

nLT-Cycle

Natural Low-Temperature Refrigeration Cycle

Programm / Ausschreibung	Energieforschung (e!MISSION), Energieforschung, Energieforschungsprogramm 2025 (KLIEN AV 24)	Status	laufend
Projektstart	01.02.2026	Projektende	31.01.2029
Zeitraum	2026 - 2029	Projektlaufzeit	36 Monate
Barwert der Projektförderung	€ 699.264		
Keywords	R744, Sublimation, Trägerfluid, Tieftemperatur, natürliche Kältemittel		

Projektbeschreibung

In zahlreichen Branchen sind Anwendungen erforderlich, bei denen Temperaturen unter -50 °C erreicht werden müssen, um Produkte oder Dienstleistungen in der geforderten Qualität zu gewährleisten. Beispiele hierfür sind die Lagerung von Impfstoffen und biologischen Proben in der pharmazeutischen Industrie, sowie Prozesse wie Destillation und Gefriertrocknung in der chemischen Industrie. Auch die Umweltsimulation in der Automobil- und Raumfahrtindustrie, sowie die Tieftemperaturkühlung in der Elektronik- und Halbleiterindustrie erfordern derartige Temperaturen. Die Erreichung dieser „tiefen“ Temperaturen ist technisch anspruchsvoll und mit erheblichen Herausforderungen verbunden.

Aktuell kommen fluorierte Kältemittel wie R23 und R14 zum Einsatz. Aufgrund ihrer Eigenschaften gelten sie als „Sicherheitskältemittel“, weisen jedoch ein hohes Treibhauspotenzial (GWP) auf. Gemäß der neuen F-Gase-Verordnung (2024) ist deren Einsatz ab 2030 auch für Anwendungen unter -50 °C verboten, wodurch die Notwendigkeit alternativer Kältemittel entsteht. Der Joule-Prozess oder der Kaltdampfkreislauf mit R170 (Ethan) oder R50 (Methan) sind zwar potenzielle Alternativen, jedoch sind sie entweder wirtschaftlich ineffizient oder es sind erhöhte Sicherheitsanforderungen zu berücksichtigen. R744 (Kohlenstoffdioxid) ist eine vielversprechende Lösung, da es ungiftig, nicht brennbar und leicht verfügbar ist. Allerdings limitiert der Tripelpunkt von R744 ($-56,6\text{ °C}$; 5,2 bar) bislang seinen Einsatzbereich, da unterhalb dieser Temperatur nur feste und gasförmige Zustände auftreten.

Die Entwicklung einer umweltfreundlichen Kälteanlage mit R744, die den Phasenübergang von fest auf gasförmig (Sublimation) nutzt, um die Einsatzgrenze von R744 unterhalb des Tripelpunktes zu verschieben, ist das Ziel des Projekts. Zu diesem Zweck wird ein innovativer R744-Sublimationswärmetauscher konzipiert, der die Sublimation in einem Trägerfluid ermöglicht. Mit diesem Ansatz sollen Herausforderungen wie Verblockungen durch festes R744 und eine ineffiziente Wärmeübertragung gelöst werden. Zu diesem Zweck wird ein Modellprüfstand konzipiert und aufgebaut, um verschiedene Trägerfluide zu erproben und erste Erkenntnisse zur Wärmeübertragung zu gewinnen. Dieser Modellprüfstand erlaubt eine Überprüfung des Konzepts der Sublimation in einem Trägerfluid auf Komponentenebene (TRL 3). Nach erfolgreicher Validierung des Konzepts wird ein R744-Sublimationswärmetauscher in eine Kälteanlage integriert, um den Funktionsnachweis im Labormaßstab zu erbringen (TRL 4). Dabei wird ein Anlagendesign mit zwei Verdichterstufen verfolgt.

Das Projekt erweitert den aktuellen Stand der Technik, indem es die Sublimation von R744 in einem Trägerfluid untersucht. Dieser Ansatz könnte die Wärmeübertragung verbessern und die Verblockung durch festes R744 minimieren. Die Auswahl eines geeigneten Trägerfluids ist entscheidend. Zu den zu berücksichtigenden Kriterien zählen Stockpunkt, Löslichkeit von CO₂, Viskosität, Dampfdruck, Entflammbarkeit, Toxizität und chemische Stabilität. Das Konzept wird in einem geschlossenen Kältekreis im Labormaßstab getestet. Dabei werden auch der Dauerbetrieb und die Nutzung unterschiedlicher Wärmeträgerfluide untersucht.

Abstract

Many industries require applications operating at temperatures below -50 °C to ensure products or services meet quality standards. Examples include storing vaccines and biological samples in the pharmaceutical industry and processes such as distillation and freeze-drying in the chemical industry. Such temperatures are also required for environmental simulation in the automotive and aerospace industries, and for low-temperature cooling in the electronics and semiconductor industries. Achieving such “low” temperatures is technically challenging.

Currently, fluorinated refrigerants such as R23 and R14 are used. These are considered as “safety refrigerants” due to their properties, but they have a high global warming potential (GWP). The new F-Gas Regulation (2024) will ban their use for applications below -50 °C from 2030, creating a need for alternative refrigerants. While potential alternatives such as the Joule process or the cold vapour cycle with R170 (ethane) and R50 (methane) are available, they are either economically inefficient or demand increased safety requirements. R744 (carbon dioxide) is a promising solution, being non-toxic, non-flammable and widely available. However, R744's triple point at (-56.6 °C; 5.2 bar) limits its range of application so far, as only solid and gaseous states occur below this temperature.

This project aims to develop an environmentally friendly refrigeration system that uses R744 and exploits the phase transition from solid to gas (sublimation) in order to lower the operating limit of R744 below the triple point. To this end, a novel R744 sublimation heat exchanger is being designed to enable sublimation in a carrier fluid. This approach is intended to overcome issues such as blockages caused by solid R744 and inefficient heat transfer. A model test bench is being designed and built to test various carrier fluids and gain initial insights into heat transfer. This model test bench will enable the concept of sublimation in a carrier fluid to be tested at component level (TRL 3). Following the successful validation of the concept, an R744 sublimation heat exchanger will be implemented within a refrigeration system to showcase its operational capabilities on a laboratory scale (TRL 4). The system design uses two compressor stages.

This project is advancing the current state of the art by investigating the sublimation of R744 in a carrier fluid. This approach could enhance heat transfer and minimise blockages caused by solid R744. Selecting a suitable carrier fluid is crucial, with criteria including pour point, CO₂ solubility, viscosity, vapour pressure, flammability, toxicity and chemical stability. The concept is being tested in a closed refrigeration cycle on a laboratory scale, with issues such as the continuous operation of the sublimation heat exchanger and the use of different heat transfer fluids also being investigated.

Projektkoordinator

- Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik (IWT)

Projektpartner

- KXR Kälte + Anlagentechnik GmbH