

# Wirtschaftlichkeitsanalyse von Bahn-Klimaanlagen mit den Kältemitteln R729 (Luft) und R134a

Roland Friedrich / Andreas Krawanja | Liebherr-Transportation Systems GmbH & Co KG

Abschlussfachgespräch zum  
Umwelt-Forschungsprojekt zur  
Klimatisierung von Zügen

Berlin, 25. Januar 2018

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# LIEBHERR

Umwelt  
Bundesamt



# Inhalt

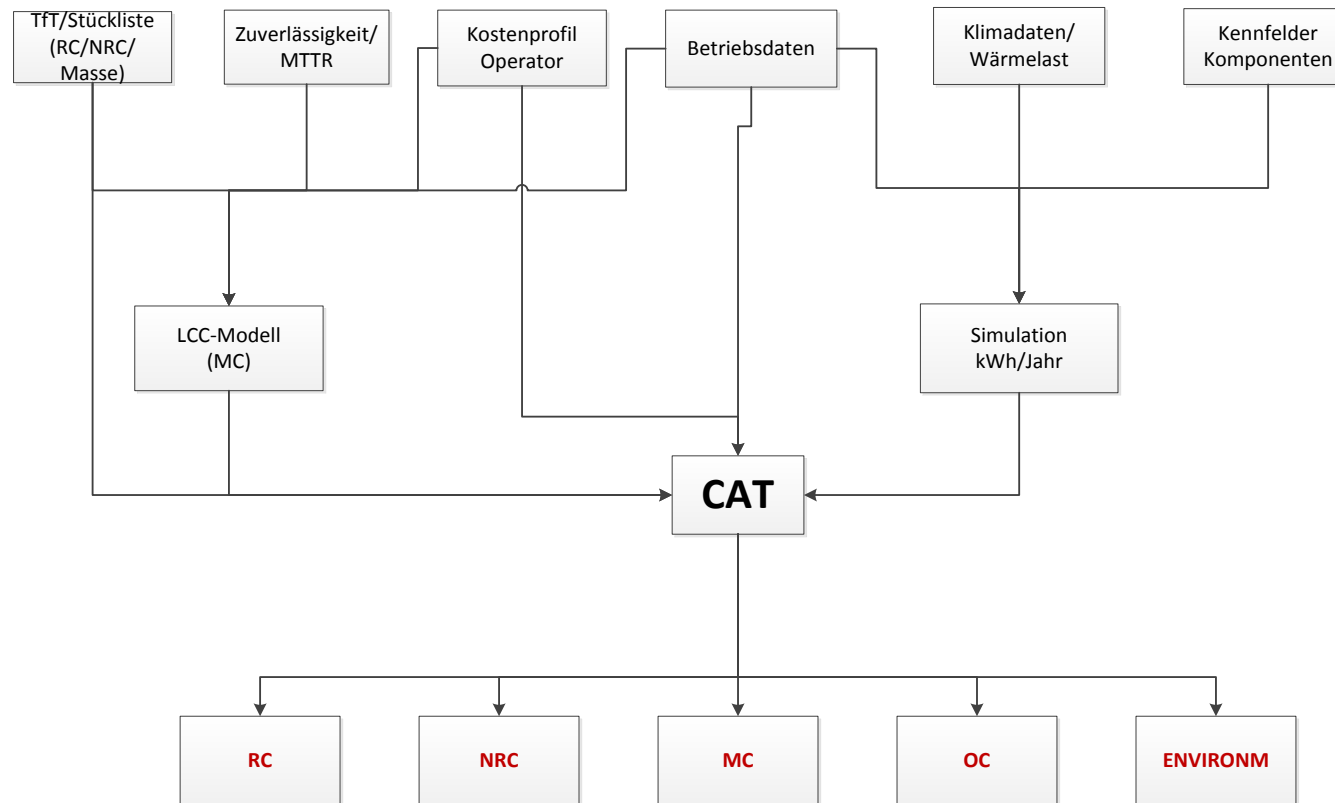
- Wirtschaftlichkeitsanalyse mit Hilfe des „Cost Assessment Tools“ (CAT)
- Darstellung der zu vergleichenden Anlagen
- Eingangsgrößen und Datenbasis
  - Datenerhebung bei den Fahrzeugen im Feld
  - Modelldaten
- Ergebnisse und Fazit

# CAT – Cost Assessment Tool

- Umfängliche Kostenanalyse übernommen aus der Luftfahrt (Kosten der Flugstunde)
- „Total Cost of Ownership“ Betrachtung auf Basis der beim Flight Operator auftretenden Kosten
- Anwendungsfall für Bahnbetrieb als Kostendarstellung auf Basis Euro pro Jahr je HLK System (Wagen)



# CAT – Cost Assessment Tool – Ganzheitliche Kostenbetrachtung



- RC - Recurring Cost / Laufende Beschaffungskosten
- NRC- Non Recurring Cost / Einmalkosten (Entwicklungskosten, Engineering, Pototypenfertigung, Tests)
- MC - Maintenance Cost / Instandhaltungskosten
- OC - Operating Cost / Energiekosten
- Environm / Umweltkosten (CO2 Steuer, Umrüstung auf umweltfreundliche Kältemittel)
- CAT Index / Summe aller Kosten pro Jahr

# CAT – Konkreter Vergleich ICE-T / ICE-3

- Verschiedene HKL Systeme werden vergleichend auf ein Referenzfahrzeug dargestellt
- Das Referenzfahrzeug ist der TW7 des Triebzugs 301 (ICE-3) aus der Felddatenanalyse
- **Vergleich A:** Im ersten Schritt wurden die beiden bekannten und seit vielen Jahren in Betrieb stehenden Anlagen verglichen bzw. auf das Referenzfahrzeug projiziert: ICE-T und ICE-3 2.BS.
- **Vergleich B:** Der zweite Schritt zeigt ein Zukunftsszenario. Hier wurden ersichtliche Verbesserungspotentiale gegenübergestellt:
  - Konzept der ICE-T Anlage Energie optimiert [C.Luger]
  - Konzept der ICE-3 Anlage wartungsoptimiert
  - Luftgestützte Anlage der nächsten Generation, offener Überdruckkreis

# CAT – HLK Anlagen im Vergleich

CAT Vergleich					
Version	Vergleich A		Vergleich B		
Kältemittel	R134a	Luft R729	Luft R729	R134a	Luft R729
HVAC Geräte-Version	ICE-T	ICE3.2 (Unterdrucksystem)	Unterdrucksystem state of the art	ICE-T ohne Gegenheizen	Next Generation ACS: offenes Überdrucksystem
Regelung	Drehzahl geregelter Schraubenverdichter, 2 Kondensatorlüfter leistungsabhängig geschaltet, elektrisches Gegenheizen	Drehzahl geregelte Kühlturbine	Drehzahl geregelte Kühlturbine	Drehzahl geregelter Schraubenverdichter, 2 Kondensatorlüfter leistungsabhängig geschaltet, Heißgasbypass	Drehzahl geregelte Kühlturbine
Gewähltes Referenzfahrzeug	ICE3, Triebzug 301 - TW7, 74 Sitzplätze				
Gewähltes Betriebszenario	ICE-3 gemäß Klimadaten aus Testreferenzjahren DWD [C. Luger]				

## CAT – Ermittlung der Investitionskosten: NRC / RC

- NRC: Die Entwicklungskosten wurden egalisiert, um einen fairen Vergleich von altbewährter und Zukunftstechnologie zu gewährleisten: NRC = 1.000.000 € pro HLK System, das vorliegende CAT Modell hat eine Seriengröße von 500 Wagen als Basis
- RC: Die Herstellkosten für luftgestützte Systeme sind etwas höher, wobei Potentiale zur Kostenverringerung durch Stückzahleffekte nicht ausgewiesen sind.
  - RC Kaltdampfanlage: 40.000 € (mit und ohne elektrischem Gegenheizen)
  - RC ACS Unterdruckprozeß analog ICE-3 2.BS: 65.000 €
  - RC ACS Überdruckkreis, „ACS next Generation“: 55.000 €

# CAT – Energiekosten & Umweltkosten: OC & ENVIRONM

- **Energiekosten** für primären (Betrieb HLK Anlage) und sekundären (Fahrtwiderstand durch Luftaustausch mit Umgebung) Energieverbrauch [C. Luger] nach Stromtarif: **11,59 cent/kWh**
- **Umweltkosten Kaltdampfanlage**
  - Berechnet für ICE-T in Vergleich A als Ergebnis aus Emission von CO2 Äquivalent aus Kältemittelleckagen und Kosten für das Auffüllen von Kältemittel
  - Füllmenge 9 kg R134a (GWP 1430), Leckage 5% per Jahr, durchschnittlicher Kältemittelpreis 36 €/kg
  - Emissionskostenbewertung nach GWP des KM: 4,55 € / t CO2-Äquivalent (Europäischer Auktionsmarkt 2016 / 07)
  - Berechnet für ICE-T optimiert in Vergleich B unter Annahme eines Umstiegs auf ein Drop-In Kältemittel R513A (GWP 547) nach 5 Jahren, durchschnittlicher Kältemittelpreis 50 €/kg, sonst wie Vergleich A
- **Umweltkosten luftgestützte Anlage**
  - Keine (Emissionen aus Energieerzeugung sind im Energiepreis gedeckt)



## CAT – Wartungskosten aus DB Daten

- Felddatenerfassung ICE-T und ICE-3 2.BS (2012-2014)
- Technologierelevante Kosten wurden analysiert:
  - Kühlfunktion
  - Lüftungsfunktion
  - Steuerung
  - Ohne Mechanische Struktur
  - Aufrechnen von Rollkuren auf die Lebenszeit
  - Anpassen von ICE-T an die Kälteleistung von ICE-3 (+10%)
- Eingeschränkte Weiterverwendung der DB Daten im CAT Modell: intransparente Daten in Bezug auf Detail Darstellung der Tätigkeiten

Datenanalyse DB		
	ICET Baureihe 411 (Mittelwagen)	ICE3 2.BS
Kühlen/Lüften	3.402 €	3.852 €
Heizsystem	443 €	556 €
CAT Vergleichskosten Funktion Kühlen/Heizen /Lüften	3.845 €	4.408 €

# CAT –Modellbasierte Wartungskosten

- LCC Tool zur Ermittlung der Wartungskosten
- Analog zur Datenerfassung wurden Wartungskostenmodelle erstellt (Erfahrungswerte Liebherr, Verkaufs- & Reparaturzahlen, DB Daten)
- Zuverlässigkeitsdaten (LH/DB)
- Präventive- und korrektive Wartung laut Betriebshandbüchern
- Betriebsdaten und Kostenprofil von DB (Stundensatz 90€/h inkl. Infrastruktur)

	Datenanalyse DB	Datenanalyse DB	LCC Modell Liebherr	LCC Modell Liebherr
	ICET Baureihe 411 (Mittelwagen)	ICE3 2.BS	ICET Baureihe 411 (Mittelwagen)	ICE3 2.BS
<b>Kühlen/Lüften</b>	3.402 €	3.852 €	3.791 €	4.031 €
<b>Heizsystem</b>	443 €	556 €	402 €	452 €
<b>CAT Vergleichskosten Funktion Kühlen/Heizen /Lüften</b>	3.845 €	4.408 €	4.194 €	4.483 €

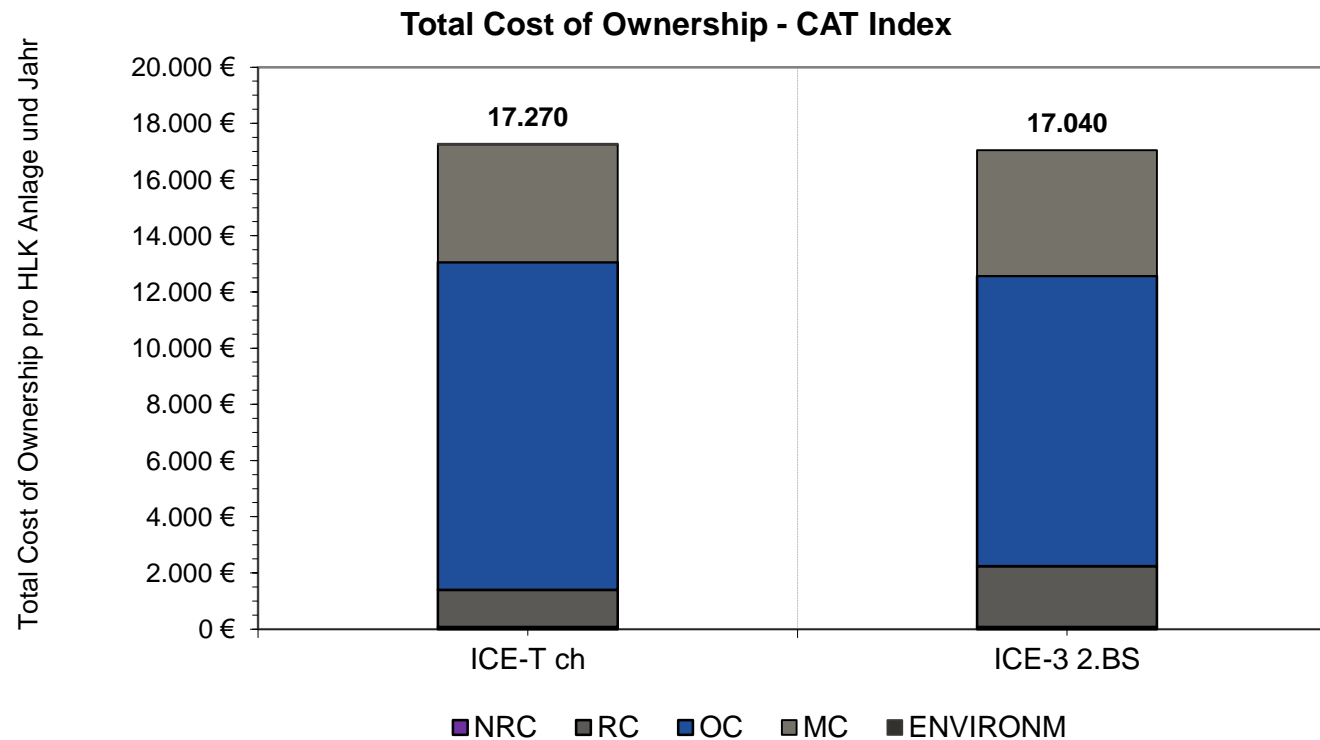
# CAT – Modellbasierte Wartungskosten für optimierte Anlagen

- Wartungskosten Vergleich B-Zukunftsszenario
- ICE-3 Anlage wartungsoptimiert  
Eliminierung von „No Failure Found“ Raten, bei manchen Schlüsselkomponenten lag die Zahl der Komponenten ohne Fehler (NFF) im Serviceeingang bei 40%

LCC Modell Liebherr			
	ACS REVERSE (ICE-3 optimiert)	VCS (ICET) mit Bypass	ACS DIRECT (Future)
Kühlen/Lüften	3.204 €	3.791 €	3.246 €
Heizsystem	452 €	402 €	452 €
CAT Vergleichskosten Funktion Kühlen/Heizen /Lüften	3.656 €	4.194 €	3.698 €

# Gegenüberstellung der HLK

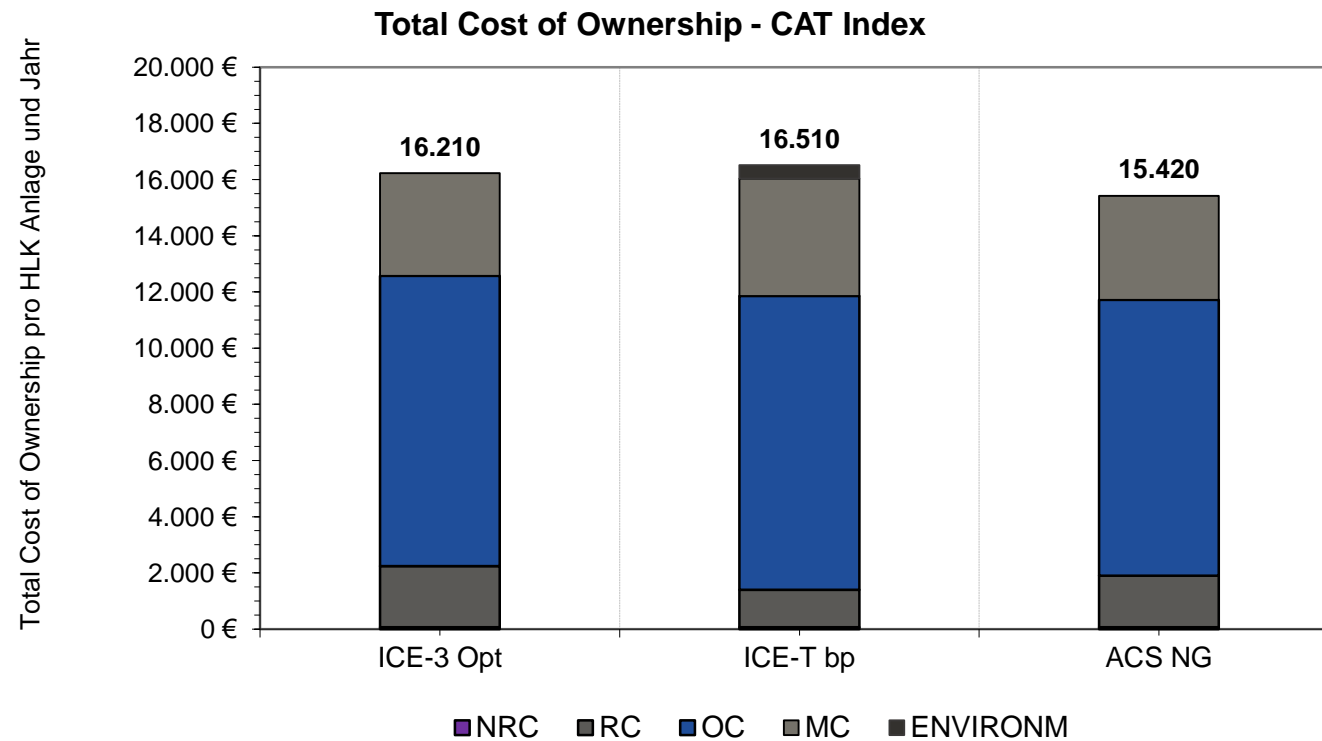
## Vergleich A



	ICE-T ch	ICE-3 2.BS
<b>CAT-Index</b>	17.270	17.040
<b>ENVIRONM</b>	20	-
<b>MC</b>	4.190	4.480
<b>OC</b>	11.660	10.330
<b>RC</b>	1.330	2.170
<b>NRC</b>	70	70

# Gegenüberstellung der HKL – Zukunftsszenario

## Vergleich B



	ICE-3 Opt	ICE-T bp	ACS NG
<b>CAT-Index</b>	16.210	16.510	15.420
<b>ENVIRONM</b>	-	470	-
<b>MC</b>	3.660	4.190	3.700
<b>OC</b>	10.330	10.450	9.820
<b>RC</b>	2.170	1.330	1.830
<b>NRC</b>	70	70	70

# Zusammenfassung der Ergebnisse

- Luftgestützte Bahnklimasysteme sind heute schon eine erfolgreich erprobte, umweltfreundliche UND wirtschaftliche Alternative
- Bei den Bestandsanlagen werden die höheren Investitionskosten der luftgestützten Klimatechnik durch niedrigere Betriebskosten kompensiert.
- Generell spielen die Investitionskosten gemessen an den Energie- und Wartungskosten eine untergeordnete Rolle und machen jährlich etwa 10% bei VCS und 14% bei ACS im Vergleich hierzu aus.
- Es wurde im Rahmen der Studie zusätzliches Verbesserungspotential bei der Wartung der bestehenden Anlage ICE-3 2.BS identifiziert
- Die Potentiale der luftgestützten Klimatisierungstechnik sind noch bei weitem nicht ausgeschöpft, es besteht eine sehr positive Perspektive zur luftgestützten Klimatisierung von Eisenbahnfahrzeugen mit der Weiterentwicklung „ACS Next Generation“ [R. Aigner]

# Wesentliche Referenzen

Energiebedarf von Bahn-Klimaanlagen mit den Kältemitteln Luft und R134a - C. Luger

Ausblick ACS Technologie - R. Aigner



Vielen Dank!



- © Liebherr-Aerospace & Transportation SAS 2018. Alle Rechte vorbehalten. Ausdrücklich eingeschlossen sind, ohne Begrenzung, die Rechte der Übersetzung, der Bearbeitung für andere Sprachen, der auszugsweisen Wiedergabe, der Herstellung von Photokopien oder Mikrofilmen, der Reproduktion durch Xerox oder ähnliche Methoden, der elektronischen Bearbeitung (Speicherung, Reproduktion usw.), der weiteren Verarbeitung und der Zusammenstellung des Inhaltes oder von Teilen derselben in anderer Anordnung.
- © Liebherr-Aerospace & Transportation SAS 2018. Tous droits réservés, y compris expressément, mais sans limitation, les droits de traduction, d'adaptation en d'autres langues, de la reproduction d'extraits, de la production de copies par photocopies, microfilms, copy Xerox et autres méthodes similaires, de traitement électronique (mémoire, reproduction etc.), ou par regroupement dans un autre ordre des termes ou d'une partie des termes sous quelque forme que ce soit.
- © Liebherr-Aerospace & Transportation SAS 2018. All rights reserved, expressly including, without limitation, the rights of translation, of adaptation to other languages, of reproduction by way of abstracts, photocopies, microfilms, Xerox and similar methods, electronic processing (storage, reproduction and the like), and of rearranging the contents.