

# Klimasimulationskammer erfolgreich von R 13B1 auf R 410A umgerüstet

Th. Köhler und U. Munster, Reiskirchen, H. Jansen, Frickenhausen und K. Schwennesen, Frankfurt

Die Wehrtechnische Dienststelle in Meppen hat mehrere Klimasimulationskammern, die mit dem Kältemittel R 13B1 betrieben wurden, dessen weitere Verwendung aber wegen des hohen Ozonerstörungspotentials (ODP) unter einer sehr kritischen Bewertung steht. Da zudem die Beschaffung von R 13B1 für Servicezwecke immer schwieriger wurde, entschloß man sich jetzt, die Anlage umzurüsten. Die Zuständigkeit hierfür lag beim Staatshochbauamt Lingen, Baugruppe Meppen.

R 13B1 wurde in der Kältetechnik hauptsächlich in der Tiefkühlung bei Temperaturen zwischen  $-70\text{ °C}$  und  $-50\text{ °C}$  eingesetzt. Für diese Anwendungsgebiete galt dieses Kältemittel als sehr attraktiv, denn es konnte weitgehend problemlos ohne Kaskaden sowohl mit ein- als auch mit mehrstufiger Verdichtung und sogar mit luftgekühlten Verflüssigern verwendet werden.

Als Folge des Montrealer Protokolls darf R 13B1 allerdings schon seit Jahren nicht mehr in Neuanlagen eingesetzt werden. Nachdem bereits seit 1994 auch kein R 13B1 mehr hergestellt und es zunehmend schwieriger wird, wiederaufbereitetes R 13B1 für Wartungsarbeiten an bestehenden Anlagen zu beziehen, werden in steigendem Umfang R 13B1-Anlagen auf ozonverträgliche Kältemittel umgerüstet.

## zu den Autoren

**Thomas Köhler**  
Kälteanlagen-  
bauermeister,  
Technisches  
Servicebüro,  
Weiss Umwelt-  
technik GmbH,  
Reiskirchen



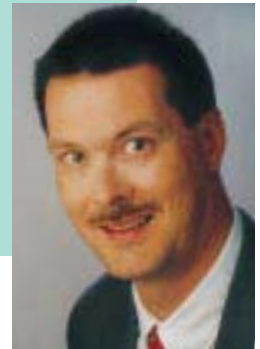
**Ulrich Munster**  
Inbetriebnah-  
me-Ingenieur,  
Weiss Umwelt-  
technik GmbH,  
Reiskirchen



**Heinz Jansen**  
Vertriebsleiter,  
Bock Kältema-  
schinen GmbH,  
Frickenhausen



**Dr. Karsten  
Schwennesen**  
Marktentwick-  
lung Kältemittel  
und Kälte-  
maschinenöle,  
Deutsche ICI  
GmbH,  
Frankfurt/Main



Der nachfolgende Beitrag berichtet über die Umrüstung einer Klimasimulationskammer des Betreibers WTD91 Nutzungsstelle Meppen. Die Kammer dient zur Temperierung von Munition bei Temperaturen bis zu  $-60\text{ °C}$ . Das Umrüstungskonzept wurde in enger Zusammenarbeit zwischen der Weiss Umwelttechnik GmbH, dem Verdichterhersteller Bock und den Kältemittellieferanten ICI Klea/Westfalen AG entwickelt und umgesetzt.

## Kältetechnische Kriterien

In den Kälteanlagen für die zwei Klimasimulationskammern sind zweistufige Verdichter der Firma Bock, Baureihe FZ, eingebaut. Die Prüfkammern verfügen über

eine Raumtemperatur von  $-60\text{ °C}$ . Zur Abkühlung dient eine Verbundanlage mit 3 zweistufigen Bock-Verdichtern, für die Temperaturhaltung jeweils 1 zweistufiger Verdichter. Hierzu einige technische Daten zu den Kälteanlagen:

## Verbundanlage

$Q_o = 19,5\text{ kW}$

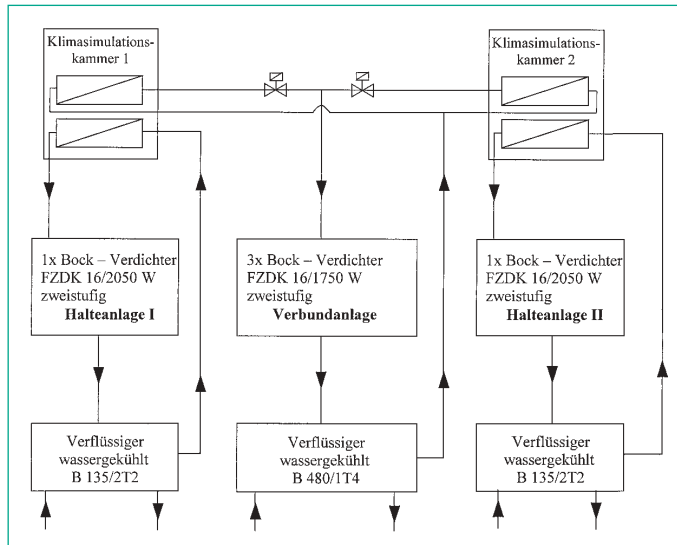
$P_e = 45,0\text{ kW}$

$t_o = -70\text{ °C}$

$t_c = +35\text{ °C}$

Leistungsstufen: 100/89/66/55/33/22 %

Bild 1 Blockschaltbild der Kälteanlage



Enddruck verdichtet. Durch das Druckabsperrventil auf dem HD-Zylinderkopf gelangt das verdichtete Kältemittel zum Verflüssiger (Nr. 14). Die Flüssigkeitsleitung nach dem Verflüssiger teilt sich in zwei Leitungen auf:

- Leitung 1 (Nr. 15) geht durch den Flüssigkeitsunterkühler (Nr. 17) und leitet das unterkühlte Kältemittel zum Verdampfer.
- Leitung 2 (Nr. 18). Kältemittel wird im Gegenstrom über das Nacheinspritzventil in den Flüssigkeitsunterkühler einge-



Bild 3 2stufiger Verdichter Typ FZ, Fabrikat Bock

spritzt, um das durch Leitung 1 (Nr. 15) strömende Kältemittel zu unterkühlen und anschließend den auf Zwischendruck  $p_z$  verdichteten Dampf in der Mitteldruckkammer des Verdichters zurückzukühlen.

### Zur Kältemittelauswahl

Um die notwendigen Anpassungen an der Anlage und damit die Umrüstungskosten in einem akzeptablen Rahmen zu halten, wurde zunächst ein alternatives Kältemittel gesucht, das einerseits ein dem R-13B1 möglichst ähnliches Verhalten in der Anlage erwarten lässt und andererseits ozonverträglich, nicht entzündlich und nicht giftig ist. Da es für R-13B1 keinen Austauschstoff mit identischen Eigenschaften gibt, wurden zunächst sowohl höher siedende (KLEA 404A, KLEA 410A) als auch niedriger siedende Kältemittel (KLEA 23, KLEA 508) betrachtet. Dabei wurde schnell deutlich, daß KLEA 508 und KLEA 23 wegen der niedrigen kritischen Temperaturen (Tab. 1) und hohen Drücke (Bild 5) nicht zur Umrüstung dieser Anlage geeignet sind. Mit KLEA 404A hingegen wären gegenüber R-13B1 deutliche Kälteleistungseinbußen zu erwarten (Bild 6). KLEA 410A kommt sowohl von der Drucklage als auch von der zu erwart-

Bild 2 Teilansicht der von der Firma Weiss Umwelttechnik in der Wehrtechnischen Dienststelle Meppen für die Klimasimulationskammern installierten Kälteanlagen



### Halteanlage I und II

$Q_o =$  je 7,6 kW

$P_e =$  je 17,0 kW

$t_o = -70$  °C

$t_c = +35$  °C

Leistungsstufen: 100/66/50 % mit Heißgasbeipañ 15 %

### Die Verdichter

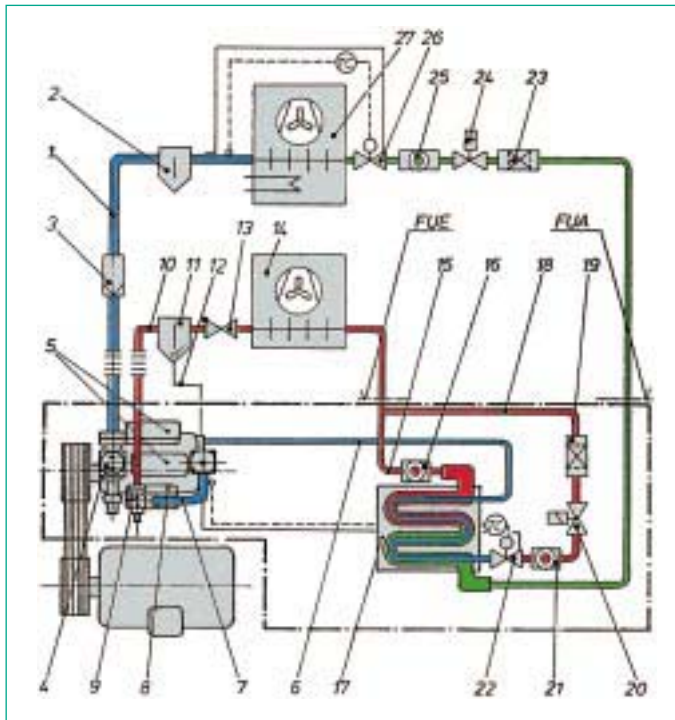
Die Verdichter der Baureihe FZ sind zweistufige offene Hubkolbenverdichter von Bock. Sie wurden speziell für den Einsatz im Tieftemperaturbereich entwickelt. Mit ihnen können bei tiefen Verdampfungstemperaturen höhere Kälteleistungen als mit einstufigen Ausführungen erzielt werden. Sie werden als Sechszylinder in W-Anordnung gebaut. Dabei arbeiten vier Zylinder in der Niederdruckstufe [LP] und zwei Zylinder in der Hochdruckstufe [HP]. Das Verhältnis LP-Stufe zu HP-Stufe be-

trägt 2:1. Die Verdichter arbeiten nach dem Wechselstrom-Prinzip mit selbsttätigen Lamellen-Ein- und Auslaßventilen in den Zylinderköpfen. Um den anlagentechnischen Aufwand möglichst gering zu halten, sind die Verdichter serienmäßig komplett mit anschlussfertiger Unterkühleinheit ausgerüstet.

### Funktionsbeschreibung

Der Saugdampf vom Verdampfer wird von den vier Zylindern der LP-Stufe angesaugt und auf den Zwischendruck  $p_z$  verdichtet. Danach durchströmt es die Mitteldruckkammer (Zwischendruckkammer), wo es zur Verringerung der Verdichtungsendtemperatur zwischengekühlt wird. Das Zwischenkühlsystem besteht aus Flüssigkeitsunterkühler (Nr. 17) mit Nacheinspritzventil (Nr. 22), Schauglas (Nr. 21), Magnetventil (Nr. 20) und Filtertrockner (Nr. 19). Über die Zwischendruckleitung (Nr. 6) wird dann der abgekühlte Dampf von den beiden Zylindern der HP-Stufe angesaugt und auf den

Bild 4 Schema einer Kälteanlage\* mit zweistufigem Verdichter FZ, Fabrikat Bock



tenden Kälteleistung her dem R-13B1 am nächsten und wurde daher für die Umrüstung ausgewählt.

Allerdings erfolgte dann sehr rasch eine Entscheidung für die Verwendung des Kältemittels R 410A, das in der Drucklage und der Kälteleistung dem bisher verwendeten Kältemittel R 13B1 sehr nahe kommt. Verdampfungsdruck bei  $-70^{\circ}\text{C}$ : R 13B1 ca. 0,5 bar, R 410A ca. 0,3 bar.

### Abschätzung des Verhaltens von KLEA 410A in der Anlage

Auf Grundlage der mit R 13B1 gemessenen Betriebsparameter der Anlage wurde das zu erwartende Verhalten der Anlage mit KLEA 410A berechnet. Tabelle 2 zeigt eine Gegenüberstellung der mit R 13B1 ermittelten Kenngrößen und der entspre-

chenden für KLEA 410A berechneten Werte.

Die volumetrische Kälteleistung wäre bei der Verdampfungstemperatur von  $-75^{\circ}\text{C}$  nach dieser Abschätzung mit KLEA

410A um etwa 20 % niedriger als mit R 13B1. Dieses resultiert hauptsächlich aus der wesentlich (um Faktor 3) niedrigeren Sauggasdichte von KLEA 410A. Die höhere Verdampfungsenthalpie von KLEA 410A gleicht diesen Effekt nur teilweise aus.

Der berechnete KLEA 410A-Massenstrom durch die Verdampfer-Expansionsventile beträgt nur ca. die Hälfte des R 13B1-Massenstroms. Auch der Massenstrom durch das Zwischenstufenventil wäre geringer als mit R 13B1.

Beide Kältemittel erfordern hinsichtlich der Verdichter für die Hochdruckstufe ungefähr die gleiche Dimensionierung relativ zur Niederdruck-Maschine. Bei Anpassung des ND-Verdichterantriebs für KLEA 410A wären die vorhandenen Verdichter der Hochdruckstufe sehr wahrscheinlich noch ausreichend dimensioniert.

Aufgrund dieser Abschätzung erschienen neben der Anpassung von Expansionsventilen und ND-Verdichterantrieben keine weiteren Änderungen der Dimensionierung erforderlich.

### Umstellung der Verdichter

Beteiligt an der Kältemittelumstellung waren die Firmen Weiss Umwelttechnik GmbH (Reiskirchen) als Hersteller der Anlagen,

Kältemittel	Siedepunkt ( $^{\circ}\text{C}$ ) bei 1 atm	Krit. Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	Sicherheitsklasse L-Gruppe*	ODP-Wert R 11 = 1
KLEA 404A	-47,00	71,90	1	0
KLEA 410A	-61,95	71,00	1	0
R-13B1	-57,70	87,1	1	13
KLEA 23	-82,10	25,60	1	0
KLEA 508	-95,00	13,00	1	0

\* Einstufung nach prEN 378-1: L1 = nicht toxisch, nicht entzündlich

Tabelle 1 Mögliche Kältemitteloptionen zum Austausch von R 13B1

\* 1 - Saugleitung zur LP-Stufe, 2 - Flüssigkeitsabscheider, 3 - Saugleitungsfilter, 4 - Saugabsperrventil, 5 - Zylinder LP-Stufe, 6 - Leitung für Zwischenkühlung, 7 - Zwischendruckleitung, 8 - Zylinder HP-Stufe, 9 - Druckabsperrventil, 10 - Druckleitung von der HP-Stufe, 11 - Ölabscheider, 12 - Ölrückführungsleitung, 13 - Rückschlagventil, 14 - Verflüssiger, FUE-Flüssigkeitsunterkühler Eingang, 15 - Flüssigkeitsleitung zum Flüssigkeitsunterkühler, 16 - Schauglas, 17 - Flüssigkeitsunterkühler, 18 - Flüssigkeitsleitung zur Flüssigkeitsunterkühlung, 19 - Filtertrockner, 20 - Magnetventil, 21 - Schauglas, 22 - Thermostatisches Nacheinspritzventil mit äußerem Druckausgleich für Flüssigkeitsunterkühlung und Zwischenkühlung, FUA-Flüssigkeitsunterkühler Ausgang, 23 - Filtertrockner, 24 - Magnetventil, 25 - Schauglas, 26 - Thermostatisches Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich für Verdampfer, 27 - Verdampfer.

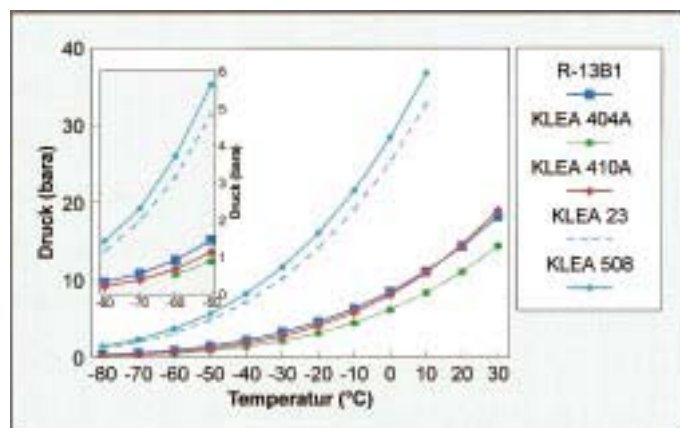


Bild 5 Satteldampfdrücke verschiedener Kältemittel

Bild 6 Maximale volumetrische Kälteleistung (berechnet aus Verdampfungsenthalpien und Satt-dampfdichten)

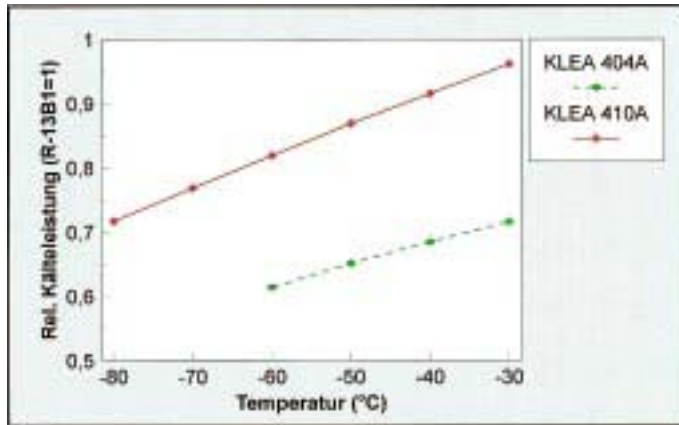


Tabelle 2 Abschätzung des Anlagenverhaltens mit KLEA 410A

	R-13B1	KLEA 410A
Verdampfungsdruck (bara) bei $t_0 = -75^\circ\text{C}$	0.41	0.27
Druck in Zwischenstufe (bara)	1.80	1.50
Verflüssigungsdruck (bara)	15.2	15.5
Kälteleistungszahl COP	1.35	1.39
Vol. Kälteleistung ND-Verdichter (kJ/m <sup>3</sup> )	318	250
Massenstrom durch E-Ventil	100%	48%
Massenstrom durch Zwischenstufenventil	100%	38%
Größe HD-Verdichter (ND = 100%)	39%	31%
Temperatur am Verdichterauslaß (°C)	85	107

Bock Kältemaschinen GmbH (Frickenhäusen) als Hersteller der Verdichter, und die Deutsche ICI GmbH (Frankfurt) bzw. die Westfalen AG (Münster) als Kältemittel-Hersteller und -Lieferanten. Die Aufgabenverteilung stellte sich wie folgt dar:

- Weiss Umwelttechnik führte die Umstellungsarbeiten vor Ort durch und erfaßte die Abläufe mit begleitenden Meßprotokollen.
- Bock Kältemaschinen begleitete die Kältemittelumstellung und beurteilte diese von der Verdichterseite her.
- ICI/Westfalen AG begleitete und überwachte die Kältemittel- und Ölsituation.

Die Kälteanlagen waren ca. sechs Jahre mit dem Kältemittel R 13B1 in Betrieb. Sie wurden von der Firma Weiss Umwelttechnik regelmäßig gewartet und geprüft. Um sicherzugehen, wurde beschlossen, einen Verdichter auszubauen und bei Bock zu überprüfen. Vom Staatshochbauamt und von der Firma Weiss war je ein Mitarbeiter bei der Begutachtung des Ver-

dichters mit anwesend. Das Ergebnis war, daß der Verdichter in einem tadellosen, fast neuwertigem Zustand war. Somit konnte man davon ausgehen, daß auch die anderen Verdichter noch einwandfrei waren. Der Verdichter wurde lediglich mit einer neuen Gleitringdichtung versehen und auf Esteröl Typ DEA Triton SEZ 32 umgestellt. Selbst das Nacheinspritzventil der Unterkühleinheit wurde nicht ge-

wechselt, da bei dem fast gleichen Saugdruck kein Problem befürchtet wurde.

Gemeinsam wurde beschlossen, die anderen Verdichter vor Ort auszubauen, den kompletten Ölpumpf zu reinigen, umzuölen und ebenfalls mit neuen Gleitringdichtungen zu versehen.

### Leistungsmessung der Klimasimulationskammer vor der Kältemittelumrüstung

Um nach der Kältemittelumrüstung einen direkten Vergleich zu haben, wurde die Klimasimulationskammer ohne Prüfling mit R 13B1 von  $+85^\circ\text{C}$  auf  $-60^\circ\text{C}$  gekühlt. Hierzu wurden die folgenden Parameter aufgezeichnet:

Prüfkammertemperatur -  $t = ^\circ\text{C}$ , Verflüssigungsdruck -  $p_c = ^\circ\text{C}$ , Verdichtungs- endtemperatur -  $t_c = ^\circ\text{C}$ , Zwischendruck -  $p_z = ^\circ\text{C}$ , Zwischendrucktemperatur nach ND-Stufe -  $t_{z1} = ^\circ\text{C}$ , Zwischendrucktemperatur Kaltgaseinspritzung -  $t_{z2} = ^\circ\text{C}$ , Kältemitteltemperatur vor dem thermischen Expansionsventil -  $t_{FL} = ^\circ\text{C}$ , Verdampfungsdruck -  $p_0 = ^\circ\text{C}$ , Sauggastemperatur am Verdampferausgang -  $t_{01}$  und Sauggastemperatur an Verdichtereinlaß -  $t_{02}$

### Absaugung des Kältemittels und Demontage des Verdichters

Nach dem Leistungstest wurde das Kältemittel R 13B1 in dafür bereitgestellte Kältemittelflaschen abgesaugt, Ölabscheider und Ölvorratsbehälter vom Öl gereinigt und die Altstoffe der Entsorgung zugeführt. Anschließend wurde der Verdichter für eine Befundung im Herstellwerk (Firma Bock) ausgebaut.

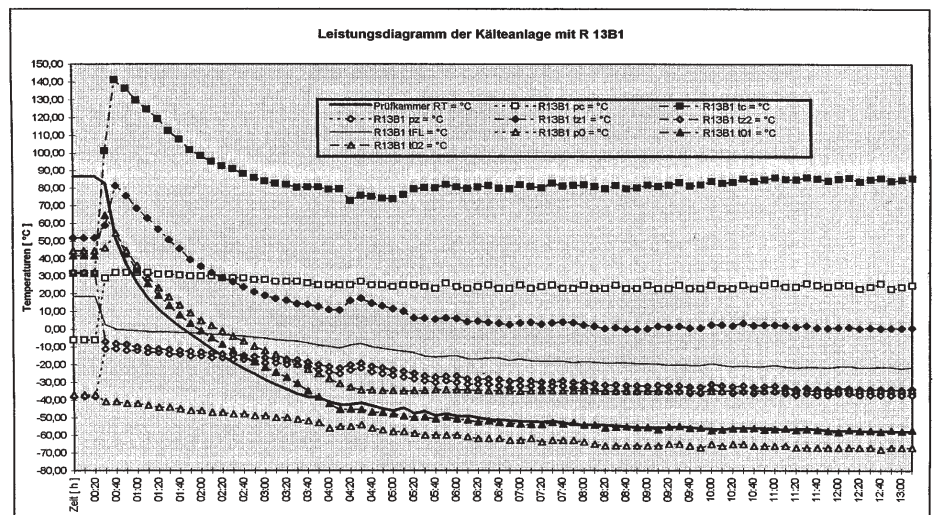


Bild 7 Leistungsdiagramm der Kälteanlage mit dem Kältemittel R 13B1

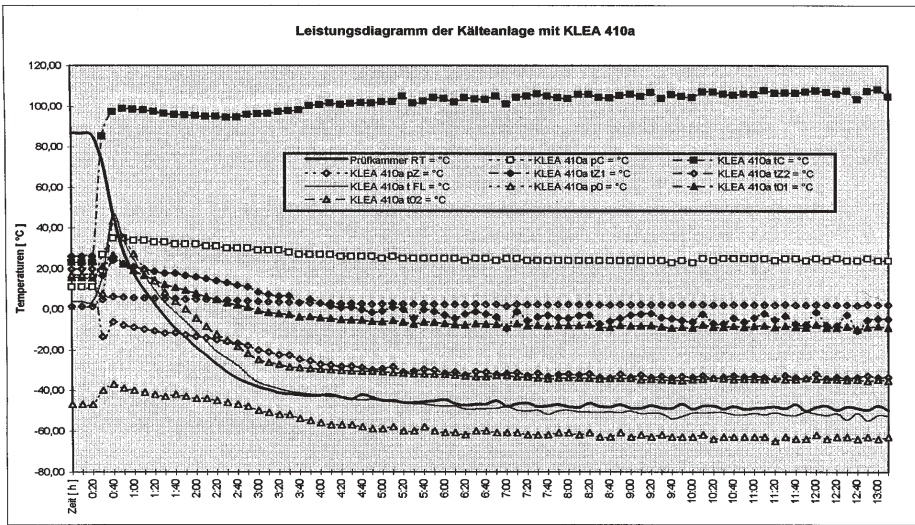


Bild 8 Leistungsdiagramm der Kälteanlage mit R 410A

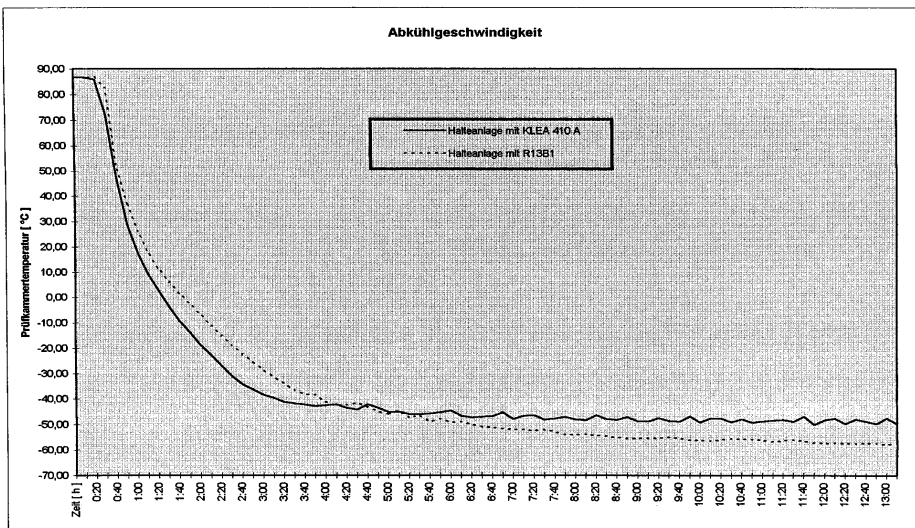


Bild 9 Diagramm über die Abkühlgeschwindigkeit (nur) der Halteanlage mit den Kältemitteln R 13B1 bzw. R 410A

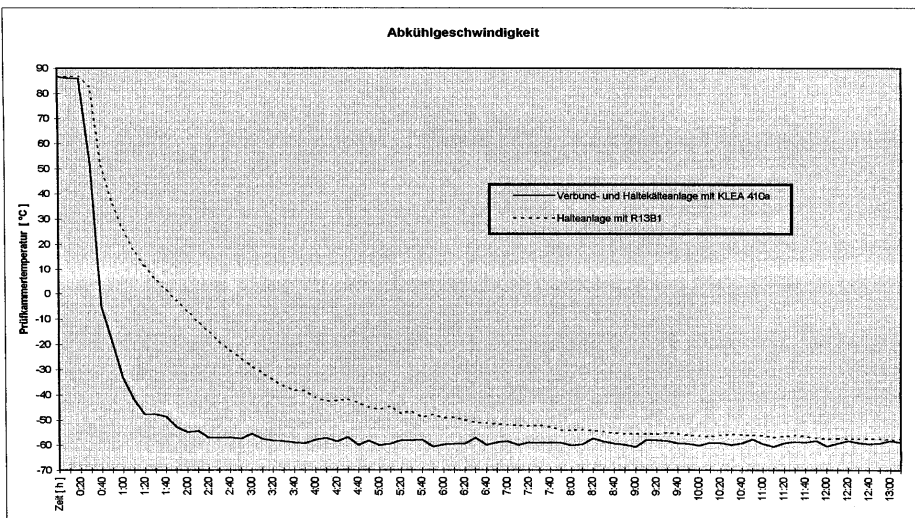


Bild 10 Diagramm über die erhöhte Abkühlgeschwindigkeit der Halteanlage mit den Kältemitteln R 13B1 bzw. R 410A durch Zuschalten der Verbundanlage

Nach der Befundung wurde der Verdichter wieder eingebaut, Ölabscheider und Ölvorratsbehälter mit dem von der Firma Bock empfohlenen Esteröl Triton DEA SEZ 32 gefüllt.

Die Magnetventile sind aufgrund der bei R 13B1 eingesetzten Dichtungsmaterialien ausgetauscht worden.

Danach wurden KLEA 410A-angepaßte (höhere Verdampfungsenthalpie und niedrigere volumetrische Kälteleistung gegenüber R 13B1) Expansionsventile am Verdampfer eingebaut.

Die Filtertrockner wurden im Rahmen der Kältemittelumstellung auch getauscht. Abschließend wurde nach der Kältemittelumrüstung eine Leistungsmessung mit KLEA 410A durchgeführt. Hierbei wurden die gleichen Anlagendaten zugrunde gelegt wie mit R 13B1.

### Vergleich der Abkühlgeschwindigkeiten von +85 °C auf -60 °C

Aus den gezeigten Diagrammen wird deutlich, daß die Abkühlgeschwindigkeit bis -40 °C bei dem jetzt eingesetzten Kältemittel R 410A gegenüber dem vorherigen Kältemittel R 13 B1 und bei gleichen Anlagenbedingungen schneller ist. Nach dem Erreichen von -40 °C wird deutlich:

Durch die niedrigere volumetrische Kälteleistung von R 410A gegenüber R 13B1 ist es nur durch Installieren von mehr Hubvolumen möglich, in der gleichen Zeit wie R 13B1 die Prüfkammertemperatur von -60 °C zu erreichen.

Die Halteanlage, die den Betrieb mit R 13B1 bei -60 °C sichergestellt hatte, wurde nach der Kältemittelumstellung auf R 410A durch Zuschalten der Verbundanlage (mehr Hubvolumen) unterstützt, so daß auch jetzt mit R 410A der Sollwert von -60 °C erreicht wird (siehe folgende Abb.).

Mit diesem Leistungstest und den protokollierten Leistungsmessungen war die Umrüstung der R 13B1-haltigen Kälteanlagen auf das ozonfreundliche Kältemittel R 410A bei den Klimasimulationskammern in der Wehrtechnischen Dienststelle in Meppen infolge der beschriebenen Vorgehensweise erfolgreich abgeschlossen. □