

## CLEAR

Create an additional way to extract information from a refrigerant circuit

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Energieforschung (e!MISSION), Energieforschung, Energieforschungsprogramm 2023	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.10.2024	<b>Projektende</b>	28.02.2026
<b>Zeitraum</b>	2024 - 2026	<b>Projektlaufzeit</b>	17 Monate
<b>Keywords</b>	nicht-invasive Messprinzipien; Füllstandsmessung; zustandsorientierte Diagnostik; Leckageerkennung; vorausschauende Wartung		

### Projektbeschreibung

Aufgrund von größerer Beachtung des Umweltschutzes beim Einsatz von Kälteanlagen und Wärmepumpen und damit einhergehenden Regulatorien (z.B.: F-Gase-Verordnung, REACH-Verordnung), gewinnen natürliche Kältemittel immer mehr an Bedeutung. Diese sind jedoch meist brennbar und / oder giftig. Dies hat zu strengen Vorschriften für ihre Verwendung geführt und erhöht die Notwendigkeit einer Leckageerkennung. Ein kostengünstiger Sensor zur Online-Messung des Füllstands in Kältemittelsammlern würde die Entwicklung von Kältekreisläufen erleichtern und Hemmnisse bei der Nutzung natürlicher Kältemittel abbauen. In der Sondierung „CLEAR“ wird ein kostengünstiges und robustes Messverfahren gesucht, um einen Füllstandssensor in einem nachfolgenden F&E-Projekt entwickeln zu können, welcher besonders kostengünstig ist und daher „breit“ eingesetzt werden kann. Dieser Sensor soll den Füllstand in Sammlern von Kälteanlagen und Wärmepumpen während des Betriebs ermitteln, wodurch eine zustandsorientierte Diagnose ermöglicht wird, die den Weg zu einer vorausschauenden Wartung („Predictive Maintenance“) ebnet.

Das Projektkonsortium beabsichtigt, das vorhandene Know-how in der Kältetechnik und Sensorentwicklung zu nutzen, um eine innovative Lösung für die beschriebene Aufgabenstellung zu finden. Zu diesem Zweck wurden vier vielversprechende, nicht-invasive Messprinzipien ausgewählt.

- Eigenschwingung des Sammlergefäßes (EIGS)
- Nichtinvasives Verfahren basierend auf Ultraschall (NIUS)
- Helmholtz-Resonanz Verfahren (HRV)
- Akustische Füllstandsmessung durch Eigengeräusche im Sammler (AES)

Die wesentliche Herausforderung besteht darin eine, robuste Messung - trotz der bestehenden Quereffekte (Vibrationen, Umgebungsbedingungen, strömende Medien, usw.) die in und um einen Kompressions-Kältekreis auftreten - zu realisieren. Um diese Quereffekte im Projektverlauf zu berücksichtigen, werden die Messverfahren an unterschiedlich komplexen Prüfständen (AP2 & AP4) evaluiert. Die an den Prüfständen gewonnenen Daten dienen einerseits zur Validierung der in AP3 entwickelten Sensormodelle und andererseits zur Beurteilung der Eignung der Messverfahren zur Füllstandsbestimmung

unter Einfluss diverser Umgebungsbedingungen.

## **Abstract**

Due to greater attention to environmental protection with respect to the use of refrigeration systems and heat pumps and the associated regulations (e.g. F-Gas Regulation, REACH Regulation), natural refrigerants are becoming increasingly important. However, these are usually flammable and/or toxic. This has led to strict regulations for their use and increases the need for leakage detection. A low-cost sensor for online level measurement in refrigerant receivers would facilitate the development of refrigeration circuits and remove barriers to the use of natural refrigerants. In the "CLEAR" exploratory project, a cost-effective and robust measurement method is being sought in order to develop a level sensor in a subsequent R&D project, which is particularly cost-effective and can therefore be used "widely". This sensor is intended to determine liquid level in receivers of refrigeration systems and heat pumps during operation, enabling condition-based diagnostics that pave the way for predictive maintenance.

The project consortium intends to use the existing know-how in refrigeration technology and sensor development to find an innovative solution to the described challenge. Four promising, non-invasive measurement principles were selected for this purpose.

- Natural oscillation of the receiver
- Non-invasive method based on ultrasound
- Helmholtz resonance method
- Acoustic level measurement through inherent noise in the collector

The main challenge is to realize a robust measurement despite the existing cross effects (vibrations, ambient conditions, flowing media, etc.) that occur in and around a compression refrigeration circuit. In order to take these cross-effects into account as the project progresses, the measurement methods are evaluated on test benches of varying complexity (WP2 & WP4). The data obtained on the test benches will be used to validate the sensor models developed in WP3 and to assess the suitability of the measurement methods for level determination under the influence of various environmental conditions.

## **Endberichtkurzfassung**

Zusammenfassung der Ergebnisse

Vorgehen und Prüfstände

Die Messverfahren wurden schrittweise vom offenen Wasser/Luft-Prüfstand (Mockup 1), über einen Behälter mit gesättigtem Kältemittel (flüssig/gasförmig; Mockup 2) bis zum funktionsfähigen R290-Kältekreislauf (Mockup 3) erprobt. Der R290-Kältekreislauf umfasst einen Hochdrucksammler, eine automatisierte Referenzmessung sowie einen höhenverstellbaren Reservoirsammler zur gezielten Anpassung des Füllstands im laufenden Betrieb. Dadurch konnten definierte Füllstände reproduzierbar eingestellt und Quereffekte unter realen Bedingungen bewertet werden. Die Versuche wurden als Messserien mit festgelegten Füllständen durchgeführt; Erfassung und Auswertung erfolgten standardisiert und automatisiert, um mögliche Bedienungsfehler zu minimieren.

## Bewertung der Messprinzipien und getroffene Auswahl

### Akustische Eigengeräusche und Helmholtz-Resonanz-Verfahren:

Spektralanalysen von Mikrofonsignalen für akustische Eigengeräusche und Helmholtz-Resonanz-Verfahren zeigten, dass die an Mockup 1 aufgenommenen Signale Töne (Schwingungen) enthalten, deren Resonanzfrequenz eindeutig vom Füllstand im Sammler abhängen. Dabei treten bei beiden Verfahren die gleichen Frequenzkomponenten auf. Dies deckt sich mit der Theorie, da die auftretenden Frequenzkomponenten durch das vorhandene Gasvolumen im Sammler bestimmt werden. Dieser Effekt war jedoch nur unter idealisierten Bedingungen bei Mockup 1 zu beobachten. Die Bedingungen wichen sowohl von der geplanten Realanwendung als auch von den weiteren Prüfständen mit geschlossenem Kreislauf ab.

Mit Mockup 2 wurde untersucht, ob im Ausgangssignal eines Drucksensors, die an Mockup 1 identifizierten Frequenzkomponenten „gefunden“ werden können. In den aufgenommenen Ausgangssignalen konnten jedoch keine technisch nutzbaren Signalkomponenten für eine Füllstandsmessung identifiziert werden.

### Ultraschallverfahren:

Messungen des Transmissionsverhaltens an Mockup 1 zwischen zwei Ultraschall-Transducern zeigten keinen technisch nutzbaren Effekt. Dies lässt sich durch den dominanten akustischen Kopplungspfad über das Sammlergehäuse erklären und deckt sich mit der Literatur. Eine kontinuierliche Erfassung des Füllstands ist daher nur schwer realisierbar. Die Untersuchungen an Mockup 1 zeigten, dass gasförmiges (z.B.: Luft) oder flüssiges (z.B.: Wasser) Medium auf Höhe des Transducers das Schwingverhalten eines an der Außenseite angebrachten Transducers signifikant beeinflusst. In weiterer Folge wurden Ultraschallverfahren daher mit Blick auf die Phasenerkennung (Grenzstandsschalter) untersucht. Das modifizierte Ultraschallverfahren zur Phasenerkennung konnte an Mockup 2 erfolgreich demonstriert werden. Mit Mockup 3 konnte die Unempfindlichkeit gegenüber Quereffekten erprobt werden. Die potenzielle Robustheit des Verfahrens ist daher klar erkennbar.

### Eigenschwingungsverfahren:

Bei der Auswertung des Eigenschwingungsverfahrens mit passiver Anregung (Schwingungen des Systems) haben Quereffekte durch z.B. sich verändernde Vibrationen einen signifikanten Einfluss auf die Messergebnisse. Dies erlaubt keinen reproduzierbaren Rückschluss zwischen Füllstand und den ausgewerteten Frequenzen für den gesamten Betriebsbereich. Aus diesem Grund erscheint dieses Messprinzip für die Anwendungen in Wärmepumpen und Kältekreisläufen – aus aktueller Sicht – nicht geeignet.

Für das aktiv angeregte Eigenschwingungsverfahren konnte ein eindeutiger und potenziell messtechnisch nutzbarer Zusammenhang zwischen dem Füllstand und Frequenzkomponenten der Messsignale ermittelt werden. Das Verfahren erwies sich unter kontrollierten Bedingungen als reproduzierbar. Bei den Untersuchungen des Eigenschwingungsverfahrens an Mockup 2 konnten erneut die bereits an Mockup 1 identifizierten, vom Füllstand abhängigen Schwingungen nachgewiesen werden. Bei den durchgeführten Messungen, bei denen Vibrationen mittels Vakuumpumpe aufgeprägt wurden, ließ sich keine Beeinflussung des Eigenschwingungsverfahrens (an Mockup 2) erkennen. Bei Messungen an Mockup

3 konnten die Ergebnisse weitestgehend bestätigt werden und der Sammlerinnendruck wurde als relevanter Quereffekt identifiziert.

#### Ergebnis und Empfehlung für die Weiterführung

Nach diesem Sondierungsprojekt stehen zwei grundsätzlich vielversprechende, nicht-invasive Optionen für die Sensorentwicklung zur Verfügung: ein robustes Grenzstandskonzept (Ultraschall) und ein für einen eingeschränkten Füllstandsbereich kontinuierliches Messkonzept (Eigenschwingungsverfahren).

Mithilfe der Dämpfung des Ultraschallsignals lässt sich eine Phasendetektion auf Höhe des Sensors realisieren. Die Messreihen zeigen eine vielversprechende Robustheit gegenüber Quereffekten des Anlagenbetriebs. Das Messkonzept kann potenziell auf mehrere Sensorpositionen erweitert werden. Damit ergibt sich die Möglichkeit, die Phasendetektion über ein Array auf unterschiedlichen Positionen durchzuführen und so die Lage des Flüssigkeitsspiegels zwischen zwei der verbauten Sensoren einzuschränken.

Mithilfe der Schwingungsmessung und geeigneter Signalverarbeitung kann ein Zusammenhang zwischen der Frequenz und dem Füllstand nachgewiesen werden. Die relevanten Signale korreliert mit Oberflächenschwingungen des Sammlergefäßes. Für den Anlagenbetrieb hat sich der Sammlerinnendruck als wesentlicher Quereinfluss gezeigt, womit sich der verlässlich auswertbare Füllstandsbereich reduziert. Durch eine geeignete Druckkompensation könnte der auswertbare Bereich erweitert werden.

Die Auswahl geeigneter Aufnehmer und Impulsgeber sowie die Umsetzung einer Druckkompensation wären die nächsten Schritte auf dem Weg zu einem möglichen Sensor. Die identifizierten Messprinzipien haben das Potenzial, die Anforderungen an Kosten, Integrationsaufwand und Handhabung gemäß Antrag zu erfüllen. Dies müsste jedoch im Zuge eines Nachfolgeprojektes noch verifiziert werden.

#### **Projektkoordinator**

- Technische Universität Graz