanlage zur Druckbegrenzung

Bescheinigung über die Einstellung/Prüfung einer Sicherheitsschaltanlage zur Druckbegrenzung

Anlage:

Art der Anlage	Stickstoffverflüssigung
Hersteller	WS07
Seriennummer	WS07-1/2010
Baujahr	2010
Kältemittel	R 134a
Füllmenge	12 kg
max. zul. Druck HD-Seite	20 bar

Sicherheitsschaltanlage gegen Drucküberschreitung:

Bezeichnung	Druckwächter (PSH)
Typ	P77AW-9350
Hersteller	Johnson Controls

Ausschaltdruck der Sicherheitseinrichtung: bar (Überdruck)

Absicherung der Einstellung durch Plombe oder Sicherungsblech: ja nein

Die Plombe ist gekennzeichnet: Ja nein

Kennzeichnung:

Das Manometer besitzt eine rote Strichmarke bei bar Überdruck. Ja nein

Anschluss für ein Prüfmanometer ist möglich ja nein

Prüfer:

Ort, Datum: Maintal, 22.09.10

Unterschrift: _____

A.11 Bescheinigung der Dichtheitsprüfung

Bescheinigung über die Dichtheitsprüfung einer Kälteanlage

Protokoll Nr.:

Art der Anlage	Stickstoffverflüssigung
Typ	1
Seriennummer	WS07-1/2010
Kältemittel	R 134a
Füllmenge	12 kg
max. zul. Druck HD-Seite	20 bar
max. zul. Druck ND-Seite	20 bar
Verflüssigertemperatur	25 °C
Sachkundiger / befähigte Person	Hellmann

Dichtheitsanforderungen ¹⁾

Zulässige Einzelleckrate:	240 g/a	Bezugsdruck:	20 bar
Zulässige Gesamtleckrate:	2 %	Bezugsdruck:	20 bar

Angaben zur Durchführung der Prüfung

Art der Prüfung	Prüfverfahren	Prüfmedium	Prüfdruck
Vorprüfung	B - Vakuumdruckanstiegsprüfung	Luft	-1 bar
Vorprüfung	A - Druckabfallprüfung (Druckstandprobe)	Stickstoff	15 bar
Endprüfung	D - Dichtheitsprüfung mit elektron. Lecksuchgerät	R134a	10 bar
			bar
			bar

Ort der Prüfung

<input type="checkbox"/> im Herstellerwerk	<input checked="" type="checkbox"/> am Aufstellungsort
--	--

Prüfgeräte

Prüfverfahren	Bezeichnung Druckmessgerät	Typ (Fabr. bzw. Ser. Nr.)	Messbereich / Klasse Genauigkeit	Auflösung der Anzeige
B	Absolutdruckmanometer	Refco	0-150mbar	1mbar
A	Feinmessmanometer	Wika	0-25bar	0,05 bar
D	Lecksuchgerät	D-Tek		

Lecksuchgerät

Bezeichnung / Typ	Nachweisempfindlichkeit	Überprüfung	
		Datum	Prüfleck

Prüfergebnisse

Entsprechend den Dichtheitsanforderungen wurde das kältetechnische Erzeugnis zu Zeitpunkt der Prüfung als	
<input checked="" type="checkbox"/> dicht	<input type="checkbox"/> nicht dicht
befunden.	
Detaillierte Angaben sind den folgenden Beiblättern zu entnehmen:	
<input checked="" type="checkbox"/> A - Druckabfallprüfung (Druckstandprobe)	
<input checked="" type="checkbox"/> B - Vakuumdruckanstiegsprüfung	
<input checked="" type="checkbox"/> C - Seifenblasentest	
<input checked="" type="checkbox"/> D - Dichtheitsprüfung / Lecksuche mit elektron. Lecksuchgerät	

¹⁾ Dichtheitsanforderungen nach EG-Verordnung 1516/2007, ChemKlimaSchutzV und VDMA 24 243

Ort, Datum: Maintal, 22.09.10

Unterschrift:

 Sachkundiger / befähigte Person

Beiblatt A: Druckabfallprüfung (Druckstandsprobe) zum Protokoll Nr.:Bemerkung:

Druckabfallprüfungen kältetechnischer Erzeugnisse sind in der Regel nur Grobprüfungen, denen Feindichtheitsprüfungen folgen.

Zur Berechnung der nicht erkennbaren Leckraten siehe ChemKlimaSchutzV. Die Berechnung des temperaturkorrigierten Druckes kann gemäß diesem Beiblatt erfolgen. Sie ist sinnvoll, wenn repräsentative Temperaturmessungen des kältetechnischen Erzeugnisses möglich waren.

Angaben zur durchgeführten Druckabfallprüfung und zur Temperaturkorrektur des Druckes:

- **Prüfmedium:** Stickstoff
- **Anfang** 15.8.09 15.30 Uhr
 - Prüfüberdruck: Druckmessgerät P = 15 bar (ü)
 - Umgebungsdruck: Druckmessgerät P_{amb.} = 1 bar (abs.)
 - Absoluter Prüfdruck am Anfang:** P_{Anfang} = 16 bar (abs.)
 - Umgebungstemperatur: Sensor S = 23 °C
 - Absolute Temperatur am Anfang:** T_{Anfang} = 300 K
- **Ende** 27.08.09 17:00 Uhr
 - Prüfüberdruck: Druckmessgerät P = 15 bar (ü)
 - Umgebungsdruck: Druckmessgerät P_{amb.} = 1 bar (abs.)
 - Absoluter Prüfdruck am Ende:** P_{Ende} = 16 bar (abs.)
 - Umgebungstemperatur: Sensor S = 23 °C
 - Absolute Temperatur am Ende:** T_{Ende} = 300 K

- **Druckänderung infolge Temperaturänderung:**

$$P_{\text{Ende, SOLL}} = \frac{P_{\text{Anfang}} * T_{\text{Ende}}}{T_{\text{Anfang}}}$$

$$P_{\text{Ende, SOLL}} = \frac{16 \text{ bar} * 300 \text{ K}}{300 \text{ K}}$$

$$P_{\text{Ende, SOLL}} = 16 \text{ bar}$$

$$P_{\text{Ende, IST}} = 16 \text{ bar}$$

- Während der Druckstandsprobe wurde ein Seifenblasen-Test durchgeführt: ja nein
- Bei der Druckabfallprüfung, mit Stickstoff bei einem Prüfüberdruck von 15 bar (ü) und einem Zeitraum von >200 Stunden wurde kein Druckabfall festgestellt.

Ort, Datum: Maintal, 30.08.09

Unterschrift:

Sachkundiger / befähigte Person

A.12 Übergabe-Bescheinigung

Übernahme / Übergabe – Bescheinigung

 Neuanlage

 Prüfung nach wesentlicher Änderung

1. Technische Daten - Kennzeichnung

Art der Anlage	Stickstoffverflüssigung
Hersteller	WS07
Typ	1
Seriennummer	WS07-1/2010
CE-Nummer	WS07-1/2010-1
Baujahr	2010
Kältemittel	R 134a
Füllmenge	12 kg
chemische Formel	CF3-CH2F
Öl	SEZ 32
Ölmenge	3.5 l
zul. Druck HD-Seite	20 bar
zul. Druck ND-Seite	20 bar
Netzspannung	400 / 3 / 50 V/PH/Hz
Nennstrom	25 A
Bauart Verdichter	Hubkolben / Halbhermetic
Nennleistung des Verdichters	11 / 4 kW
Verflüssiger	Luftgekühlt Axial

Ergebnis:

 kein Mangel

 Mangel

2. Sichtprüfung

Gemäß DIN EN 378-2, Anhang G wurde die äußere Sichtprüfung durchgeführt.

Ergebnis:

 kein Mangel

 Mangel

3. Druckprüfung durch die befähigte Person / den Sachkundigen

Die Anlage wurde am 2009 durch die befähigte Person / den Sachkundigen Hellmann

im Herstellerwerk / am Aufstellungsort

nach DIN EN 378-2 (2008) einer Druckfestigkeitsprüfung unterzogen.

Prüfdruck: 22bar

Eine spezielle Bescheinigung über die Druckfestigkeitsprüfung ist beigefügt.

 ja

 nein

Ergebnis:

 kein Mangel

 Mangel

4. Dichtheitsprüfung durch die befähigte Person / den Sachkundigen

Die Anlage wurde am 2009 durch die befähigte Person / den Sachkundigen Hellmann
 im Herstellerwerk / am Aufstellungsort einer Dichtheitsprüfung unterzogen.

Vakuumprüfung
 Überdruckprüfung Prüfmedium: Stickstoff Prüfdruck: 15bar
 Haltezeit: >200 Stunden, Minuten

Eine spezielle Bescheinigung über die Dichtheitsprüfung
 ist beigefügt. ja nein

Ergebnis:	<input checked="" type="checkbox"/> kein Mangel	<input type="checkbox"/> Mangel
-----------	---	---------------------------------

5. Abnahmeprüfung nach Druckgeräterichtlinie 97/23 EG (DGRL)

Für die Druckbehälter der Kälteanlage liegen entsprechende EG-Konformitäts-/
 Herstell-/ Einbauererklärungen vor. ja nein

Die Druckbehälter sind ordnungsgemäß gekennzeichnet. ja nein

Die Druckbehälter der Kategorie wurden nach der Druckgeräterichtlinie
 97/23 EG Modul von der
 benannten Stelle / zugelassenen Überwachungsstelle ja nein
 Betreiberprüfstelle / dem Hersteller
 geprüft.

Die Druckbehälter der Kategorie wurden nach der Druckgeräterichtlinie
 97/23 EG Modul von der
 benannten Stelle / zugelassenen Überwachungsstelle ja nein
 Betreiberprüfstelle / dem Hersteller
 geprüft.

Falls notwendig:

Die Rohrleitungen der Kategorie wurden nach der Druckgeräterichtlinie
 97/23 EG Modul von der
 benannten Stelle / zugelassenen Überwachungsstelle ja nein
 Betreiberprüfstelle / dem Hersteller
 geprüft.

Die Rohrleitungen der Kategorie wurden nach der Druckgeräterichtlinie
 97/23 EG Modul von der
 benannten Stelle / zugelassenen Überwachungsstelle ja nein
 Betreiberprüfstelle / dem Hersteller
 geprüft.

Ergebnis:	<input checked="" type="checkbox"/> kein Mangel	<input type="checkbox"/> Mangel
-----------	---	---------------------------------

6. Prüfung der Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung

Für jede Kälteanlage sind Sicherheitseinrichtungen nach den Angaben der DIN EN 378-2 (6.2.6.2 Schutz der Kälteanlage gegen überhöhten Druck) vorzusehen.

Der Sachkundige / die befähigte Person hat vor der Inbetriebnahme folgende Sicherheitseinrichtungen auf ihre Funktion geprüft:

Druckwächter (PSH) Typ: Baumusterkennzeichen: verplombt:	P77AAW-9350 <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Ausschaltdruck: 19 bar Einschaltdruck: 18 bar
Druckbegrenzer (PZH) Typ: Bauteilkennzeichen: verplombt:	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Ausschaltdruck: bar
Sicherheitsdruckbegrenzer (PZHH) Typ: Bauteilkennzeichen: verplombt:	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Ausschaltdruck: bar

Volumenstrom des Verdichters: [l/s] oder [m³/h]

Ergebnis:	<input checked="" type="checkbox"/> kein Mangel	<input type="checkbox"/> Mangel
-----------	---	---------------------------------

7. Prüfung der Sicherheitseinrichtungen nach Wasserhaushaltsgesetz (WHG)**a) typgeprüfte Sicherheitseinrichtungen nach DIN 8901**

<input checked="" type="checkbox"/> Druckbegrenzer	Typ: P77AAA-9300 Bauteilkennz.:	Ausschaltdruck: 0,1 bar
<input type="checkbox"/> Temperaturbegrenzer:	Typ: Bauteilkennz.:	Ausschalttemperatur: °C
<input type="checkbox"/> Andere Einrichtung:	Art: Typ: Bauteilkennz.:	Ausschaltgröße:

b) andere Lösung

Auffangwanne: Prüfung:

sonstige:

Ergebnis:	<input checked="" type="checkbox"/> kein Mangel	<input type="checkbox"/> Mangel
-----------	---	---------------------------------

8. Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion DIN EN 378-2

Für jede Kälteanlage sind Sicherheitseinrichtungen nach den Angaben der DIN EN 378-2 (6.2.6.2 Schutz der Kälteanlage gegen überhöhten Druck) vorzusehen.

Druckentlastungsventile sind erforderlich bei:

- Druckbehältern oder Rohrleitungsabschnitten, in denen Flüssigkeitsdruck auftreten kann,
- beidseitig absperrbaren Druckbehältern, die flüssiges Kältemittel enthalten können.

beidseitig absperrbare Druckbehälter / Rohrleitungsabschnitte

Bauteil	Bauteilkennzeichen	zul. Überdruck	Sicherheitseinrichtung	Abblasedruck
bitte wählen Sie:		bar		bar
bitte wählen Sie:		bar		bar
bitte wählen Sie:		bar		bar
bitte wählen Sie:		bar		bar
bitte wählen Sie:		bar		bar
bitte wählen Sie:		bar		bar

Ergebnis: kein Mangel Mangel

9. Sonstige Einrichtungen

Funktionsprüfung folgender Geräte, soweit vorhanden (diese Prüfung sollte ebenfalls nach jeder Reparatur oder Wartung durchgeführt werden):

<input checked="" type="checkbox"/> Unterdruckwächter	Ausschaltdruck in bar:	0,1 bar
<input type="checkbox"/> Manometer-Aufkleber	Höchstzulässiger Druck:	20 bar
<input checked="" type="checkbox"/> Manometer-Strichmarke		
<input type="checkbox"/> Sicherheitsthermostat	Abschalttemperatur:	°C
<input type="checkbox"/> Sicherheitstemperaturbegrenzer	Abschalttemperatur:	°C
<input type="checkbox"/> Frostschutzthermostat	Abschalttemperatur:	°C
<input checked="" type="checkbox"/> Strömungswächter	Ausschaltpunkt bei Druckflussmenge:	0 m ³ /h
<input type="checkbox"/> Öldifferenzdruckschalter	Abschaltverzögerung:	s
<input type="checkbox"/> Abtauuhr	Zeitrelais:	s

Zusätzlich bei wassergekühlten Anlagen:

<input type="checkbox"/> Kühlwasserregler	Öffnungsdruck:	bar
<input type="checkbox"/> Kühlwassereintritt	Temperatur:	°C
<input type="checkbox"/> Kühlwasseraustritt	Temperatur:	°C

Ergebnis: kein Mangel Mangel

10. Ordnungsprüfung

Die Kälteanlage wurde am 23.09.10 durch den Sachkundigen Hellmann nach DIN EN 378-2
 im Herstellerwerk / am Aufstellungsort auf ihren ordnungsgemäßen Zustand geprüft.

Ergebnis:	<input checked="" type="checkbox"/> kein Mangel	<input type="checkbox"/> Mangel
-----------	---	---------------------------------

11. Aufstellungsbereich nach DIN EN 378-1

Aufstellungsort der Kälteanlage:	<input type="checkbox"/> In eine Personen-Aufenthaltsbereich aufgestellte Anlage <input type="checkbox"/> Kälteanlage, deren Verdichter, Flüssigkeits-sammler und Verflüssiger in einem Bitte wählen untergebracht sind <input checked="" type="checkbox"/> Kälteanlage, bei der alle kältemittelführenden Teile in einem besonderer Masschinenraum untergebracht sind	
Anlagen System:	Direkt: Direktes Sytem	Indirekt: Bitte wählen Sie
Sicherheitsgruppe des Kältemittels:	A1	
Aufstellungsbereich:	<input type="checkbox"/> Klasse A <input checked="" type="checkbox"/> Klasse B <input type="checkbox"/> Klasse C <input type="checkbox"/> andere:	
Volumen des Aufstellungsraumes:	180 m ³	
Fläche des Aufstellraumes:	50 m ²	
Praktischer Grenzwert (DIN EN 378-1 Anhang E):	0,25 kg/m ³	
Anzahl der Beschäftigten:	0	
Lage des Aufstellungsraumes:	Obergeschoss	
Fluchtwege bzw. Rettungswege:	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden	<input type="checkbox"/> nicht vorhanden

falls notwendig

	vorhanden	nicht vorhanden
natürliche Lüftung (Querschnitt): m ²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mechanische Lüftung: 200 m ³ /h (DIN EN 378-3)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mechanische Lüftung von ungefährdeter Stelle einschaltbar:	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Schalter außen:	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Kältemitteldetektoren: Alarmwert ppm bzw. mg/m ³ Bei Ammoniak gemäß DIN EN 378-3 Abschn. 8.7		
untere Alarmgrenze: 350 mg/m ³ (500 ppm V/V)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
obere Alarmgrenze: 21 200 mg/m ³ (30 000 ppm V/V)		
Explosionsschutz bei Kältemitteln der Gruppe A3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Kennzeichnung der Fluchtwege bzw. Rettungswege	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ergebnis:	<input checked="" type="checkbox"/> kein Mangel	<input type="checkbox"/> Mangel
-----------	---	---------------------------------

12. Einweisung des Betreibers

Der Betreiber Vertreter des Betreibers Name:

wurde unterwiesen in:

- Bedienung der Kälteanlage
- Funktion der Sicherheitseinrichtungen
- Verhalten bei Unfällen
- Verhalten bei Störungen
- Bedienung der Stickstoffanlage
- Wartung der Stickstoffanlage

Folgende Unterlagen wurden übergeben bzw. Kennzeichnungen durchgeführt:

- RI-Fließbild
- Stromlaufplan
- EG-Konformitätserklärung
- Das Fabrikschild der Anlage und das CE-Kennzeichen sind angebracht
- Ausführliche Betriebsanleitung (Betriebsanleitungs-Handbuch gemäß DIN EN 378-2) / Funktionsbeschreibung
- Kurzfassung der Betriebsanleitung (Kurzanweisung gemäß DIN EN 378-2) mit Hinweisen zur ersten Hilfe
- Prüfbescheinigung nach DIN EN 378-2
- Prüfbescheinigung nach DIN 8901
- Abnahmebescheinigung nach der Druckgeräterichtlinie 97/23 EG Kategorie / Modul ...
- Werksbescheinigung für Sicherheitsventil / Überströmventil
- Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung sind gegen Änderung der Einstellung durch Unbefugte mit Sicherungsblech oder Plombe gesichert.
- Die max. zul. Drücke sind durch rote Manometer-Strichmarken erkennbar.
- Sicherheitsdatenblätter für das Kältemittel und für das Kältemaschinenöl (optional)
- Kältemittelrohrleitungen sind gekennzeichnet nach DIN 2405.
-
-
-

Ergebnis:	<input checked="" type="checkbox"/> kein Mangel	<input type="checkbox"/> Mangel
-----------	---	---------------------------------

13. Prüfergebnis

Bemerkungen: Musterhaftes Beispiel zum Studium

KF

<input checked="" type="checkbox"/> Die Anlage entspricht den einschlägigen Rechtsvorschriften sowie dem Stand der Technik.	Rechtsgültige Unterschrift und Stempel des Herstellers
<input type="checkbox"/> Die Anlage entspricht nicht*) den einschlägigen Rechtsvorschriften sowie dem Stand der Technik.	
*) ggf. streichen	Rechtsgültige Unterschrift und Stempel des Sachkundigen / der befähigten Person
Hinweise:	

Die Anlage und Dokumentation wurden ordnungsgemäß übergeben.	Rechtsgültige Unterschrift und Stempel des Betreibers
--	---

A.13 Sicherheitsdatenblatt Helium

Gas und Engineering
Geschäftsbereich Linde Gas



EG-Sicherheitsdatenblatt Helium, verdichtet

Erstellungsdatum : 14.07.2005
Überarbeitet am : 25.05.2005

Version : 1.0

DE / D

SDB Nr. : 8312
Seite 1 / 2

1 STOFF/ZUBEREITUNGS- UND FIRMBEZEICHNUNG

Produktname

Helium, verdichtet

Chemische Formel

He

Bekannte Verwendungszwecke

Nicht bekannt.

Hersteller/Lieferant

Linde AG, Gas und Engineering, Geschäftsbereich Linde Gas
Seitnerstraße 70, D-82049 Höllriegelskreuth
NOTRUF-NUMMER: 089-7446-0

2 ZUSAMMENSETZUNG/ANGABEN ZU BESTANDTEILEN

Stoff/Zubereitung: Stoff

Zusammensetzung/Information über Bestandteile

CAS-Nr.: 7440-59-7

Enthält keine anderen Komponenten oder Verunreinigungen, die die Einstufung dieses Produktes beeinflussen.

3 MÖGLICHE GEFAHREN

Einstufung

Erstickend in hohen Konzentrationen.

Gefahrenhinweise für Mensch und Umwelt

Kann in hohen Konzentrationen erstickend wirken.

Verdichtetes Gas

4 ERSTE-HILFE-MAßNAHMEN

Einatmen

Hohe Konzentrationen können Erstickten verursachen. Symptome können Verlust der Bewegungsfähigkeit und des Bewußtseins sein. Das Opfer bemerkt das Erstickten nicht. Das Opfer ist unter Benutzung eines umluftunabhängigen Atemgerätes in frische Luft zu bringen. Warm und ruhig halten. Arzt hinzuziehen. Bei Atemstillstand künstliche Beatmung.

5 MAßNAHMEN ZUR BRANDBEKÄMPFUNG

Spezielle Risiken

Einwirkung von Feuer kann Bersten / Explodieren des Behälters verursachen. Nicht brennbar.

Gefährliche Verbrennungsprodukte

Keine

Geeignete Löschmittel

Alle bekannten Löschmittel können benutzt werden.

Spezielle Verfahren

Wenn möglich, Gasaustritt stoppen. Behälter entfernen oder mit Wasser aus geschützter Position kühlen.

Spezielle Schutzausrüstung für die Feuerwehr

In geschlossenen Räumen umluftunabhängiges Atemgerät benutzen.

6 MAßNAHMEN BEI UNBEABSICHTIGTER FREISETZUNG

Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen

Gebiet räumen. Beim Betreten des Bereiches umluftunabhängiges Atemgerät benutzen, sofern nicht die Ungefährlichkeit der Atmosphäre nachgewiesen ist. Für ausreichende Lüftung sorgen.

Umweltschutzmaßnahmen

Versuchen, den Produktaustritt zu stoppen.

Reinigungsmethoden

Den Raum belüften.

7 HANDHABUNG UND LAGERUNG

Handhabung und Lagerung

Eindringen von Wasser in den Gasbehälter verhindern. Nur solche Ausrüstung verwenden, die für dieses Produkt und den vorgesehenen Druck und Temperatur geeignet ist. Im Zweifelsfall den Gaslieferanten konsultieren. Bedienungshinweise des Gaslieferanten beachten.

Technische Regeln Druckgase (TRG) 280 Ziffer 5 beachten. Behälter bei weniger als 50°C an einem gut gelüfteten Ort lagern.

8 EXPOSITIONSBEGRENZUNG UND PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG

Persönliche Schutzmaßnahmen

Angemessene Lüftung sicherstellen.

9 PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Allgemeine Angaben

Aussehen: Farbloses Gas

Geruch: Geruchlos.

Wichtige Angaben zum Gesundheits- und Umweltschutz sowie zur Sicherheit

Molare Masse: 4 g/mol

Schmelzpunkt: -272,2 °C

Siedepunkt: -269 °C

Kritische Temperatur: -268 °C

Zündtemperatur: Nicht zutreffend.

Explosionsgrenzen (Vol.% in Luft): Nicht zutreffend.

Relative Dichte, gasf. (Luft=1): 0,14

Relative Dichte, flüssig (Wasser=1): 0,12

Löslichkeit in Wasser (mg/l): 1,5 mg/l

Maximaler Fülldruck (bar): 300 bar

10 STABILITÄT UND REAKTIVITÄT

Stabilität und Reaktivität

Stabil unter normalen Bedingungen.

11 TOXIKOLOGISCHE INFORMATIONEN

Allgemeines

Toxikologische Wirkungen des Produktes sind nicht bekannt.

12 ANGABEN ZUR ÖKOLOGIE

Allgemeines

Es sind keine schädlichen Wirkungen des Produkts auf die Umwelt bekannt.

13 HINWEISE ZUR ENTSORGUNG

Allgemeines

Nicht in die Kanalisation, Keller, Arbeitsgruben und ähnliche Plätze, an denen die Ansammlung des Gases gefährlich werden könnte, ausströmen lassen. An einem gut gelüfteten Platz in die Atmosphäre ablassen. Rückfrage beim Gaslieferanten, wenn eine Beratung nötig ist.

EAK Nr. 16 05 05

14 ANGABE ZUM TRANSPORT

ADR/RID

Klasse 2 Klassifizierungscode 1A

Kennzeichnungsnummer und Bezeichnung

UN 1046 Helium, verdichtet

UN 1046 Helium, compressed

Gefahrzettel 2.2 Gefahnummer 20

Verpackungsanweisung P200

EG-Sicherheitsdatenblatt
Helium, verdichtet

Erstellungsdatum : 14.07.2005
Überarbeitet am : 25.05.2005

Version : 1.0

DE / D

SDB Nr. : 8312
Seite 2 / 2

IMDG

Klasse 2.2
Kennzeichnungsnummer und Bezeichnung
UN 1046 Helium, compressed
Gefahrzettel 2.2
Verpackungsanweisung P200
EmS FC, SV

IATA

Klasse 2.2
Kennzeichnungsnummer und Bezeichnung
UN 1046 Helium, compressed
Gefahrzettel 2.2
Verpackungsanweisung P200

15 VORSCHRIFTEN

Nummer in Anhang I der Direktive 67/548
In Anhang I nicht genannt.
EG-Einstufung
Nicht als Gefahrstoff klassifiziert.

Kennzeichnung

- Symbole Kein Symbol erforderlich.
- Hinweise auf die besonderen Gefahren Erstickend in hohen Konzentrationen.
- Sicherheitsratschläge
S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren.
S36/37/39 Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung, Schutzhandschuhe und Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen.

16 SONSTIGE ANGABEN

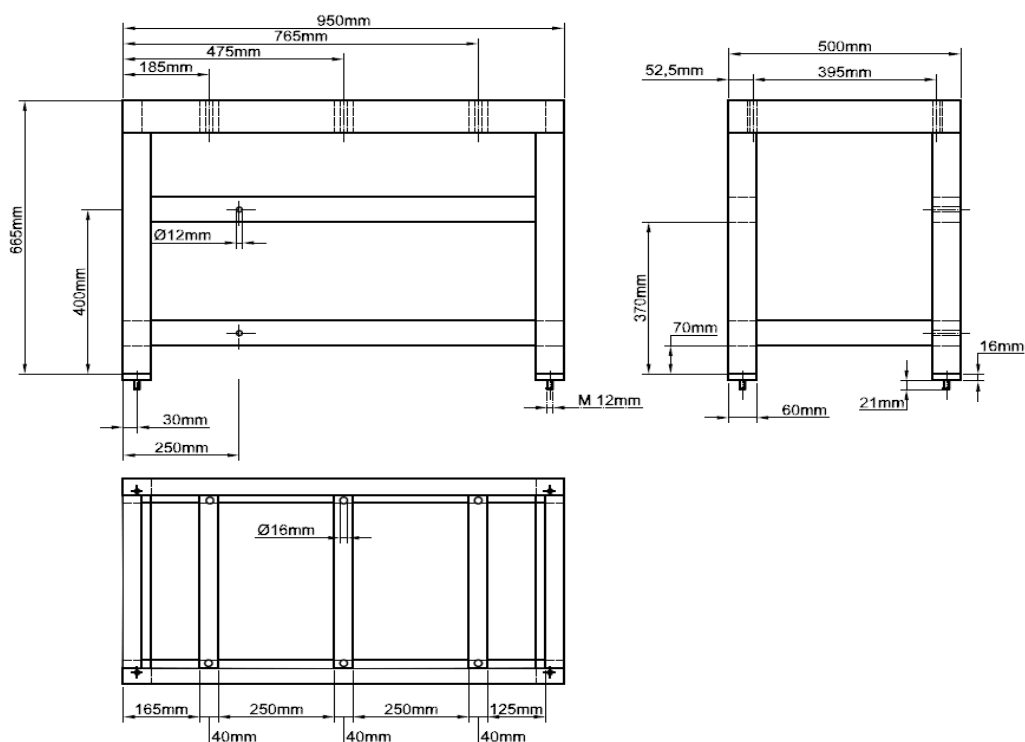
Alle nationalen/örtlichen Vorschriften beachten. Das Risiko des Erstickens wird oft übersehen und muß bei der Unterweisung der Mitarbeiter besonders hervorgehoben werden. Bevor das Produkt in irgendeinem neuen Prozeß oder Versuch benutzt wird, sollte eine sorgfältige Studie über die Materialverträglichkeit und die Sicherheit durchgeführt werden.

Hinweise

Die Angaben sind keine vertraglichen Zusicherungen von Produkteigenschaften. Sie stützen sich auf den heutigen Stand der Kenntnisse.

Weitere Informationen

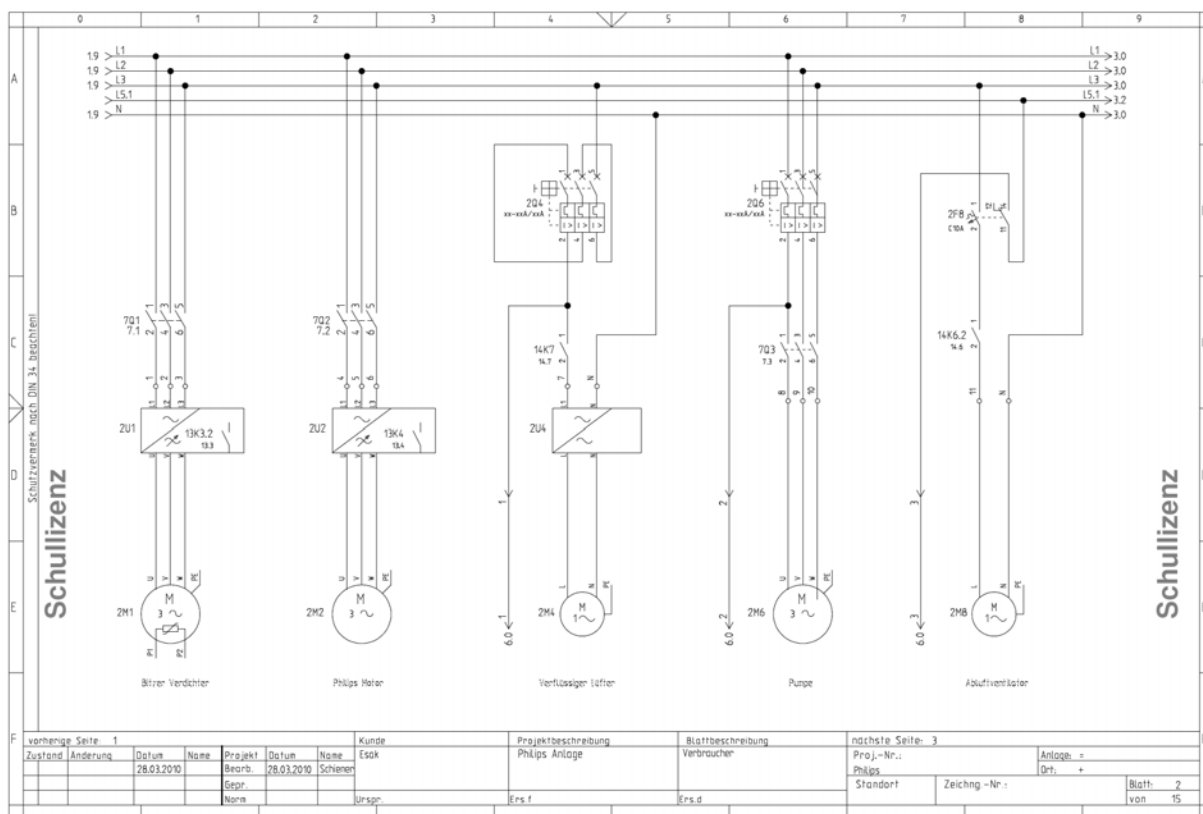
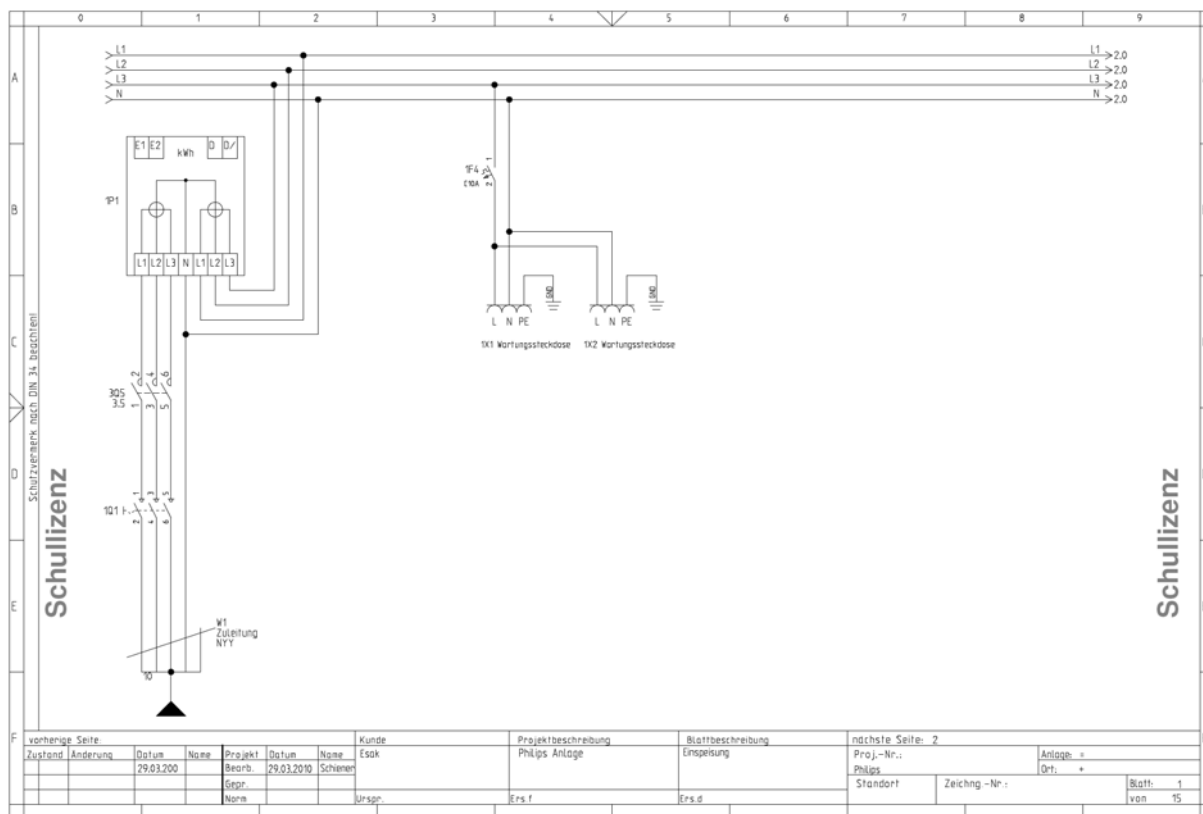
Linde Sicherheitshinweise
Nr. 3 Sauerstoffmangel
Nr. 7 Sicherer Umgang mit Gasflaschen und Flaschenbündeln
Nr. 11 Transport von Gasbehältern mit Kfz

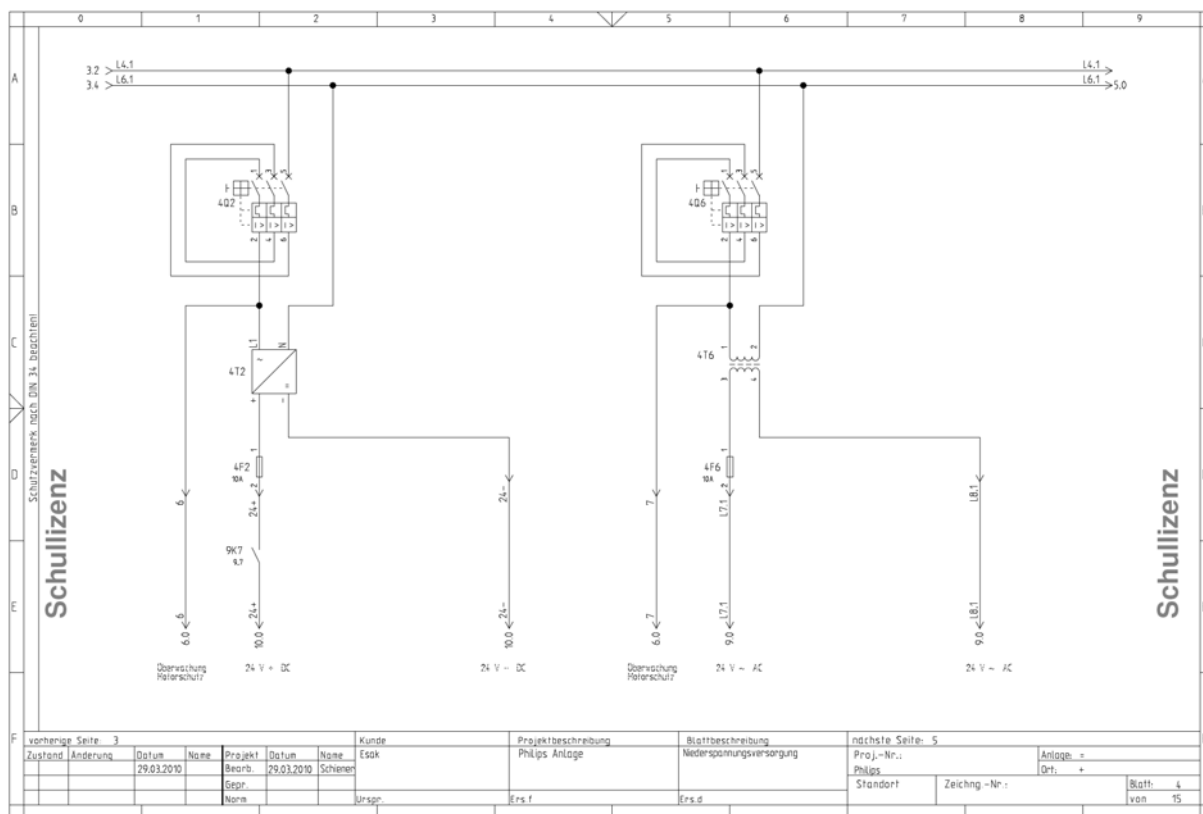
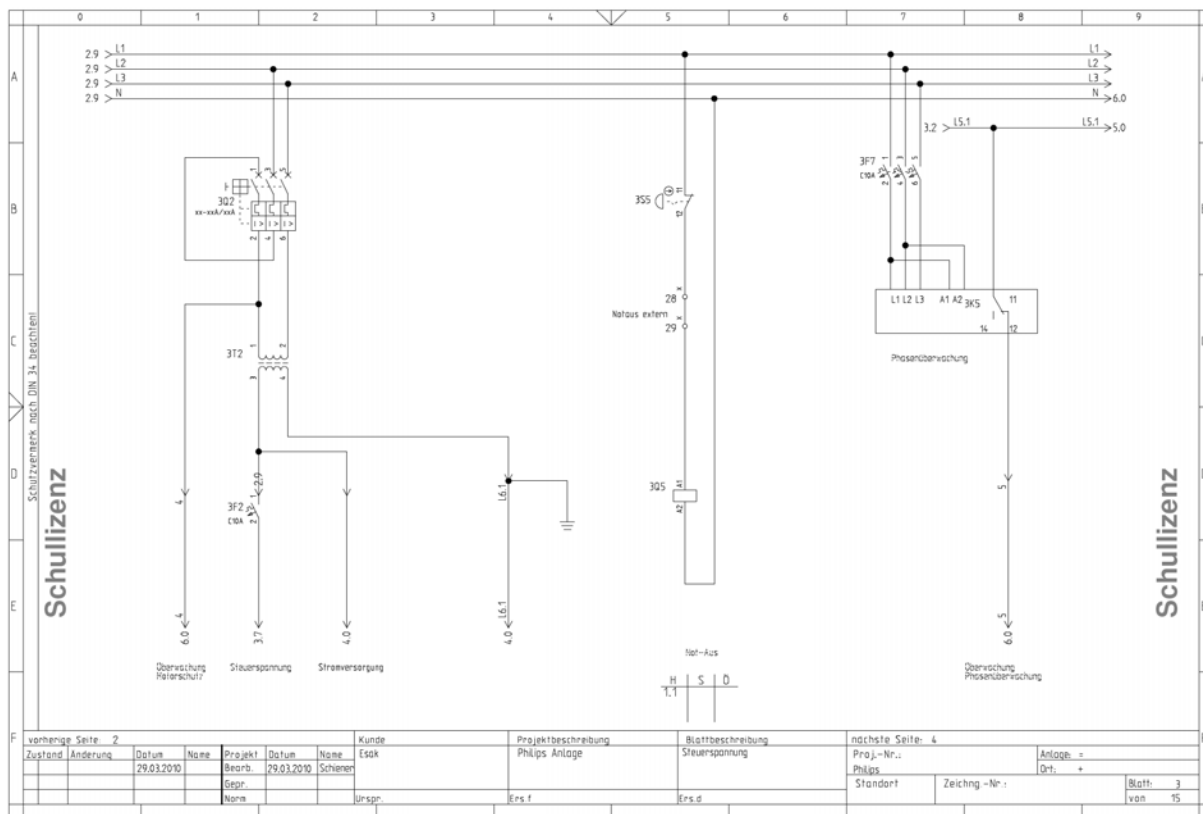
A.14 Zeichnung des Stahlbaus

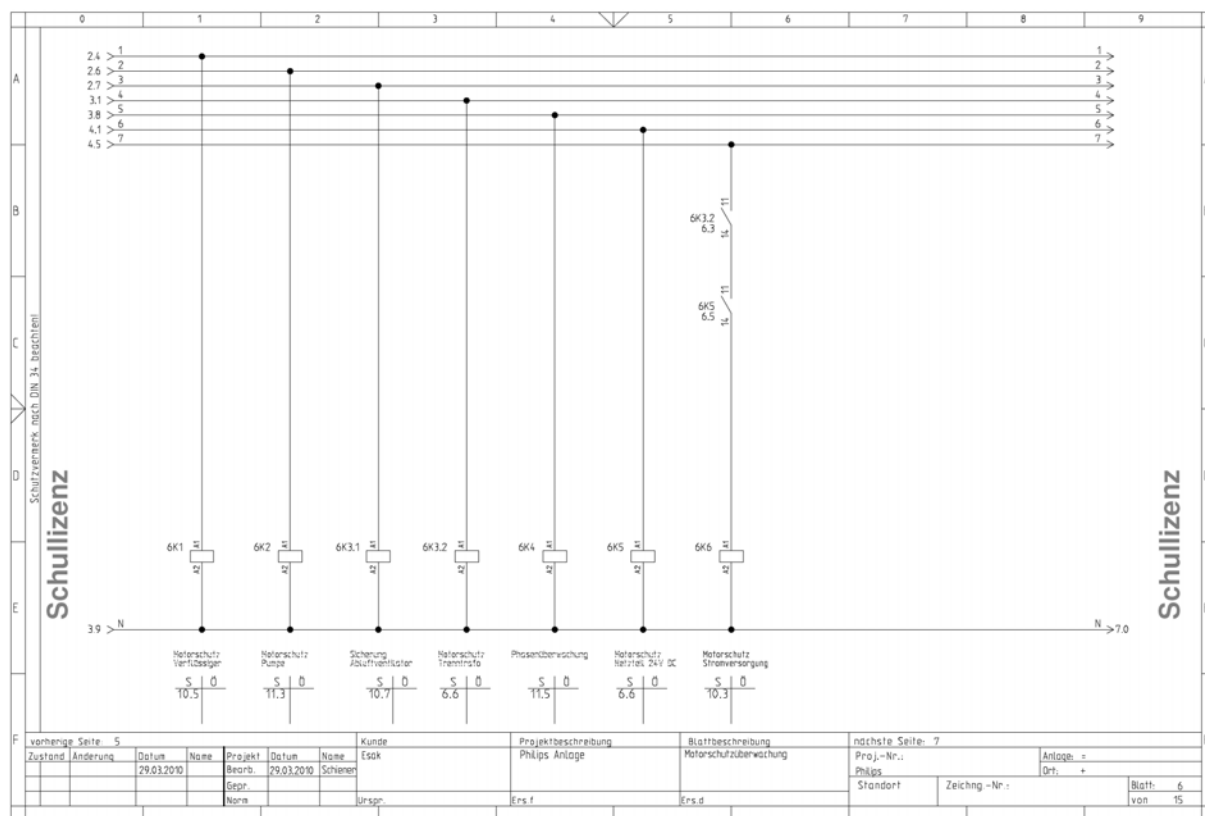
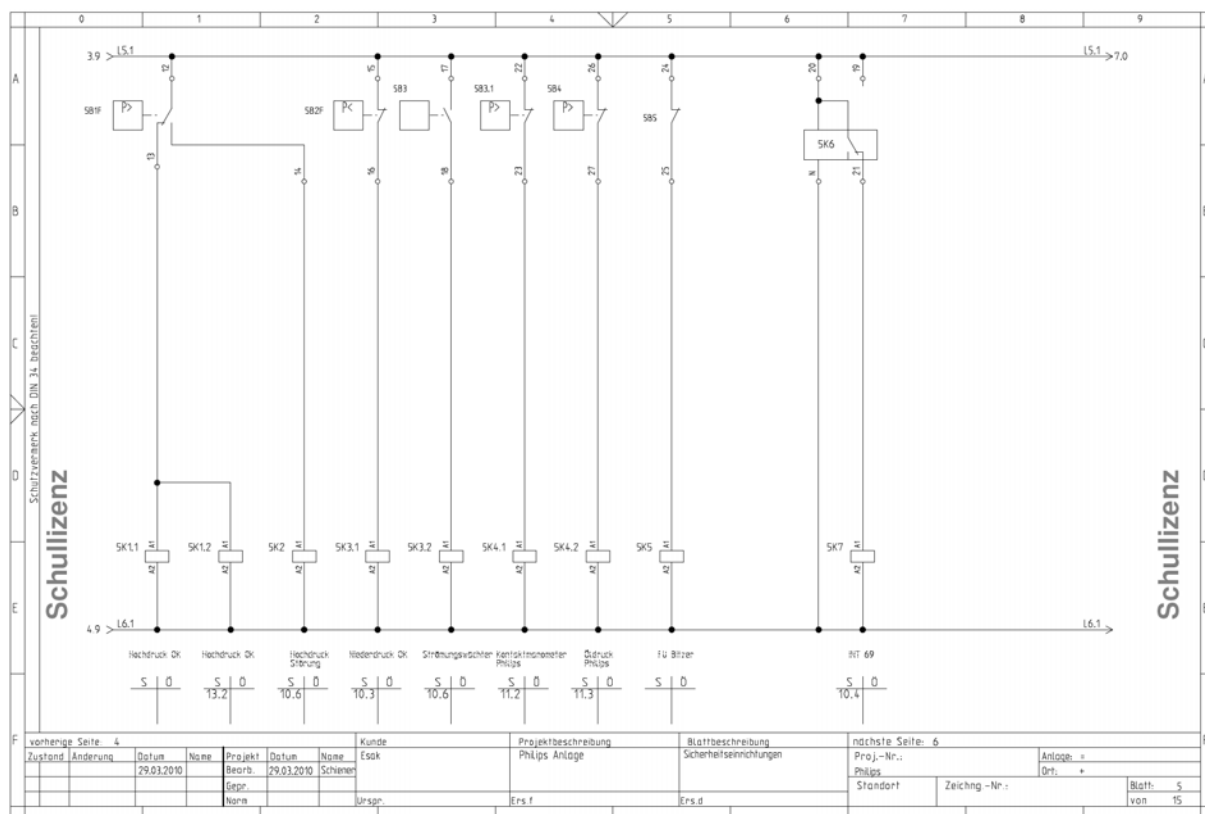
A.15 Detaillierte Kostenübersicht

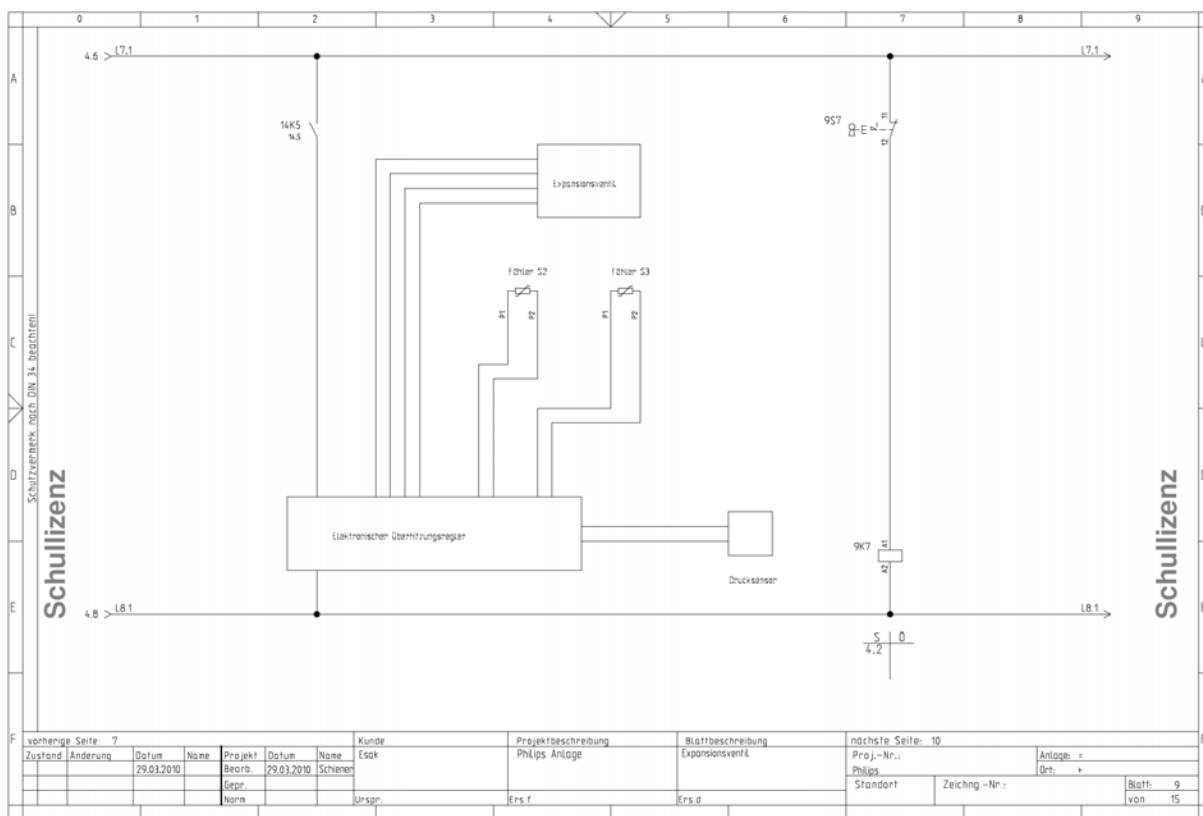
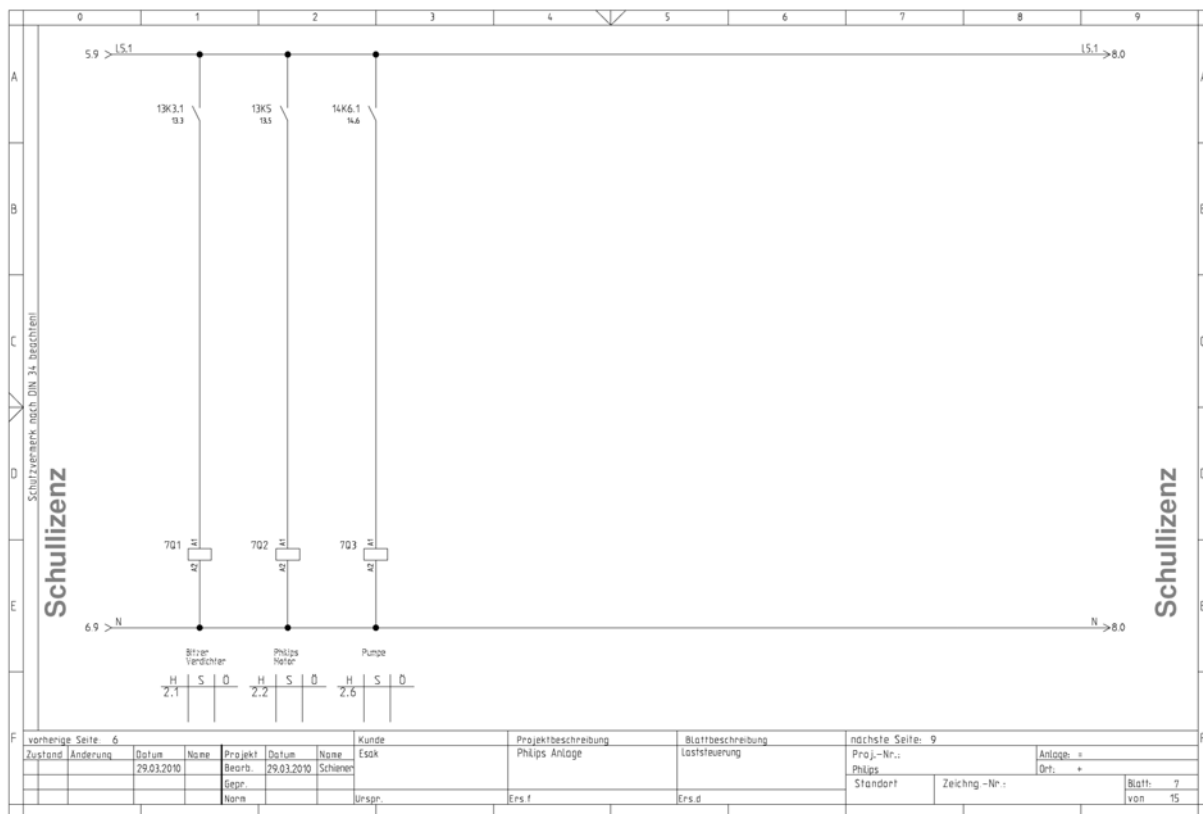
	ERT	Philips GKM	Kaltwassersatz	Wasserkreislauf	Messtechnik	Reserve
Stiftung (Budget)		3550	300	900	2000	1250
HKK Spende	5195					
Bauhaus 30.10.08			91.82			
Swagelock 4.11.08		64.8				
Rittal 5.11.08				173.15		
Bauhaus 19.11.08			48.27			
Stahlbau		700				
Schwingelemente		516.52				
Bauhaus April 09			27.02			
Trenntrafo				94.9		
Hilti 7.4.09		254.43				
Heinrichs mpt R134a					1608.12	
Betonplatte		1112.65				
Kabel Uni Elektro			27.8			
Kayser 13.5.09				213.2		
Kayser 14.5.09				95.2		
Helium		130				
Flansche Heinrichs				45.46		
Bauhaus			40.27			
Bauhaus Aug 09		30.14				
Druckminderer		114.95				
CEF (4mm ² Geschrimt)		37.59				
Rehak Elektro		300	300	317.01		
bauhaus			16.92			
Petrolether (Benzinum)		9.95				
Ausgleichsbehälter			80			
ERT Wartung	5352.6					
ERT Kolonne	4750					
ERT Warmblase	445					
Wasserpumpe DBP		33.98				
Netzteil DBP		14.95				
Bauhaus 5.8.09		30.14				
Ausgabensaldo	-5352.6	199.9	-332.1	-38.92	391.88	1250

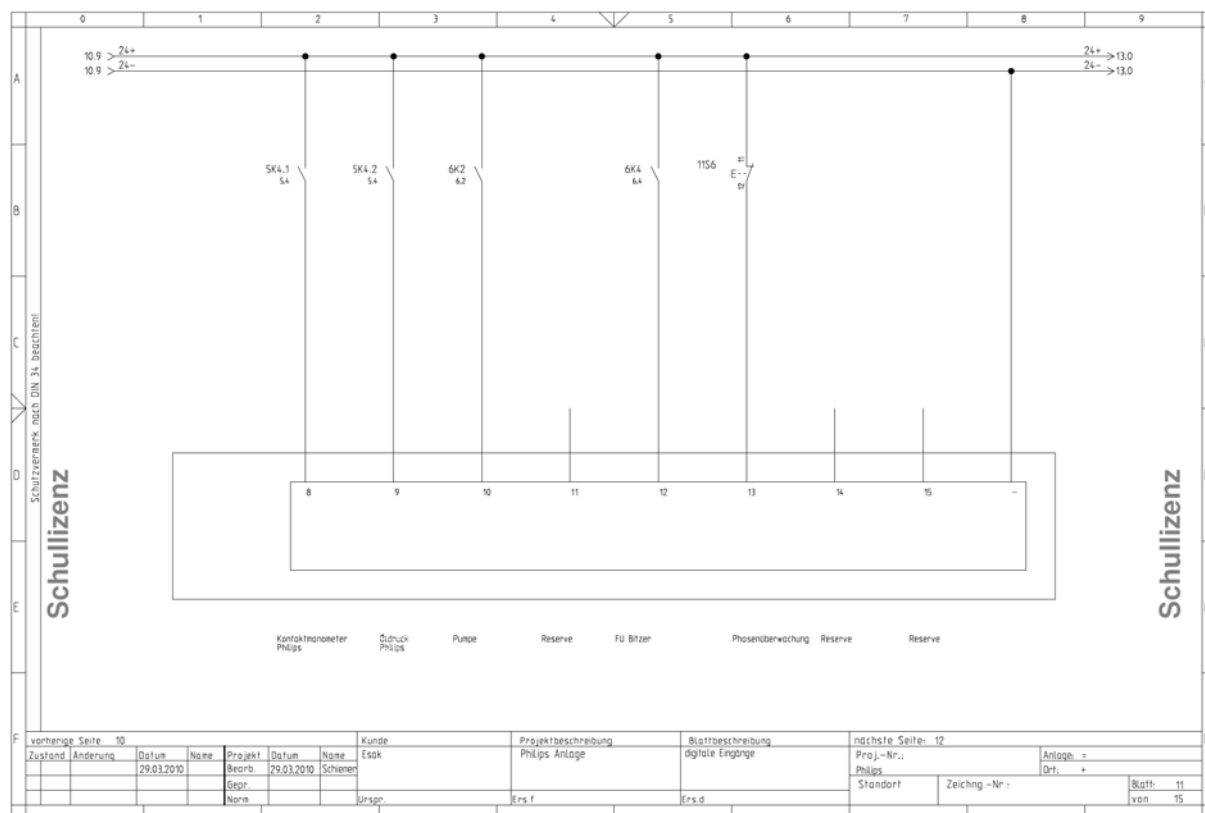
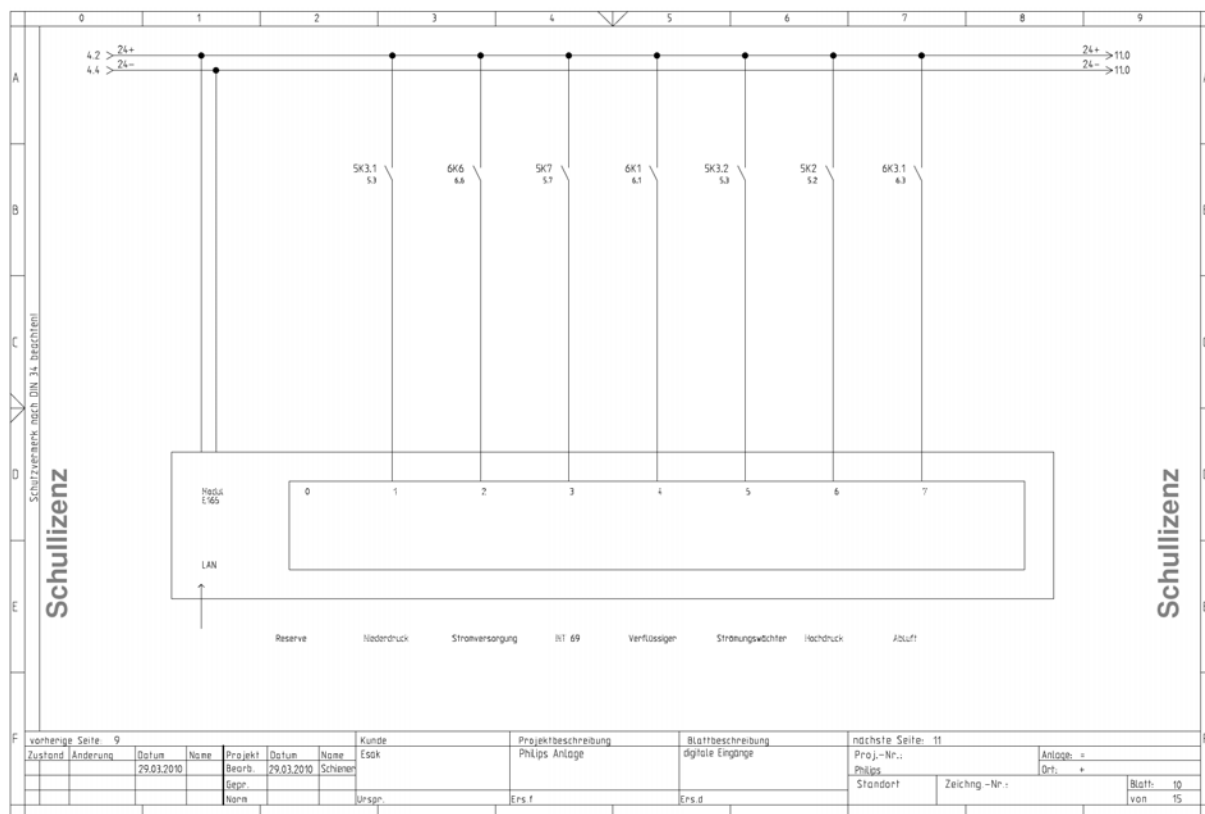
A.16 Schaltplan

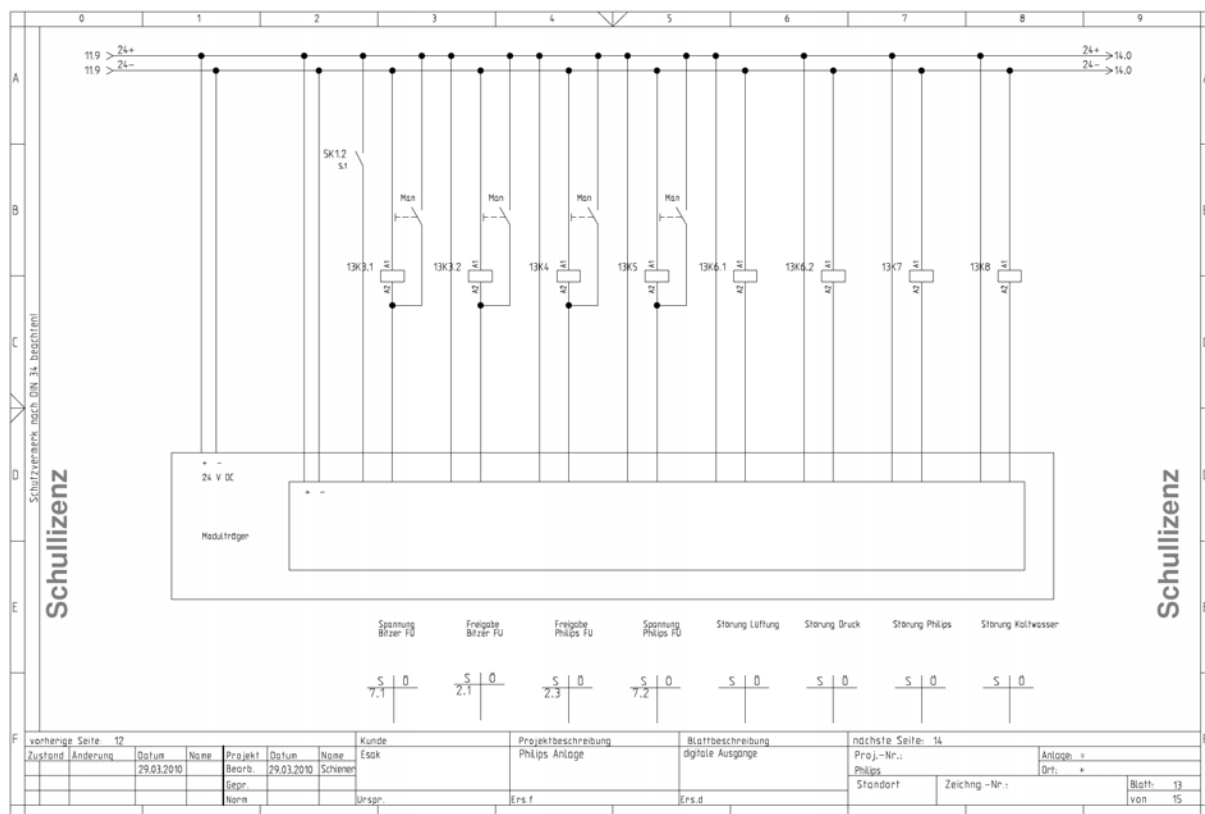
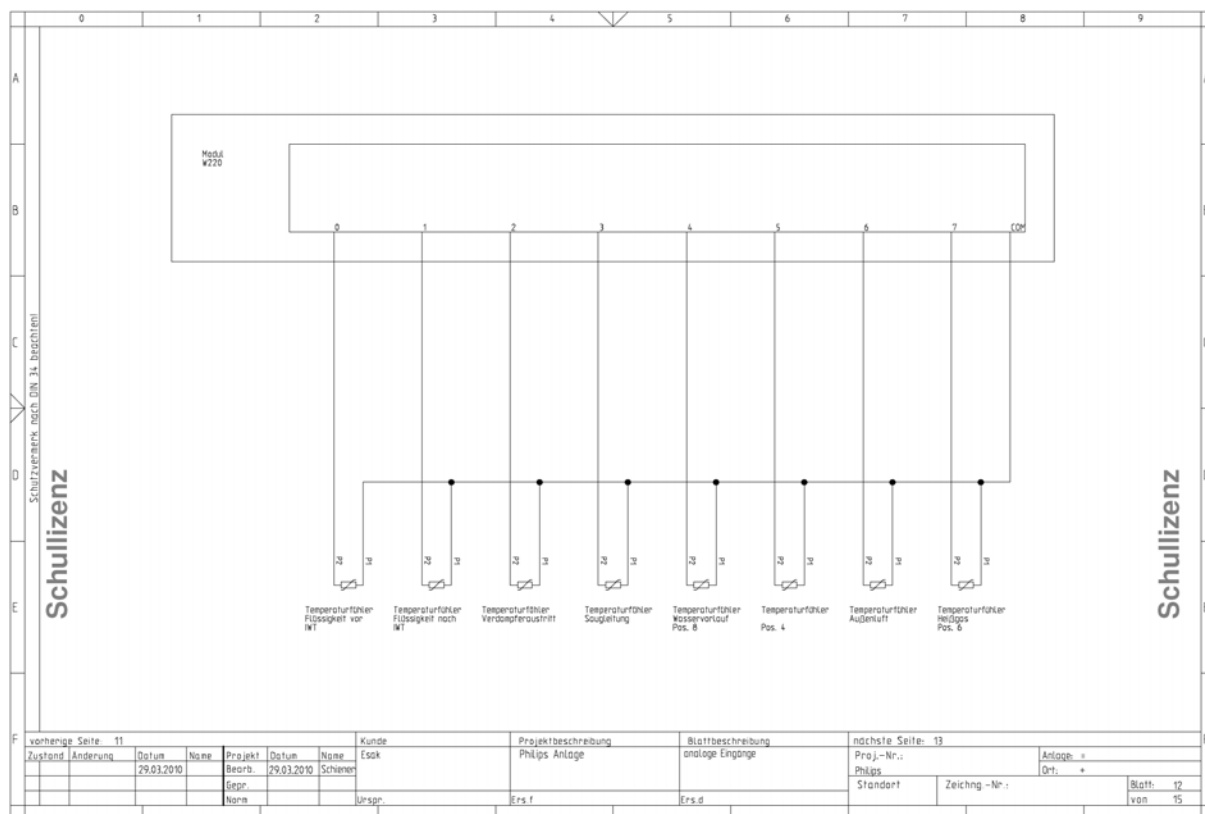


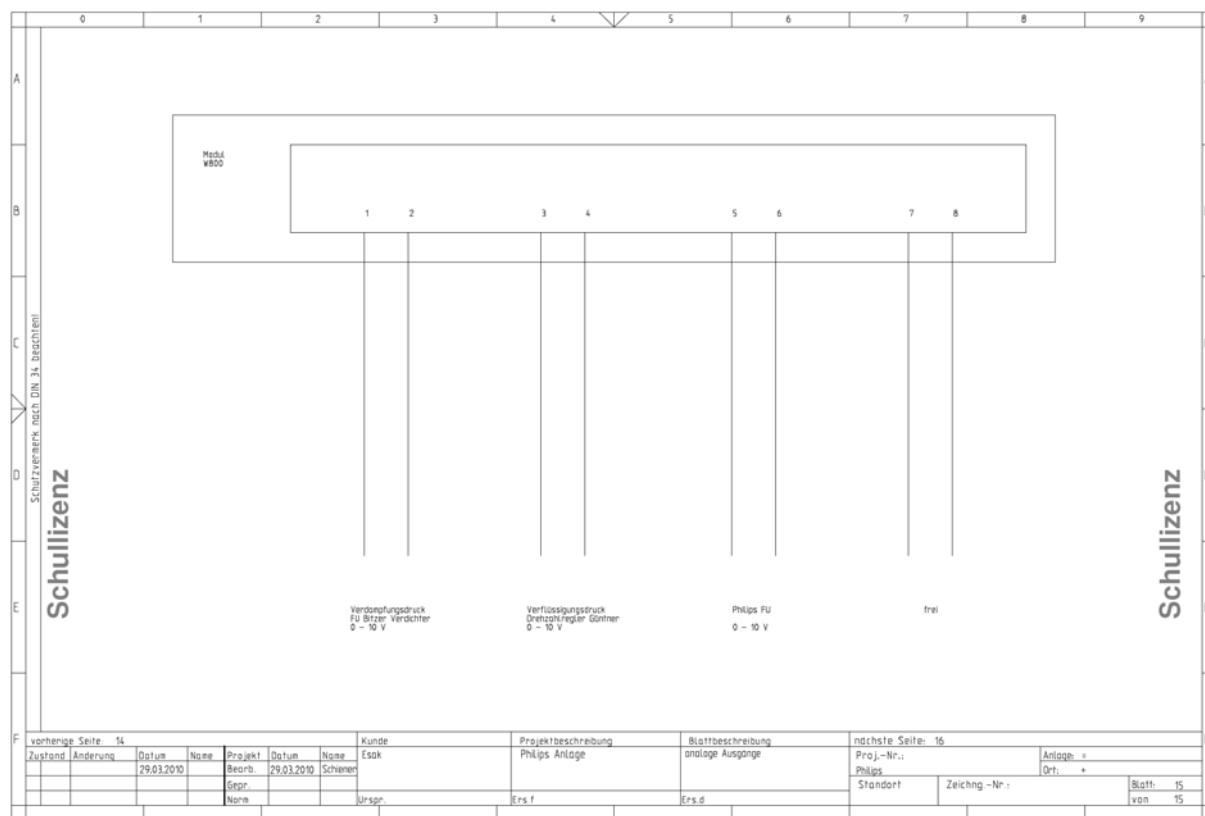
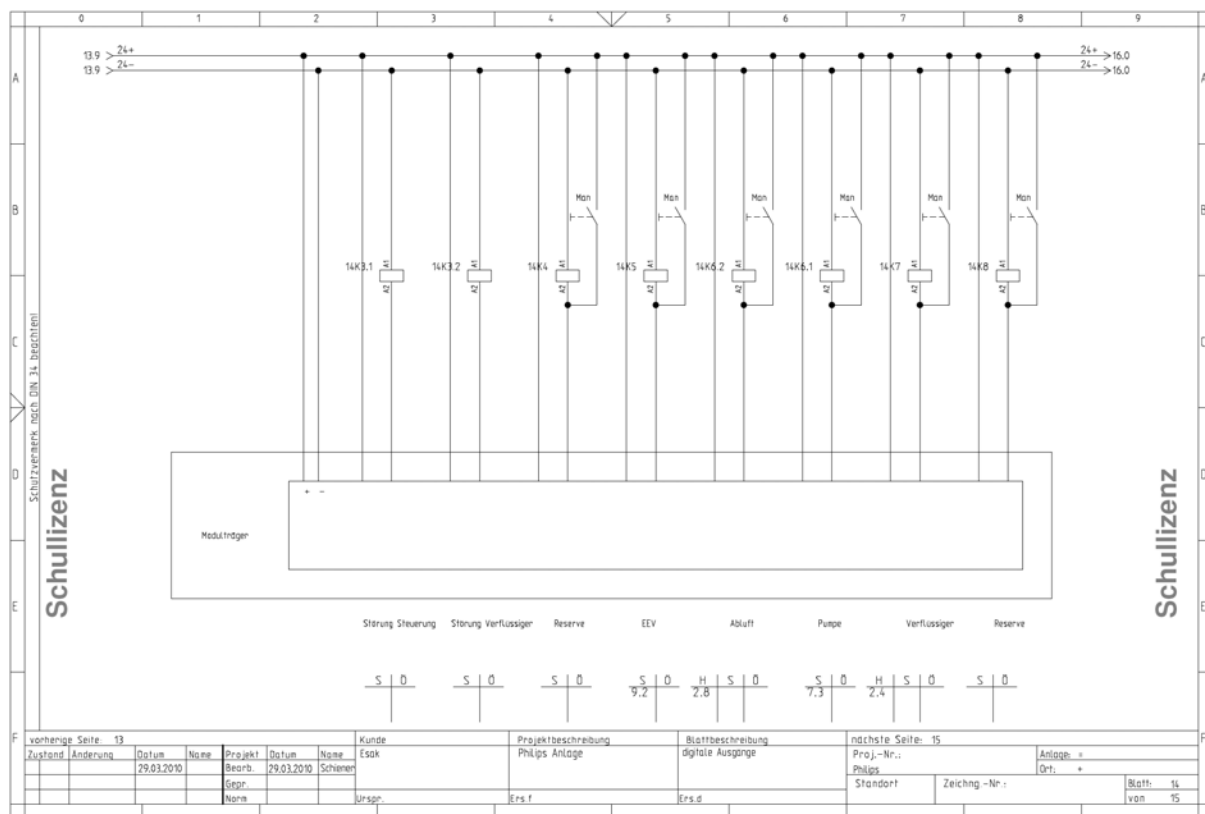












A.17 Spendentafel

Semesterprojekt „Philipsgaskälte“

Wir bedanken uns herzlichst bei allen Spendern



Dieses Projekt wurde im Jahre 2009/ 2010 von den ESAK Studenten Hellmann Sascha, Kluge Micha und Schiener Andreas mit finanzieller Unterstützung durch die BFS/ ESAK Stiftung, sowie durch Sachspenden der genannten Firmen umgesetzt.