Ultratieftemperaturlagerung bis -110°C mit natürlichen Kältemitteln

Manuel Mayr

KTI-Plersch Kältetechnik GmbH, Carl-Otto-Weg 14/2, 88481 Balzheim
mayr@kti-plersch.com

Kurzfassung

Zur Lagerung von pharmazeutischen Erzeugnissen wie der neuesten Generation der mRNA Impfstoffe oder von Medizinprodukten wie Blut- und Plasmaproben werden gekühlte Lagerräume mit Temperaturen von üblicherweise -70°C/-80°C benötigt. Zwischen -60 und -90 °C ist die optimale Temperatur, um den Covid-19-Impfstoff Comirnaty des Mainzer Pharmaunternehmens BioNTech bis zu einem halben Jahr zu lagern.

Aufgrund der tiefen Temperaturen kommen nur wenige Kältemittel für diese Anwendung in Betracht. Trotz eines GWP von 14800 ist das Kältemittel R23 noch immer von den Verwendungsverboten der F-Gase-VO 517/214 ausgenommen. Aufgrund der höchst klimaschädlichen Wirkung dieses Kältemittels und der zunehmenden Sensibilität von Unternehmen im Hinblick auf ihre gesellschaftliche Verantwortung ist davon auszugehen, dass sich zukünftig immer mehr Betreiber von Ultratieftemperaturlagern für neue Lösungsansätze interessieren werden.

Die KTI-Plersch Kältetechnik GmbH bietet seinen Kunden seit Kurzem eine alternative Lösung für die Tieftemperaturlagerung bis -110°C an, unter Einsatz von ausschließlich natürlichen Kältemitteln. Hierzu wurde in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Refolution Industriekälte GmbH, sowie der Secon GmbH und Mirai Intex s.r.o. ein Plug and Play Konzept eines Ultratieftemperaturlagers in einem Standard 40“ Seefracht-Container realisiert. Der Lagerraum wird durch eine Kaltluftkältemaschine (R729 „Luft“) im offenen Kreislauf gekühlt. Es befindet sich kein klassischer Verdampfer im Lagerraum. Die Verdichter-Expander-Einheit ist verschleißfrei gelagert und benötigt keine Ölschmierung. Dem Lagerraum vorgeschaltet ist eine aktiv gekühlte Luftschleuse, deren Temperatur von einer subkritischen R744 Kältemaschine bei -20°C konstant gehalten wird. Die wassergekühlte Kältemaschine R729 und die wassergekühlte subkritische R744 Kältemaschine sind in einem separaten Maschinenraum im Container untergebracht. Alle Antriebe sind drehzahlgeregelt für höchste Ansprüche an die Temperaturgenauigkeit.

Weitere hervorragende Merkmale sind die Ausführung der Isolierung mit Edelstahl-Sandwichpaneelen im sogenannten Box-in-Box System für maximale Effizienz, die mechanische Abtauung des „SnowCatchers“ im Lagerraum ohne zusätzlichen Wärmeeintrag/Beeinträchtigung der Lagerraumtemperatur, sowie das Sicherheitskonzept mit Totmann-Schaltung.

Mit diesem Konzept steht eine umweltfreundliche, verlässliche und mobile Lösung für die Ultratieftemperaturlagerung flexibel einstellbar von -30°C bis -110°C mit ausgereifter Technik zur Verfügung.

Stichwörter

Natürliche Kältemittel, Ultratieftemperaturlager, Ultra Low Temperature (ULT), Kaltluftkältemaschine, ULT-Container

Einleitung

Zur Lagerung von pharmazeutischen Erzeugnissen wie der neuesten Generation der mRNA Impfstoffe oder von Medizinprodukten wie Blut- und Plasmaproben werden gekühlte Lagerräume mit Temperaturen von üblicherweise -70°C/-80°C benötigt. Zwischen -60 und -90 °C ist die optimale Temperatur, um den Covid-19-Impfstoff Comirnaty des Mainzer Pharmaunternehmens BioNTech bis zu einem halben Jahr zu lagern.

Aufgrund der tiefen Temperaturen kommen nur wenige Kältemittel für diese Anwendung in Betracht. Trotz eines GWP von 14800 ist das Kältemittel R23 noch immer von den Verwendungsverboten der F-Gase-VO 517/214 ausgenommen. Aufgrund der höchst klimaschädlichen Wirkung dieses Kältemittels und der zunehmenden Sensibilität von Unternehmen im Hinblick auf ihre gesellschaftliche Verantwortung ist davon auszugehen, dass sich zukünftig immer mehr Betreiber von Ultratieftemperaturlagern für neue Lösungsansätze interessieren werden.

Aus diesem Grund bestand die Zielsetzung darin, eine zukunftssichere, effiziente und zuverlässige Lösung zu entwickeln. Weitere Anforderungen an das Ultratieftemperaturlager waren Flexibilität bei der Lagerraumtemperatur und Ausstattung, eine hohe Verfügbarkeit, sowie ein mobiles Plug-&-Play Konzept und eine schnelle Inbetriebnahme.

Anlagenkonzept und Technologie

Auf Abbildung 1 ist der 40“ Seefracht-Container zu sehen, in den das Ultratieftemperaturlager installiert wurde. Am rechten Bildrand ist zudem ein R290-Chiller zu sehen, der in diesem Fall die Kaltwasserversorgung der wassergekühlten Kältemaschinen im ULT-Container sicherstellt.

Abbildung 1: Ultratieftemperaturlager der KTI-Plersch Kältetechnik GmbH

Der Ultra-Low-Temperature-Store (ULT) besteht aus zwei mit Edelstahl-Sandwich-Paneelen isolierten Kühlzellen, wobei der eigentliche Lagerraum von einer zweiten Kühlzelle umschlossen wird (Box-in-Box). Diese Kühlzelle dient als Schleuse. Der vordere Teil der Schleuse ist begehbar und dient als Durchgang zum Lagerraum. Im mittleren und hinteren Bereich ist die Schleuse lediglich ein schmaler Spalt zwischen den beiden Wand- bzw. Deckenpaneelen. Dieser Spalt wird von einem zusätzlich in der Schleuse angebrachten Radialgebläse belüftet. Der Lagerraum und die Schleuse haben eine gemeinsame Rückwand zum Abschluss in Richtung Maschinenraum. Die Anordnung der beiden Kühlzellen, sowie der Maschinenraum sind gemeinsam in einem CSC-zertifizierten 40”Container untergebracht. Für den Betrieb muss lediglich eine Spannungsversorgung und eine Kaltwasserversorgung vom Betreiber vorgesehen werden. Bei Bedarf wird ein luftgekühlter R290-Chiller mitgeliefert. Auf diese Weise arbeitet das Ultratieftemperaturlager ohne weitere Medienversorgung durch den Betreiber. Der ULT-Container ist innerhalb kürzester Zeit betriebsbereit. Die Zeit bis Betriebsbereitschaft wird maßgeblich von den zulässigen Abkühlgeschwindigkeiten für die Kühlzellenkonstruktion begrenzt. Diese wird auf 10K/h begrenzt.

Für die Kälteerzeugung werden ausschließlich natürliche Kältemittel eingesetzt. Diese zeichnen sich gegenüber synthetischen Kältemitteln durch eine hohe Umweltverträglichkeit und Verfügbarkeit bei gleichzeitig niedrigen Kosten aus.

Im Lagerraum können Temperaturen von -30°C bis -110°C realisiert werden. Der Lagerraum wird durch eine wassergekühlte Kaltluftkältemaschine gekühlt. Diese erreicht im gesamten Temperaturbereich eine hohe Regelgenauigkeit durch die drehzahlgeregelte ölfreie Verdichter-Expander-Einheit. Als Kältemittel wird Luft (R729) eingesetzt. In Abb. 2 ist der zugehörige thermodynamische Prozess dargestellt. Die Kaltluftkältemaschine arbeitet im offenen Joule-Prozess und komprimiert die Luft aus dem Lagerraum (1-->2). Ein wassergekühlter Gaskühler und ein interner Rekuperator kühlen die verdichtete Luft ab (2-->3-->4), bevor diese im Expander entspannt wird und dabei weit unter die Eintrittstemperatur der Luft abkühlt (4-->5). Durch die starke Absenkung des Taupunkts um bis zu 20K herrscht im Lagerraum eine besonders trockene Atmosphäre. Die Luft nimmt im Lagerraum Wärme auf (5-->6) und wird von der Kaltluftkältemaschine durch eine Filteranordnung (“Snow

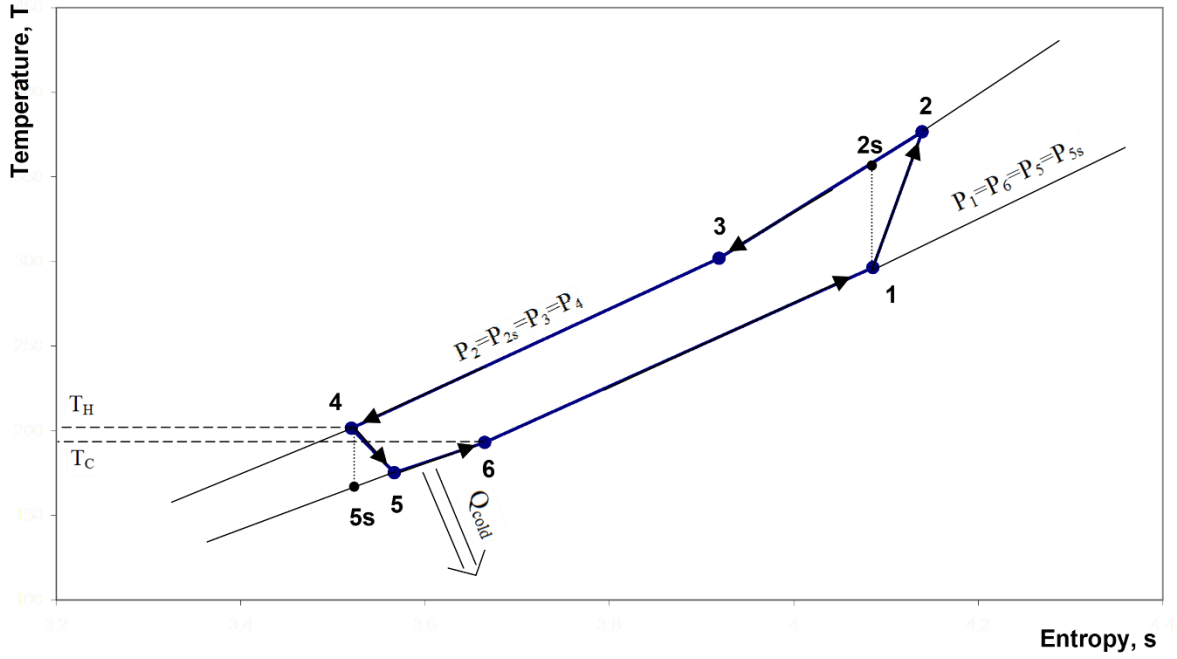

Abbildung 2: linkslaufender Joule-Prozess

Catcher”) gesaugt. Der Snow Catcher befindet sich innerhalb des Lagerraums. Dabei wird die Luftfeuchtigkeit in Form von Eiskristallen und eventuell vorhandener Schmutz aus der Luft entfernt. Der Snow Catcher wird bei Bedarf durch einen reversen Luftstoß freigeblasen. Der gesammelte Schnee wird über einen Kettenförderer aus dem Lagerraum ausgetragen und außerhalb der Kammer geschmolzen. Somit entsteht kein Wärmeeintrag in den Lagerraum bei dieser Art der Abtauung. Bevor die kalte Luft den Verdichter erreicht, wird diese im Rekuperator aufgewärmt (6-->1).

Dem Lagerraum vorgeschaltet ist eine aktiv gekühlte Schleuse. Die Schleusentemperatur wird auf -20°C geregelt, ist aber prinzipiell einstellbar. Die Schleuse dient dazu, die Luftfeuchtigkeit der eindringenden Umgebungsluft bei einer Türöffnung zu binden, damit diese beim Betreten des Lagerraums nicht im Lagerraum ausfällt. Der Zutritt zum Lagerraum ist nur über diese Schleuse möglich. Die Kühlung der Schleuse erfolgt über eine wassergekühlte subkritische CO2 (R744) Kälteanlage und einen Deckenluftkühler. Zusätzlich in der Schleuse installiert sind zwei Radialgebläse, die die abgekühlte Luft wie bereits erwähnt in den Zwischenwänden und der Zwischendecke verteilen (Box-in-Box). Für die CO2 (R744) Kälteanlage sind im Maschinenraum Ausdehnungsgefäße vorgesehen, sodass im Stillstand, bei Spannungsausfall oder beim Transport der Druck im Kältekreislauf begrenzt wird und keine Drücke größer als der Auslegungsdruck entstehen können. Die Ausdehnungsgefäße sind so bemessen, dass die gesamte Kältemittelfüllung gasförmig aufgenommen werden kann. Zusätzlich sind HD- und ND-Sicherheitsventile installiert, die bei versehentlicher Überfüllung des Kältekreislaufs in die Atmosphäre abblasen würden. Es ist jeweils eine R744 Gaswarnanlage im Maschinenraum und in der Schleuse installiert.

Die beiden wassergekühlten Kältemaschinen und die Maschinenraumkühlung werden durch einen zentralen Kaltwasserspeicher versorgt. Dieser kann bei Ausfall der betreiberseitigen Kaltwasserversorgung für eine Zeit von ca. 30 Minuten (je nach Lastpunkt der Anlage) die Rückkühlung der Maschinen sicherstellen. Die Kaltwasserversorgung kann entweder durch ein Kaltwassernetz des Betreibers oder durch einen luftgekühlten R290-Chiller realisiert werden, der bei Bedarf mitgeliefert werden kann. Es muss eine Vorlauftemperatur von 4°C und eine Spreizung von ca. 4K eingehalten werden. Es ist vorgesehen, dem Kaltwasser einen gewissen Teil MEG beizumischen, um den Frostschutz zu gewährleisten. Der Maschinenraum wird durch einen mit Kaltwasser beaufschlagten Deckenluftkühler temperiert. Dies ist eine Komfortfunktion bei hohen Außentemperaturen und Sonneneinstrahlung für Wartungs- und Servicearbeiten im Maschinenraum.

Durch die tiefen Temperaturen im Lagerraum ergeben sich spezielle Anforderungen an die Sicherheitstechnik. Um Gefährdungen für Personen bei zu langem Aufenthalt im Lagerraum zu minimieren, darf dieser nur mit entsprechender PSA betreten werden. Zusätzlich ist am Zutritt zur Schleuse ein Ampelsystem mit Warnhupe vorgesehen. Durch Türkontaktschalter wird das Betreten der Schleuse und des Lagerraums jeweils registriert. Nach einer voreingestellten Zeit erfolgt ein hörbarer und sichtbarer Alarm, sofern der Timer am Bedienpanel außerhalb der Schleuse nicht quittiert wurde und sich somit eine Person länger als die vorgeschriebene Zeit im Lagerraum aufgehalten hat. Dieses Signal kann bei Bedarf an die GLT des Betreibers weitergeleitet werden und somit kann sicherstellt werden, dass die Meldung an eine ständig besetzte Stelle erfolgt.

Alle Türdichtungen und Scheiben der Kühlraumtüren sind beheizt. Die Heizungen werden über Halbleiterrelais in Abhängigkeit der vorherrschenden Temperaturen in Lagerraum und Schleuse bedarfsgerecht getaktet für maximale Effizienz und Zuverlässigkeit. Die Taktungen sind für verschiedene Temperaturbereiche einstellbar. So wird nur die Heizleistung abgerufen, die ein Anfrieren der Türdichtungen an der Zarge verhindert. Es wird kein unnötiger Wärmeeintrag generiert.

Im Schaltschrank des ULT-Containers ist ein Fernwartungsrouter installiert. Hier kann über LAN oder Mobilfunk eine Verbindung zu den Fernwartungsservern von KTI hergestellt werden. Somit ist die Betreuung des Betreibers jederzeit möglich.

Betriebserfahrung

Die Inbetriebnahme der Kältetechnik gelang in kurzer Zeit. Lediglich die Regelstrategie wurde mehrmals angepasst, um eine hohe Temperaturgenauigkeit zu erreichen. Die Bedienung der Anlage ist einfach gehalten. Der Betreiber gibt den Sollwert für die Temperatur im Lagerraum vor und startet die Kühlung des Lagerraums und der Schleuse separat. Es sind keine weiteren Einstellungen notwendig.

Die Kälteleistung sowohl für die Kühlung des Lagerraums als auch für die Schleusenkühlung ist ausreichend bemessen. Im Lagerraum wären schnellere Abkühlgeschwindigkeiten möglich als 10K/h. Die Abkühlgeschwindigkeit ist somit begrenzt durch die Struktur der Kühlzelle. Die Schleuse kann auch auf Temperaturen <-20°C gekühlt werden, wenn gewünscht.

Der Betrieb der Kaltluftkältemaschine ist leise und vibrationsfrei.

Es wurden verschiedene Messungen zur Leistungsaufnahme, Energieverbrauch und Temperaturverteilung durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse können der nachfolgenden Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Technische Daten des Ultratieftemperaturlagers ULT-25-50Hz-R729-R744-wc

Dimensions	
Overall dimensions L x W x H	12.192 x 2.438 x 2.896 mm
Shipping dimensions	1x 40 ft HC Container
Weight	
empty container	ca. 9.500 kg
Charge water/glycole	470 kg
Charge R744	15 kg
Operation	
Time to -80°C	<12h
Storage area	
Volume storage area	25 m³
Floor area	12 m²
Dimensions storage area L x W x H	7.020 x 1.740 x 1.994 mm
Suitable for	medical products, blood reserves, food
Temperature	-110°C .. -30°C
Installed refrigeration capacity	5,4 kW (@-60 °C)
	4,3 kW (@-80 °C)
	3,8 kW (@-90 °C)
	2,7 kW (@-110 °C)
Refrigerant	R729 (Air)
Temperature deviation from top to bottom of the storage area at steady conditions	1K
Temperature fluctuation over time at steady conditions	0,6K
Air lock	
Dimensions air lock L x W x H	1.450 x 2.070 x 2.290 mm
Temperature	-20°C

Installed refrigeration capacity	6,1 kW
Refrigerant	R744 (carbon dioxide)
Chiller Unit (external)	
Medium	Water or Water/Glycole mixture max. 34Vol-%, freezing point acc. ambient conditions
Design inlet temperature	4°C
Design outlet temperature	8°C
Max. heat rejection	29 kW
Max. Inlet temperature	15°C
Connections for chiller unit at ULT container	2x G1-1/2" OT
Drain Connections at ULT container	Machinery room: 2x G1/2" Air lock: 1x G1“
Power Consumption	
Power Supply	400V - 3Ph/N/PE - 50Hz
Nominal Amperage	60 A
Power Consumption at full load	20 kW
Amperage at full load	36 A
Energy consumption at steady state condition storage area -110°C/air lock -20°C	337kWh/24h
Energy consumption at steady state condition storage area -70°C/air lock -20°C	218kWh/24h

Zusammenfassung

Die KTI-Plersch Kältetechnik GmbH bietet seinen Kunden seit Kurzem eine alternative Lösung für die Tieftemperaturlagerung bis -110°C an, unter Einsatz von ausschließlich natürlichen Kältemitteln. Hierzu wurde in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Refolution Industriekälte GmbH, sowie der Secon GmbH und Mirai Intex s.r.o. ein Plug and Play Konzept eines Ultratieftemperaturlagers in einem Standard 40“ Seefracht-Container realisiert. Der Lagerraum wird durch eine Kaltluftkältemaschine (R729 „Luft“) im offenen Kreislauf gekühlt. Es befindet sich kein klassischer Verdampfer im Lagerraum. Die Verdichter-Expander-Einheit ist verschleißfrei gelagert und benötigt keine Ölschmierung. Dem Lagerraum vorgeschaltet ist eine aktiv gekühlte Luftschleuse, deren Temperatur von einer subkritischen R744 Kältemaschine bei -20°C konstant gehalten wird. Die wassergekühlte Kältemaschine R729 und die wassergekühlte subkritische R744 Kältemaschine sind in einem separaten Maschinenraum im Container untergebracht. Alle Antriebe sind drehzahlgeregelt für höchste Ansprüche an die Temperaturgenauigkeit.

Weitere hervorragende Merkmale sind die Ausführung der Isolierung mit Edelstahl-Sandwichpaneelen im sogenannten Box-in-Box System für maximale Effizienz, die mechanische Abtauung des „SnowCatchers“ im Lagerraum ohne zusätzlichen Wärmeeintrag/Beeinträchtigung der Lagerraumtemperatur, sowie das Sicherheitskonzept mit Totmann-Schaltung.

Mit diesem Konzept steht eine umweltfreundliche, verlässliche und mobile Lösung für die Ultratieftemperaturlagerung flexibel einstellbar von -30°C bis -110°C mit ausgereifter Technik zur Verfügung.