

# Ermittlung des Zustands von Kältekreisläufen in Recycling-Kühlgeräten

Student



Linus Rutishauser

**Ausgangslage:** Haushaltskühlgeräte verfügen über geschlossene Kältemittelkreisläufe, die Stoffe mit hohem Treibhauspotenzial enthalten und im Recyclingprozess kontrolliert rückgewonnen werden müssen. In der Praxis erreichen Recyclingbetriebe jedoch zahlreiche Altgeräte mit bereits teilweise oder vollständig entleertem Kältemittelkreislauf, ohne dass dieser Zustand vor der Absaugung zuverlässig erkannt werden kann. Solche Geräte werden prozessseitig als intakt behandelt, was zu einer systematischen Verfälschung der erfassten Rückgewinnungsmengen und der ausgewiesenen Rückgewinnungsquoten führt. Bei der Immark AG ist eine direkte Druckmessung des geschlossenen Kreislaufs aus verfahrenstechnischen Gründen nicht möglich. Vor diesem Hintergrund bestand die Notwendigkeit, alternative Methoden zur Bestimmung des Kreislaufzustands zu untersuchen, die unter realen Recyclingbedingungen anwendbar sind.

**Vorgehen:** Im ersten Teil der Arbeit wurden auf Grundlage einer Literaturrecherche zerstörungsfreie und möglichst berührungslose Verfahren zur Zustandserkennung an geschlossenen Kältemittelkreisläufen identifiziert und hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz im Kühlschrankrecycling bewertet. Die Ultraschall-Materialprüfung wurde als technisch vielversprechender Ansatz experimentell untersucht. Dazu wurden Laborversuche mit eigens hergestellten Dummies typischer Kreislaufbauteile durchgeführt, die mit Luft oder Flüssigkeit gefüllt waren und im Puls-Echo-Verfahren geprüft wurden. Aufgrund der begrenzten Übertragbarkeit auf reale Altgeräte wurde der Fokus anschliessend auf eine prozessintegrierte Zustandsbestimmung während des Absaugvorgangs verlagert. Hierfür wurde ein Messsystem zur gleichzeitigen Erfassung von Temperatur und Druck in der Gasphase der Absauganlage konzipiert, aufgebaut und an der Recyclinganlage installiert. Insgesamt wurden 24 Absaugvorgänge an Kühlgeräten unterschiedlicher Bauarten und Kältemitteltypen untersucht, darunter sowohl intakte als auch gezielt beschädigte Systeme.

**Ergebnis:** Die Laboruntersuchungen zeigten, dass sich luft- und flüssigkeitsgefüllte Leitungen im Ultraschallsignal grundsätzlich unterscheiden lassen, der Ansatz unter realen Einsatzbedingungen jedoch stark von Gerätekonstruktion, Leitungsgeometrie und Kältemittelverteilung abhängt. Die prozessintegrierten Messungen während der Absaugung lieferten ein konsistenteres Bild. Bei intakten Kältekreisläufen wurde ein deutlicher Temperaturabfall in der Absauganlage beobachtet, während dieser bei defekten, entleerten Kreisläufen weniger ausgeprägt oder nicht eindeutig detektierbar war. Dieses Verhalten zeigte sich in den vorliegenden Messungen weitgehend unabhängig von Gerätegröße und Kältemitteltyp. Der Druckverlauf erwies sich nicht als verlässliches Trennmerkmal. Insgesamt deuten die Ergebnisse

darauf hin, dass eine prozessintegrierte Temperaturmessung ein geeignetes und konstruktionsunabhängiges Verfahren zur Unterscheidung intakter und defekter Kältemittelkreisläufe sein könnte. Aufgrund der begrenzten Anzahl untersuchter Geräte war die Datenbasis für eine statistisch belastbare Aussage jedoch noch unzureichend und weiterführende Messreihen wären erforderlich.

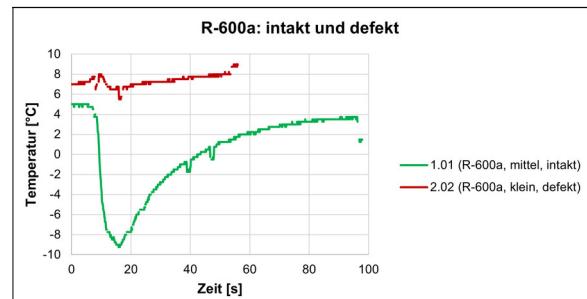
**Laborversuch zu der Ultraschall-Materialprüfung an Dummies eines Kältekreislaufs**  
Eigene Darstellung



**Messaufbau zur Druck- und Temperaturmessung an der Absauganlage der Immark AG**  
Eigene Darstellung



**Temperaturverlauf während der Absaugung eines intakten und eines defekten Kältekreislaufs mit R-600a als Kältemittel**  
Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Martin Dässcher

Themengebiet  
Umwelttechnik  
allgemein,  
Abfallwirtschaft und  
Technologien

Projektpartner  
Immark AG,  
Aarwangen, BE