

## Schlussbericht

Teilvorhaben:

# Klimatisierung des Fahrzeuginnenraums

(FKZ 16N12327)

im Spitzencluster



**Verbundname:** Ganzheitliches Thermomanagement im Elektrofahrzeug

**Akronym:** GaTE

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Zusammenfassung.....	6
1. Aufgabenstellung.....	8
1.1 Gesamtprojekt .....	8
1.2 Teilvorhaben .....	11
2. Voraussetzungen, unter denen das Teilvorhaben durchgeführt wurde .....	14
2.1 Planung und Ablauf des Teilvorhabens.....	14
2.2 Stand der Wissenschaft und Technik.....	18
3. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse.....	20
3.1 Definition des Nutzungsverhaltens und Randbedingungen .....	20
3.1.1 Definition von Klimastfällen .....	20
3.1.2 Analyse des Nutzerverhaltens .....	22
3.1.3 Entwicklung von Tagesfahrzyklen für Jahres-Verbrauchsbewertung .....	24
3.1.4 Lastenheft.....	25
3.2 Analyse der Kabine.....	25
3.2.1 Festlegung der Fahrzeugparameter (Referenz-Basisfahrzeug) .....	26
3.2.2 Analyse Kabine – Aufbau Rechenmodell.....	28
3.2.3 Analyse Kabine, thermischer Insassenkomfort .....	30
3.2.4 Analyse Kabine – Sensitivitätsanalyse Wärmehaushalt Kabine .....	31
3.2.5 Umluft & Feuchte.....	33
3.2.6 Energieeinsparung durch Umluftbetrieb.....	37
3.2.7 Reichweitengewinn durch Heizleistungseinsparung .....	39
3.3 Kabinensensorik .....	41
3.3.1 Stand der Technik .....	41
3.3.2 Anforderungen an zukünftige Sensorsysteme .....	41

3.3.3 Auflösung und Genauigkeit der Beschlagssensorik .....	43
3.3.4 Validierung der Funktionsmuster vs. Simulation .....	44
3.3.5 Funktionstest der Beschlagssensorik.....	44
3.3.6 Erweiterte Funktionstests und Validierungsmessungen.....	45
3.3.7 Untersuchungen Beschlagssensorik im Demonstrator-Fahrzeug.....	48
4. Verwertung der Ergebnisse .....	50
4.1 Wissenschaftlicher und technischer Nutzen .....	51
4.2 Verwertung für die Daimler AG .....	52
5. Literaturverzeichnis .....	53

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Temperaturanforderungen .....	9
Abbildung 2: Reichweitenreduktion durch Fahrzeugklimatisierung [Quelle: MAHLE Behr].....	9
Abbildung 3: Funktionale Anforderung eines Klimasystems an eine Wärmepumpe .....	11
Abbildung 4: Heizleistung in Abhängigkeit des Umluftanteil.....	
Abbildung 5: Meilensteinplanung des Gesamtvorhabens .....	16
Abbildung 6: Arbeitspakete des Gesamtvorhabens .....	17
Abbildung 7: Meilensteinplanung des Teilvorhabens .....	17
Abbildung 8: PMV-Index zur Bewertung des globalen thermischen Komforts (ISO 7730).....	21
Abbildung 9: Mittlere globale PMV-Werte (Besetzung 4 Personen) für Referenz-Lastfälle. ...	22
Abbildung 10: Auswertung für Tagesstrecke, Unterwegszeit und Wegeanzahl aus [3]. .....	23
Abbildung 11: Mittlere Anzahl der Wegezahl nach Wochentagen [3]. .....	24
Abbildung 12: Referenz-Tageszyklus für Wochentage. ....	25
Abbildung 13: Definition von Referenzfahrzeug und Grenztemperaturen .....	27
Abbildung 14: 3-D-Modellkabine, Längsschnitt durch Lenkrad und Insassen (Kabinenluft) ..	28
Abbildung 15: Elemente der Umrandungsflächen des 3-D-Rechenmodells .....	28
Abbildung 16: Rechennetz für Insassen und Sitze (Beispiel: Fahrer) und Kopplung mit thermophysiologischem Insassenmodell. ....	29
Abbildung 17: Kabinenmodell mit Insassen und Einströmöffnungen.....	29
Abbildung 18: Berechnete mittlere PMV-Werte für definierte Klimalastfälle bei einer Fahrzeugbesetzung mit 1 und 4 Personen. ....	31
Abbildung 19: Energieverlustanteile der Kabine für Heizfälle.....	32
Abbildung 20: Kabinen-Wärmebilanz für Kühlfälle .....	33
Abbildung 21: Beispiel für die absolute Feuchteverteilung in einem Kabinen-Längsschnitt durch die Fahrermitte für das Modell „Nasenaatmung“ .....	34
Abbildung 22: Verteilung der relativen Feuchte und der Lufttemperatur in der Kabine.....	35
Abbildung 23: Beispielhafte Darstellung der relativen Luftfeuchte des Beschlagsrisikos an den Kabinenscheiben.....	36
Abbildung 24: Kabinen-Heizleistung für Frischluft- und Umluftbetrieb.....	38
Abbildung 25: Prozentualer Anteil der einsparbaren Heizleistung bei Umluftbetrieb (100% = Frischluftbetrieb).....	39
Abbildung 26: Einsparpotenzial der elektrischen Leistungsaufnahme durch Wärmepumpen- und Umluftbetrieb/recirculating air [Quelle FKFS, interner Bericht] .....	40
Abbildung 27: Scheibentemperaturen und Verbauorte für Mustersensoren (Lastfall -7°C) ...	42

Abbildung 28: Sensorposition und Nummerierung der im Fahrzeug verbauten Mustersensoren.....	44
Abbildung 29: Beschlagsindex der Mustersensoren bei erweitertem Funktionstest (0°C) .....	45
Abbildung 30: absoluter Wasserdampfgehalt in Klimakasten und Kabine.....	46
Abbildung 31: Vergleich berechneter und gemessener Scheibentemperaturen und Modellanalyse .....	47
Abbildung 32: Beschlagsbildung an der Frontscheibe .....	48
Abbildung 33: Beschlagsindex für unterschiedliche Umluftraten und Sensorpositionen.....	49
Abbildung 34: Anteile Elektrofahrzeuge, Projektion 2050 [10] .....	50

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stationäre Klimaleistungen für verschiedene Umgebungsbedingungen.....	21
Tabelle 2: Zentrale Mobilitätskenngrößen – MiD 2008 und 2002, MOP und KONTIV 1982, nur Personen ab zehn Jahren [4]. .....	23
Tabelle 3: Luftmassenstromanteile für Einströmdüsen .....	30
Tabelle 4: Verteilung der Feuchteabgabe über den Körper .....	34
Tabelle 5: Maximale Umluftanteile bis zum Einsetzen von Scheibenbeschlag.....	37

## Zusammenfassung

Die breite Kundenakzeptanz eines zukünftigen Elektrofahrzeugs hängt maßgeblich von dessen Alltagstauglichkeit ab. In erster Linie bedeutet dies, dass zukünftige Elektrofahrzeuge an den Eigenschaften heutiger Fahrzeugkonzepte und deren Kosten gemessen werden. Die effiziente Nutzung der im Fahrzeug vorhandenen Wärme- und Energiemengen stellt eine Schlüsseltechnologie zur Erhöhung der Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen dar. Es ist das Ziel der deutschen Automobilindustrie ihren Kunden Produkte anzubieten, die den neuen Anforderungen und Wünschen gerecht werden, dabei aber die heute üblichen Standards hinsichtlich Sicherheit, Dynamik und Wohlbefinden weiterhin erfüllen.

Im Rahmen des Projekts „Ganzheitliches Thermomanagement im E-Fahrzeug“ (GaTE) wurden Anforderungen auf Basis einer Nutzer- und Nutzungsverhaltensanalyse erarbeitet. Daneben diente eine Recherche über vorhandene Fahrzyklen und Auslegungsfälle dazu, Referenzprofile zu erstellen, die als Bewertungsgrundlage für neue Komponenten und Systeme eingesetzt wurden. Typische Fahrzustände des E-Fahrzeugs und klimatische Bedingungen werden darin berücksichtigt. In dem Teilvorhaben wurden diese Auslegungsfälle und wesentliche Fahrzeugparameter erarbeitet. Aufbauend auf einem generischen Fahrzeug, das aus den Ergebnissen der Nutzungsanalyse hervorging, wurden die wesentlichen Energieflüsse und der Wärmehaushalt der Fahrzeuggabine im Teilvorhaben detailliert untersucht. Außerdem wurden Maßnahmen an und in der Kabine zur Reduzierung des Energiebedarfs zum Heizen und Kühlen bewertet. Kriterien zur Bewertung der Technologien und Zielvorgaben im Hinblick auf einen Fahrzeugeinsatz wurden erarbeitet.

Ein wesentliches Ergebnis des Teilprojekts stellt die Analyse des Wärmehaushalts der Kabine dar. Die Entlüftungsverluste stellen bei Heizfällen den dominierenden Verlustanteil dar, so dass einen Umluftbetrieb deutliche Energieeinsparungen bei nahezu gleichem Komfort der Insassen realisiert werden können. Durch die ermittelten maximal möglichen Umluftraten ergeben sich im Temperaturbereich von 0°C bis -7°C Einsparungen der erforderlichen Heizleistung von 20% bis 45%.

Die Erforschung eines effizienten Kühl- und Klimasystems baut in „GaTE“ auf der Untersuchung einer Kühlmittel/Kühlmittel-Wärmepumpe mit optimierten Ventilkonzepten auf. Diese soll einen zuverlässigen, kostengünstigen und energieeffizienten Einsatz gewähren. Die Reduzierung der Antriebsleistung dieses Systems konnte u. A. durch die Erhöhung des Umluftanteils im Winter erreicht werden, die in diesem Teilvorhaben im Hinblick auf Effizienz und thermischen Komfort untersucht wurde. Die daraus resultierende erhöhte Beschlagsneigung an den Scheiben in der Passagierkabine wird durch die Verwendung eines neuartigen Beschlagssensors detektiert. Für die Beschlagssensorik wurden im Teilvorhaben Anforderungen erstellt. Die Einbindung der neuen Kabinensensorik in ein Fahrzeug und umfangreiche experimentelle Untersuchungen in einem Klimakanal vervollständigt ein ganzheitliches Thermomanagement von Elektrofahrzeugen.

Im Rahmen des Spitzencluster-Konsortiums stellt dieses Projekt eine Kooperation der Firmen MAHLE Behr GmbH & Co. KG, Robert Bosch GmbH, Daimler AG, sitronic GmbH &

Co. KG und des "Research Institute for Automotive Engineering and Vehicle Engines Stuttgart" (FKFS) dar. „GaTE“ unterstützen die Clusterstrategie bezüglich der Reduktion der Fahrzeugkosten und der Erhöhung von Komfort und Sicherheit durch eine effizientere Nutzung der vorhandenen Energie sowie die dadurch entstehende verbesserte Handhabung. Diese Inhalte bilden einen wesentlichen Grundbaustein zur erfolgreichen Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen.

# 1. Aufgabenstellung

Im Gesamtprojekt „Ganzheitliches Thermomanagement im E-Fahrzeug“ (GaTE) werden neue Anforderungen des E-Fahrzeugs auf Basis einer Nutzer- und Nutzungsverhaltensanalyse erarbeitet. Eine Recherche über vorhandene Fahrzyklen und Auslegungsfälle dient dazu, Referenzprofile zu erstellen, die als Bewertungsgrundlage für neue Komponenten und Systeme eingesetzt werden. Typische Fahrzustände des E-Fahrzeugs wie Rekuperieren, Boosten, etc. werden darin ebenso berücksichtigt, wie Höhenprofile und globale klimatische Unterschiede, die je nach Einsatzgebiet stark variieren können. Aufbauend auf einem generischen Fahrzeug, das aus den Ergebnissen der Nutzungsanalyse hervorgeht, werden die wesentlichen Energieflüsse untersucht, die im Betrieb von Elektrofahrzeugen auftreten. Die Energieflüsse stellen die Grundlage für die weitere Komponenten- und Systemforschung dar.

Die Erforschung eines effizienten Kühl- und Klimasystems baut in „GaTE“ auf der Untersuchung einer Kühlmittel/Kühlmittel-Wärmepumpe (Quelle und Senke: Kühlmittel) mit optimierten Ventilkonzepten auf. Diese gewährleisten einen zuverlässigen, kostengünstigen und energieeffizienten Einsatz. Die Reduzierung der Antriebsleistung dieses Systems kann u. A. durch die Erhöhung des Umluftanteils erreicht werden. Die daraus resultierende erhöhte Beschlagsneigung in der Passagierkabine wird durch die Verwendung eines neuartigen Beschlagssensors detektiert. Die effiziente Einbindung neuer Kabinensensorik vervollständigt ein ganzheitliches Thermomanagement von Elektrofahrzeugen.

## 1.1 Gesamtprojekt

Das Thermomanagement des E-Fahrzeugs hat gegenüber dem Thermomanagement konventioneller Fahrzeugen einen sehr viel höheren Stellenwert in der Fahrzeugkonzeption. Es muss sichergestellt werden, dass die heute übliche Lithium-Ionen Batterie in einem engen Temperaturband von ca. 15°C - 35°C gehalten werden, da bei hohen Temperaturen die Batterielebensdauer und bei niedrigen Temperaturen die Batterieleistung absinkt. Weiterhin müssen die Antriebsstrangkomponenten ebenfalls in ihrem Temperaturfenster gehalten werden. In Abbildung 1 sind die Temperaturanforderungen von Kabine, Batterie, Leistungselektronik und E-Maschinen dargestellt.

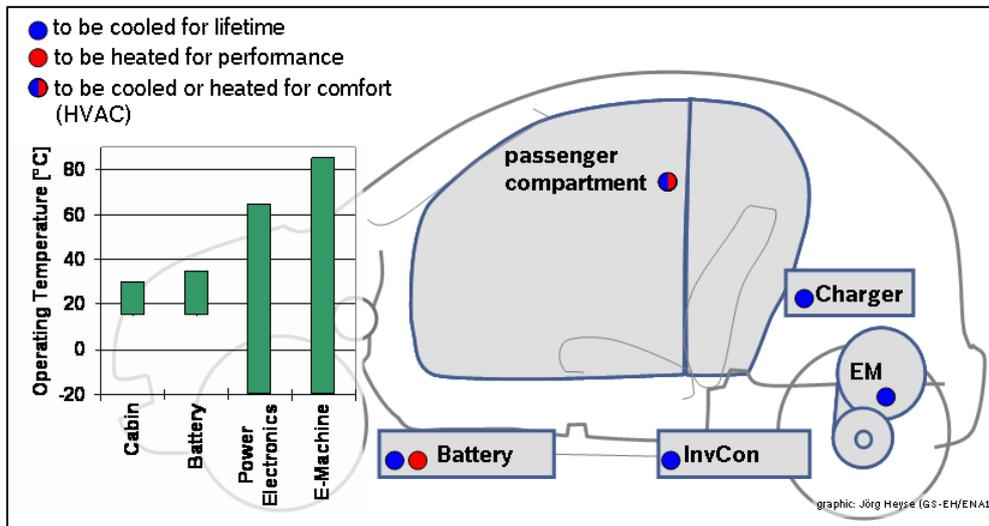


Abbildung 1: Temperaturanforderungen

Eine weitere Änderung zu konventionellen Fahrzeugen ist die geringe Abwärme des Antriebstrangs. Prinzipiell ist das erwünscht, allerdings muss die Kabine im Winter durch anderweitige Wärmequellen wie elektrische Heizung, Wärmepumpe oder Brennstoffzuheizer beheizt werden. Bei rein elektrischer Heizung würde bei  $-20^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur die Reichweite bis auf 35% der Nominalreichweite absinken. Dies ist bei heute maximalen Reichweiten von 200 km wenig akzeptabel. In Abbildung 2 wird die Reichweite für unterschiedliche Außentemperaturen für eine rein elektrische Zuheizung und für einen Betrieb mit Wärmepumpe gezeigt. Durch den Wärmepumpenbetrieb kann die Reichweite deutlich erhöht werden.

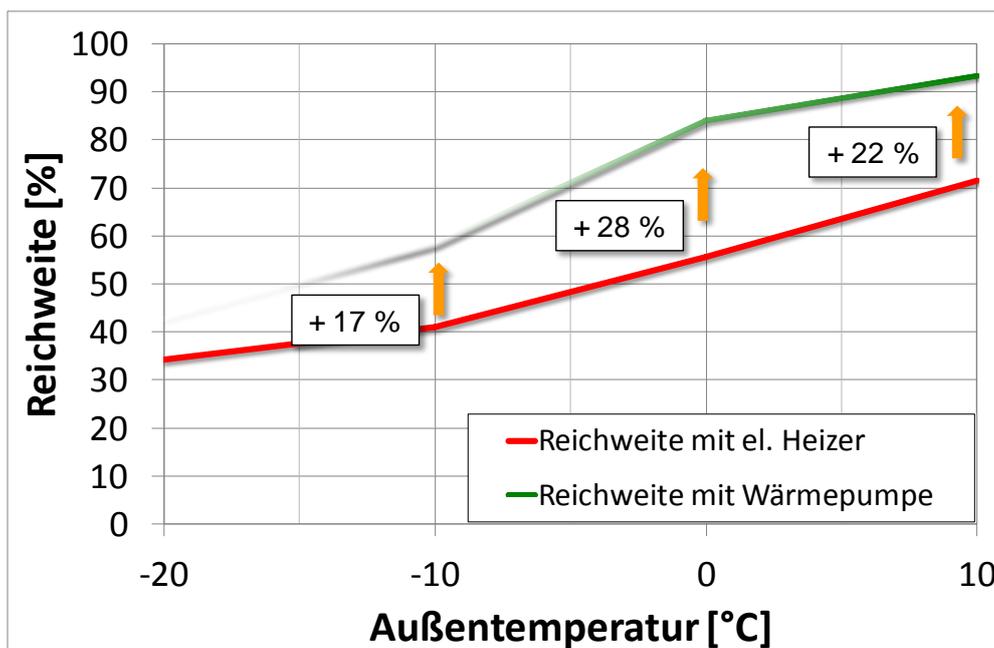


Abbildung 2: Reichweitenreduktion durch Fahrzeugklimatisierung [Quelle: MAHLE Behr]

Ziel dieses Vorhabens ist es also, den elektrischen Energiebedarf für die Fahrzeugklimatisierung und die Temperierung der Komponenten des Antriebs gegenüber heutigen Lösungen zu minimieren und die Reichweite des E-Fahrzeuges unter Berücksichtigung möglichst geringer Systemkosten zu maximieren.

Die Anforderungen des Thermomanagements an Komponenten und Systeme sollen erarbeitet und mögliche Verbesserungsansätze hinsichtlich Kosten und Effizienz bewertet werden. Ein wesentlicher Lösungsansatz zur geringeren Leistungsaufnahme der Fahrzeugklimatisierung ist der Einsatz einer Wärmepumpe und eines Beschlagsensors, optimiert auf den Einsatz im E-Fahrzeug, welche im Rahmen dieses Vorhabens erforscht und als Versuchsmuster aufgebaut werden sollen. Das Zusammenspiel des Umluftbetriebs im Thermomanagement des Gesamtfahrzeugs soll untersucht werden.

Durch eine zuverlässige Beschlagsdetektion an den Fahrzeugscheiben bei verschiedenen Klimabedingungen und Fahrsituation mit Hilfe eines Beschlagsensors kann der Energiebedarf zur Heizung durch einen maximal möglichen Umluftbetrieb reduziert werden. Die Leistung kann um bis zu 60 % bei 100 % Umluft verringert werden (Erhaltungsklimatisierung, stationärer Betrieb). Der maximal mögliche Umluftanteil kann jedoch durch die geforderte Beschlagsfreiheit der Scheiben und der Luftqualität in der Kabine z.T. deutlich reduziert sein.

Eine Wärmepumpe alleine kann bei 0°C gegenüber einer Kabinenbeheizung mit elektrischem Zuheizung die Reichweite um ca. 30% erhöhen (Abbildung 2). Die Anforderungen an das Klimasystem sind prinzipiell in Abbildung 3 dargestellt.

Im Besonderen soll hierzu der Ansatz einer Kühlmittel-/Kühlmittel-Wärmepumpe einer sog. indirekten Wärmepumpe gewählt werden, um neben der verbesserten Effizienz auch dem Anspruch möglichst geringer Systemkosten gerecht zu werden. Der Kostenvorteil liegt darin begründet, dass die für die Wärmepumpe notwendigen kühlmittelseitigen Ventile durch einen Baukastenansatz von den höheren Stückzahlen der Ventile für konventionelle Fahrzeuge profitieren können. Im Gegensatz dazu müssen bei der direktverdampfenden Wärmepumpe die Kältemittelventile originär für den Wärmepumpeneinsatz adaptiert werden. Die geringen Stückzahlen, auf die die hohen Forschungskosten der Kältemittelventile umgelegt werden müssen, führen zu einer hohen Kostenbelastung des E-Fahrzeugs und damit letztlich zu keiner Kundenakzeptanz.

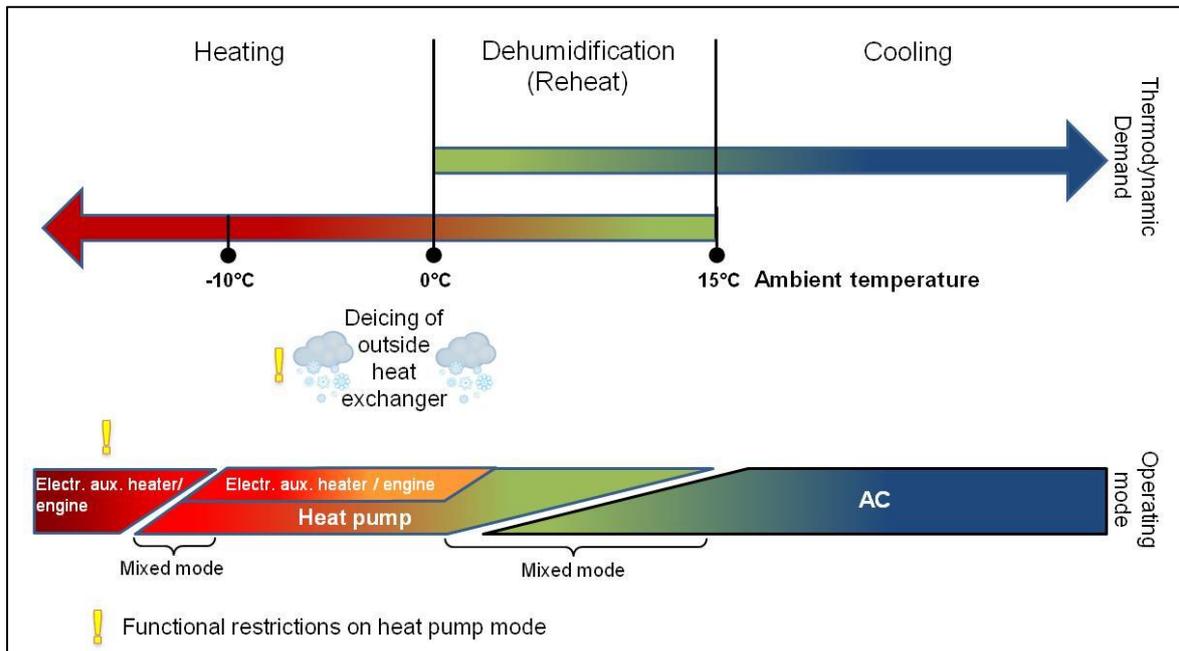


Abbildung 3: Funktionale Anforderung eines Klimasystems an eine Wärmepumpe

Weiterhin sind für die optimale Verteilung der Wärmeströme in Antriebsstrang und Wärmepumpe mehrere Kühlmittelventile in verschiedenen Ausführungen notwendig. Ein weiterer Schwerpunkt dieses Vorhabens soll deren Erforschung und Darstellung als Versuchsmuster für den Einsatz im E-Fahrzeug sein.

## 1.2 Teilvorhaben

In einem ersten Schritt soll eine Analyse des Nutzerverhaltens stehen, um daraus praxisrelevante und repräsentative Fahr- und Abstellprofile sowie Betriebsbedingungen abzuleiten. Diese dienen als Bewertungsgrundlage in Simulation und Versuch. Zu berücksichtigende Auslegungspunkte sind z. B. Fahrbetrieb, Stau, Parken, Vorkonditionierung und das Abkühlen/Aufheizen von Kabine und Batterie.

Hierauf schließt sich eine Analyse der Energieflüsse, die sich aus den oben abgeleiteten Lastprofilen ergeben und welche zur Identifikation nützlicher Thermomanagement-Potenziale dient. Dazu gehören die Abwärme des Antriebs, Sonneneinstrahlung, Umgebungsluftwärme, Wärmeleitung der Karosserie, Energieverbrauch für Heiz- und Kühlsysteme, etc..

Die Wärmebilanz der Kabine wird im Teilvorhaben detailliert analysiert. Hierzu wird ein Simulationsmodell der Fahrzeugkabine aufgrund der Festlegung des Gesamtfahrzeugs aufgebaut, vernetzt und bedatet. Mit dem Simulationsmodell können die konvektiven, radiativen und konduktiven Wärmeübertragungsmechanismen erfasst werden. Darüber hinaus bietet die Simulation durch Einbindung eines thermophysiologischen Insassenmodells

die Möglichkeit eine globale und lokale Bewertung des thermischen Komforts der Fahrzeuginsassen vorzunehmen. Für verschiedenen Lastfälle und Klimabedingungen werden Simulationsrechnungen durchgeführt.

Auf die Wärmebilanz relevante Maßnahmen zur Minimierung des Energiebedarfs der Kabine werden bewertet - z. B. Isolation der Kabine, Feuchtesensoren, reduzierte Frischluftzufuhr, - und fließen in eine Gesamtfahrzeugsimulation und Anforderungen an die Komponenten und Systeme ein.

Ein Schwerpunkt des Teilvorhabens liegt hierbei auf der Untersuchung eines Umluftbetriebs unter Winterlastfällen. Speziell die Feuchteverteilung in der Kabine unter Berücksichtigung der Insassenbelegung und des Feuchteintrags durch z.B. Gegenstände soll erforscht werden, um Aufschluss über die Beschlagsneigung an den Scheiben bei u.a. verschiedenen Belüftungssituationen zu erhalten.

Die Heizleistung kann um bis zu 60 % bei 100 % Umluftanteil reduziert werden (Erhaltungsklimatisierung), wie in Abbildung 4 dargestellt. Der Fall mit einem Umluftanteil von 100 % stellt das rein theoretisch erzielbare Grenzpotential dar. Der maximal mögliche Umluftanteil wird jedoch durch die geforderte Beschlagsfreiheit der Scheiben und der Luftqualität in der Kabine z.T. deutlich reduziert. Zur Realisierung der Energieeinsparpotenziale ist daher eine zuverlässige und schnelle Detektion der Beschlagsneigung im Fahrbetrieb durch eine Beschlagssensorik erforderlich. Die Sensorsignale ermöglichen eine Ansteuerung der Umluftklappe und Regelung der Luftverteilung im Klimakasten, so dass eine maximale Umluftrate bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen eingestellt werden kann.

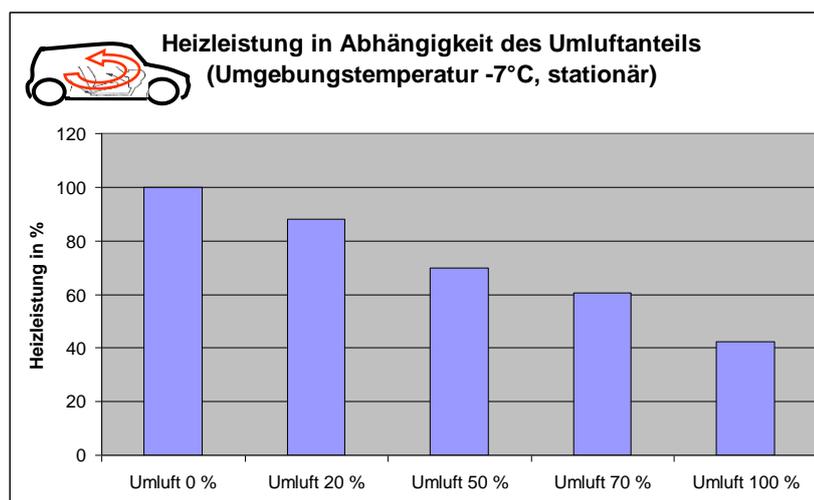


Abbildung 4: Heizleistung in Abhängigkeit des Umluftanteil

Die Beschlagsneigung an den Scheiben kann durch Messung der Scheibentemperatur, der Luftfeuchte und der Lufttemperatur ermittelt werden. Aus den Messsignalen wird hierzu eine Taupunktstemperatur abgeleitet. Liegt die lokale Scheibentemperatur unter der

Taupunktstemperatur tritt Beschlag auf. Die Scheibentemperatur, Lufttemperatur und Luftfeuchte kann jedoch lokal sehr unterschiedlich in der Kabine sein. Eine Vorhersage eines lokalen Beschlagsereignisses ist daher schwierig und erfordert eventuell ein aufwendiges Sensorsystem mit lokal verteilten Messfühlern mit komplexen Regelungsalgorithmen zur Klappensteuerung im Klimakasten. Das Sichtfeld der Windschutzscheibe muss aus Sicherheitsaspekten immer beschlagsfrei gehalten werden. Neben dem Feuchteeintrag durch die eingeblasene Luft wird der lokale Feuchtegehalt durch die Wasserdampfabgabe der Insassen und sonstiger Feuchtequellen in der Kabine maßgeblich beeinflusst.

Für die Untersuchungen des Scheibenbeschlags wird das Rechenmodell in seiner Funktionalität erweitert, so dass auch die Beschlagsneigung in der Simulation erfasst wird. Aus den Untersuchungen werden Anforderungen an ein Funktionsmuster zur Detektion des Scheibenbeschlags für einen optimierten Umluftbetrieb mit maximaler Energieeinsparung abgeleitet. Außerdem werden der sich einstellende globale und lokale thermische Komfort ermittelt. Im Umluftbetrieb ändert sich die Strömungs- und Temperaturverteilung in der Kabine zum heutigen Konzept deutlich, so dass Untersuchungen zu verschiedenen Konzepten der Lufteinblasung und Luftentnahme erforscht werden müssen, um den thermischen Komfort der Insassen auch bei Umluftbetrieb sicherzustellen.

In einem weiteren Schritt werden experimentelle Untersuchungen mit einem Funktionsmuster der Beschlagssensorik durchgeführt. Hierzu werden zunächst grundlegende Eigenschaften und Anforderungen des Funktionsmusters durch Laboruntersuchungen nachgewiesen bzw. überprüft. Der Sensor wird in einen Fahrzeug-Demonstrator eingebaut. Durch umfangreiche Untersuchungen in einem Klima-Windkanal werden u.a. bei unterschiedlichen Lastfällen und Umlufteinstellungen die Sensorsignale im Fahrzeuginnenraum überprüft und das Potential zur Energiereduktion durch Umluftbetrieb unter Winterlastfällen ermittelt. Darüber hinaus erfolgt ein Abgleich mit den durch Simulation erzielten Ergebnissen.

Für einen optimierten Umluftbetrieb im Winter ist aus heutiger Sicht eine Verbesserung der Beschlagssensorik vor allem im Hinblick auf:

- örtlich verteilte Erfassung der Beschlagsneigung (Stand heute: punktuelle Messung der Windschutzscheibentemperatur, die nicht repräsentativ für die Windschutzscheibe bzw. Seitenscheiben in allen Betriebspunkten ist)
- präzisere Erfassung der Feuchteverteilung in der Kabine mit Sensorsystem (Stand heute: punktuelle Messung der Kabinenfeuchte und Temperatur)
- höhere Dynamik zur schnellen Erfassung des Scheibenbeschlags und Gegensteuerung

Durch die Verbesserungen müsste sich eine deutliche Steigerung des Umluftbetriebs im Winter um ca. 50 % realisieren lassen, verbunden mit einem entsprechenden Effizienzgewinn.

## **2. Voraussetzungen, unter denen das Teilvorhaben durchgeführt wurde**

Die breite Kundenakzeptanz eines zukünftigen Elektrofahrzeugs hängt maßgeblich von dessen Alltagstauglichkeit ab. In erster Linie bedeutet dies, dass zukünftige Elektrofahrzeuge an den Eigenschaften heutiger Fahrzeugkonzepte und deren Kosten gemessen werden. Die effiziente Nutzung der im Fahrzeug vorhandenen Wärme- und Energiemengen stellt eine Schlüsseltechnologie zur Erhöhung der Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen dar. Es ist das Ziel der deutschen Automobilindustrie ihren Kunden Produkte anzubieten, die den neuen Anforderungen und Wünschen gerecht werden, dabei aber die heute üblichen Standards hinsichtlich Sicherheit, Dynamik und Wohlbefinden weiterhin erfüllen.

Ein wesentlicher Teilaspekt der Elektromobilität ist somit das Themenfeld Thermomanagement und die Klimatisierung des Fahrgastinnenraums. Diese sind Basis der heute marktgängigen Komfortexpectationen und ermöglichen den Einsatz geringerer Batteriekapazitäten mit unmittelbaren Auswirkungen auf die Produkt- und Produktionskosten.

Die im E-Fahrzeug verfügbare Energie wird in etwa gleichem Umfang für den Antrieb sowie für Klimatisierung benötigt. Daher sind neue Komponenten erforderlich, die eine optimale Verteilung thermischer Energie im Fahrzeug bei minimaler elektrischer Leistungsaufnahme ermöglichen. Überschüssige Wärmeenergie an verschiedenen Stellen des Fahrzeugs soll geschickt an den Ort des Bedarfs, vor allem den Innenraum, transportiert werden.

Im Rahmen des Spitzencluster-Konsortiums stellt dieses Projekt eine Kooperation der Firmen MAHLE Behr GmbH & Co. KG, Robert Bosch GmbH, Daimler AG, sitronic GmbH & Co. KG und des Forschungsinstituts FKFS dar. „GaTE“ unterstützen die Clusterstrategie bezüglich der Reduktion der Fahrzeugkosten und der Erhöhung von Komfort und Sicherheit durch eine effizientere Nutzung der vorhandenen Energie sowie die dadurch entstehende verbesserte Handhabung. Diese Inhalte bilden einen wesentlichen Grundbaustein zur erfolgreichen Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen.

### **2.1 Planung und Ablauf des Teilvorhabens**

Die F&E Aufgaben des Projektes GaTE werden zu einem wesentlichen Teil von der Daimler AG bearbeitet.

Die Projektpartner sind so zusammengestellt, dass sie mit ihren Kernkompetenzen alle erforderlichen Schritte zur Erforschung und Bewertung eines optimierten Thermomanagements für E-Fahrzeuge erarbeiten können. Auf Grund der klaren Zuteilung der Teilaufgaben im Projekt und der entsprechenden AP-Strukturierung sind keine weiteren Projektmanagementstrukturen erforderlich, wodurch die Administrationskosten auf einem

Minimum gehalten werden. Gegebenenfalls erforderliche Änderungen der technischen Arbeiten entsprechend der bewerteten Projektrisiken werden in regelmäßigen Projektsitzungen mit den Partners entschieden. Die Überprüfung der Zielerreichung erfolgt im Rahmen regelmäßiger Sitzungen und wöchentlichen Telefonkonferenzen unter Teilnahme aller Projektpartner.

Zur Gewährleistung eines ungehinderten Informationsaustausches wird zu Projektbeginn ein Konsortialvertrag zwischen den Projektpartnern abgeschlossen. In letzterem werden auch alle Geheimhaltungs-, Nutzungs- und Veröffentlichungsrechte geregelt. Eine Veröffentlichung des erreichten Entwicklungsstandes im Rahmen von wissenschaftlich technischen Tagungen und Fachzeitschriften wird gegen Ende des Projekts angestrebt. Neben der Darstellung der Ergebnisse, soll auf diese Weise bei einem erweiterten Kreis an potentiellen Kunden Interesse für die daran anschließende Produktentwicklung geweckt werden.

Die Arbeitsschwerpunkte der Projektpartner sind:

Bei der **Robert Bosch GmbH** werden u.a. neue Ventiltechnologien und –konzepte für ein optimiertes Thermomanagement erforscht.

Die Erforschung verschiedener Wärmepumpenkonzepte und Prüfstandsuntersuchungen zur Ermittlung wesentlicher Betriebsparameter und Wirkungsgrade der Komponenten und des Systems wird von **MAHLE Behr GmbH & Co. KG** bearbeitet.

Eine Bewertung der optimierten Systeme durch eine Gesamtfahrzeugsimulation unter Einbeziehung verschiedener Fahrzyklen und thermischer Randbedingungen erfolgt durch das **FKFS**.

Die **sitronic GmbH & Co. KG** untersucht eine verbesserte Sensorik zur Beschlagsdetektion und erstellt Versuchsmuster für Untersuchungen im Fahrzeug.

Bei der **Daimler AG** werden umfangreiche rechnerische Untersuchungen zum Wärmehaushalt der Fahrzeugkabine, zur Beschlagsneigung und zu Maßnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs der Fahrzeugkabine durchgeführt. Beschlagsgrenzen und das Potential bei der Nutzung eines Umluftbetriebs werden ermittelt. Neue Beschlagssensoren werden durch Fahrzeugtests im Klimakanal untersucht.

Das Gesamtprojekt „GaTE“ sieht die folgenden, mit den Projektpartners abgestimmten Meilensteine vor:

#### **Meilenstein 1:**

- Abschluss Analyse Nutzerverhalten, Festlegung der Fahrzeugparameter
- Abschluss erste Konzeptuntersuchungen Wärmepumpe
- Eingrenzung Lösungsraum Ventile

**Meilenstein 2:**

- Konzeptentscheidung Wärmepumpe
- Konzeptentscheidung Ventil
- Festlegung der Kühlkreislaufarchitektur
- Erste Simulationsergebnisse des Kabinenmodells
- Bewertung Effizienzmaßnahmen Kabine aufgrund Simulationsergebnissen

**Meilenstein 3 (Zentraler Meilenstein):**

- Funktionsmuster Ventile aufgebaut und funktionsfähig
- Nachweis der Wirksamkeit der optimierten Komponenten der Wärmepumpe
- Anforderungen für Innenraumsensorik konzeptionell umsetzbar
- 1D-Simulation des Gesamtsystems erstellt; Erarbeitung von Optimierungspotenzialen

**Projektende:**

- Aufbau Systemprüfstand mit Wärmepumpe und Ventilen als Demonstrator
- Funktionsnachweis Innenraumsensor in einem Fahrzeug
- Darstellung der realisierten Verbesserungen

Den zeitlichen Ablauf der Meilensteinplanung und Inhalte findet man in Abbildung 5.

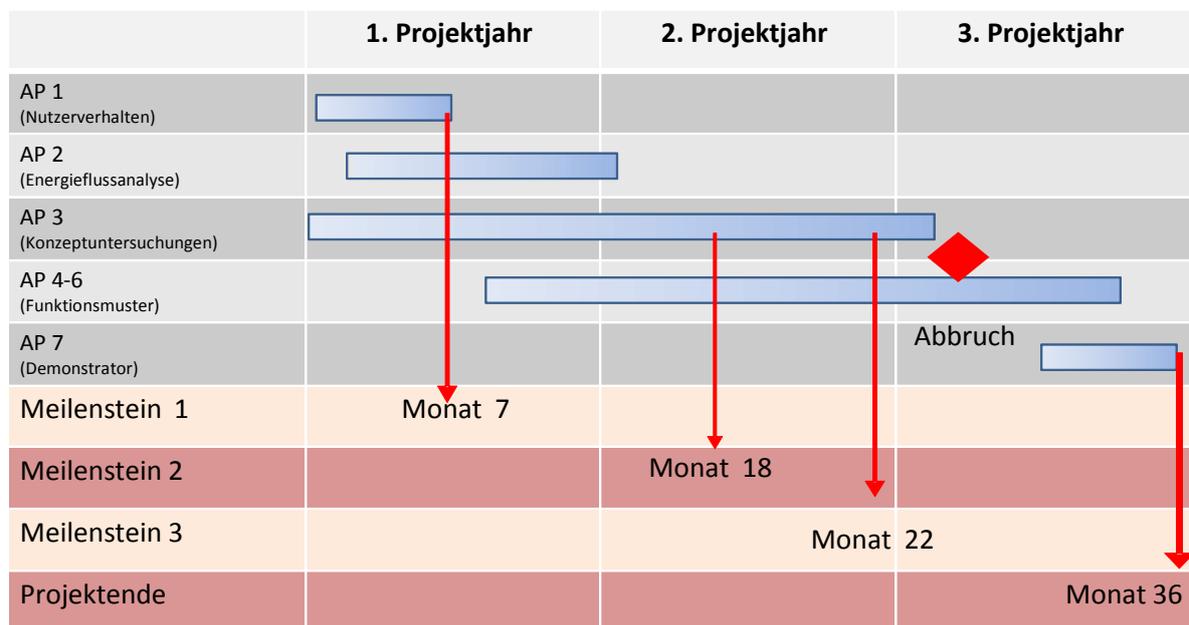


Abbildung 5: Meilensteinplanung des Gesamtvorhabens

In Abbildung 6 ist eine Übersicht der Arbeitspakete aufgeführt, die im Hinblick auf das Gesamtvorhaben mit den Projektpartnern abgestimmt wurden. Die Arbeitsinhalte der einzelnen Arbeitspakete des Teilvorhabens sind in der Teilvorhabensbeschreibung detailliert beschrieben.



Die Rahmenbedingungen für Fahrzeug und Bewertungskriterien wurden in den Arbeitspaketen 100 und 200 festgelegt und im Lastenheft (AP 140) dokumentiert. In AP 220 wurde eine Modellkabine für das definierte Fahrzeug aufgebaut. Mit der Modellkabine wurden Kabinenwärmebilanzen und Simulationsrechnungen für die Ermittlung von Scheibenbeschlag bei Umluftbetrieb berechnet. Anhand der Rechenergebnisse wurden die Anforderungen an die Kabinensensorik festgelegt und optimiert (AP 340, 380). Schließlich wurden die von der Fa. Sitronic gelieferten Funktionsmuster in ein Versuchsfahrzeug eingebaut. Mit diesem Demonstrator wurden Validierungsuntersuchungen für die Simulation (AP 650) und Vergleichsuntersuchungen zur Ermittlung von Beschlagsgrenzen im realen Fahrzeug (AP 720) in einem Klimawindkanal durchgeführt.

## 2.2 Stand der Wissenschaft und Technik

Zur Heizung und Klimatisierung des Innenraums bei Elektrofahrzeugen werden heute fast ausschließlich luft- oder wasserseitige Hochvolt PTCs und Standardkälteanlagen (Kompressionskältemaschine) mit elektrisch angetriebenen Verdichtern eingesetzt.

Ansätze und Untersuchungen zu einem ganzheitlichen thermischen Management von E-Fahrzeugen werden u.a. in [1] beschrieben. Eine Bewertung von Effizienzmaßnahmen findet man in [2]. In [3] findet man eine ausführliche Darstellung zur Simulation von elektrischen Antriebskonzepten für Pkw.

Die Energie zur Klimatisierung muss durch die Fahrzeugbatterie zur Verfügung gestellt werden, wodurch sich z.B. unter Winterbedingungen für ein komfortables Innenraumklima erheblich Reichweiteneinbußen ergeben. Die Innenraumklimatisierung erfolgt wie bei Fahrzeugen mit konventionellen verbrennungsmotorischen Antrieben fast ausschließlich durch temperierte und gegebenenfalls entfeuchtete Luft die durch Ausströmer/Düsen in die Kabine eingeblasen wird.

In Kühlfällen wird zur Reduktion des Energiebedarfs z.T. in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur ein Umluftbetrieb verwendet, d.h. die abgekühlte Luft des Innenraums wird durch Umluftkanäle geführt und mit der frischen Ansaugluft der Umgebung (Frischlufte) gemischt, so dass im Verdampfer der Kälteanlage eine geringere Kälteleistung anfällt und der Leistungsbedarf des Verdichters reduziert wird. Das Verhältnis Frischluft/Umluft kann dabei geregelt werden.

In Heizfällen im Winter wird heute ausschließlich Frischluft verwendet, die in einem Heizungswärmetauscher auf die notwendige Blaslufttemperatur aufgeheizt wird. Umluft wird aufgrund des Beschlagsrisikos an den Scheiben nicht eingesetzt.

Speziell zu Vermeidung des Scheibenbeschlags in Übergangssituation (z. B. Umgebungstemperatur 10 °C mit hoher Luftfeuchte der Frischluft) wird in Heizfällen bei eingeschalteter Kälteanlage die Luft zunächst im Verdampfer weiter abgekühlt und dabei

entfeuchtet und anschließend im Heizungswärmetauscher wieder erwärmt. Zur Regelung dieses Reheat-Betriebs in Heizfällen (siehe Abbildung 3) wird z.T. ein Feuchtesensor im Innenraum verwendet, wobei durch Messung der Scheibentemperatur und der Temperatur und Feuchte der Luft in der Kabine eine Taupunktstemperatur zur Ansteuerung des Verdichters bestimmt werden kann.

Für diese Messaufgabe werden heutzutage in modernem Fahrzeug drahtgebundene Sensorsysteme verwendet. Bei diesen Systemen wird die Temperatur auf der Windschutzscheibe mittels in der Scheibe integrierter oder auf der Scheibe angebrachter Temperatursensoren gemessen und über elektrische Leitungen zur Auswertelektronik übermittelt.

Die Herausforderung der aktuell am Markt verfügbaren Sensoren ist die Platzierung im Spiegelfuß des Fahrzeuges. In dieser Einbauposition im Fuß des Innenspiegels steht nur sehr wenig Verbauvolumen zur Verfügung. Daher gehen Entwicklungen in die Richtung, die Sensorik möglichst klein, aber dennoch so genau und vor allem so schnell wie möglich zu gestalten.

Durch die Messung des Taupunkts kann die Luftfeuchte aus der gleichzeitig gemessenen Temperatur bestimmt werden. Der Taupunkt selbst wird verwendet, wenn im Klimamanagement die Betauung und Feuchtebildung vermieden werden soll. Alle drei Klimawerte, relative Feuchte, Temperatur und Taupunkt werden vom Sensor über eine Busschnittstelle, die je nach Konfiguration von LIN über k-Bus bis zum einfachen PWM-Signal (hier nur Taupunkt) reicht, zur Verfügung gestellt.

In Patenten bzw. Offenlegungsschriften werden Hinweise zur Gestaltung eines Umluftkanals für Winterlastfälle (DE 10 2010 027 272) und Verfahren zur Trocknung der Umluft mit einer Trocknungseinrichtung (DE 10 2009 04 8257) gegeben. Die Lufttrocknung stellt eine Alternative zur Messung der Luftfeuchte im Innenraum bzw. der Taupunktsbestimmung zur Regelung/Steuerung des Umluftanteils dar. Eine Lufttrocknung erfordert jedoch im Allgemeinen einen großen apparativen Aufwand, da die gespeicherte Feuchte aus dem Speichermedium wieder entfernt werden muss bzw. eine Regeneration notwendig ist. In DE 10 2002 03 2516 wird eine Beschlagssensorik zur Messung der Luftfeuchte im Innenraum zur Ansteuerung des Klimakompressors beschrieben.

In DE 10 2007 048 392 wird der Stand der Technik beschrieben und Hinweise zur Anordnung von Sensoren zur Bestimmung der Luftfeuchte gegeben. Prinzipien zur Anordnung des Verdampfers in einem Abluftkanal der Kabinenbelüftungssysteme findet man in DE 10 2009 048674.

Es sind keine Patente bekannt, die einer Verwertung der Arbeitsergebnisse entgegenstehen.

## **3. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse**

### **3.1 Definition des Nutzungsverhaltens und Randbedingungen**

Neben der Definition des Nutzerverhaltens ist das Referenz-Basisfahrzeug zu definieren. Weiterhin sind Klimalastfälle zu definieren, um das Nutzerverhalten bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen berücksichtigen zu können (AP100). Der thermische Komfort der Insassen bei der Vorgabe der benötigten Klimaleistungen für die definierten Lastfälle ist zu prüfen. Schließlich soll das Nutzerverhalten in Form von zusammengesetzten Tagesfahrzyklen abgebildet werden. Über die Tagesfahrzyklen wird der Antriebsbedarf des Basisfahrzeugs bestimmt, die Referenz-Klimalastfälle ergeben die für unterschiedliche Umgebungsbedingungen benötigten Klimatisierungsleistungen. Durch Kombination beider Leistungen kann der Reichweitengewinn durch reduzierte Klimatisierungsleistung sowohl für stationäre Umgebungsbedingungen als auch über das Jahr gemittelte Fahrzyklen bestimmt werden.

#### **3.1.1 Definition von Klimalastfällen**

Für die (rechnerische) Bewertung der zu erforschenden Komponenten und Systeme waren klimabezogene Referenzfälle festzulegen. Anhand dieser Referenzfälle war in Abhängigkeit von spezifischen Antriebsleistungen oder Fahrzyklen eine Bewertung des Einsparpotenzials, bzw. des Reichweitengewinns der zu erforschenden Komponenten und Systeme möglich.

Als Referenz für die Bewertung des Einsparpotenzials für die Fahrzeugklimatisierung wurden stationäre Lastfälle für unterschiedliche Umgebungstemperaturen und Luftfeuchten definiert. Für diese Lastfälle sind die für das definierte Basisfahrzeug elektrisch aufzubringenden Heiz- und Kälteleistungen, die für ein akzeptables thermisches Komfortempfinden der Insassen notwendig sind, in Tabelle 1 aufgeführt.

In Tabelle 1 wird eine erste Abschätzung der erforderlichen, stationären Klimaleistung für unterschiedliche Umgebungsbedingungen gezeigt.

		Reheat							
		Heizen			Kühlen				
Tambient	[°C]	-20	-7	0	7.5	15	22	34	40
Luftmassenstrom	[kg/min]	3.5	3.2	3.0	2.3	2.1	3.0	5.1	6.0
Heiz/Kälteleistung (Luftseitig)	[kW]	4.8	3.2	2.4				2.3	3.2
Reheat Kälteleistung	[kW]	-	-	-	0.2 (0.0)	0.5 (0.2)	1.0 (0.7)	-	-
Reheat Heizleistung	[kW]				1.2 (0.9)	0.8 (0.6)	0.7 (0.4)		
HVAC Lüfter	[W]	60	50	45	30	25	25	75 (110)	100(140)
Umluftanteil (ca.)	[%]							70	70
mittlere Blastemperatur	[°C]	60	51	47	32	24	16	12	9
Kabinentemperatur	[°C]	28	27	26	24	23	22	21	21
Strahlung	[W/m²]	0	0	0	0	300	450	500	1000
rel. Feuchte Umgebung	[%]	85	85	80	70	60	55	30	40

Tabelle 1: Stationäre Klimaleistungen für verschiedene Umgebungsbedingungen

Die Überprüfung der definierten Heizleistungen wurde mit einem Kabinen-Rechenmodell (siehe Abschnitt 3.2) durchgeführt. Die rechnerische Bewertung des globalen thermischen Komfortempfindens der Insassen in einem Basis-Fahrzeugmodell erfolgte unter Berücksichtigung von Wärmeaustauschgrößen (Konvektion, Strahlung und Leitung), Bekleidung und Aktivitätsgrad mit Hilfe eines thermophysiologicalen Mensch-Modells, das einen zusätzlichen Wärme- und Feuchteeintrag in die Kabine verursacht. Das globale thermische Komfortempfinden von Personen wird durch den PMV-Index (Predicted Mean Vote, ISO 7730) beschrieben und ist in Abbildung 8 dargestellt.

						
-3	-2	-1	0	1	2	3
kalt	kühl	leicht kühl	neutral	leicht warm	warm	heiss

Abbildung 8: PMV-Index zur Bewertung des globalen thermischen Komforts (ISO 7730).

Für die in der Tabelle 1 vorgegebenen Klimaleistungen der Referenz-Lastfälle ergab sich für die Passagiere (Fahrzeug mit 4 Personen besetzt) ein rechnerisch bestimmtes globales thermisches Komfortempfinden zwischen leicht kühl und leicht warm (Abbildung 9). Dies entspricht einem globalen mittlerem PMV-Index (PMV = Predicted Mean Vote) von -1 bis +1. Lokale Werte oder Werte der einzelnen Insassen können dabei den definierten Bereich überschreiten. Die Komfortsimulation wurde mit dem in Abschnitt 3.2 beschriebenen Kabinenmodell durchgeführt.

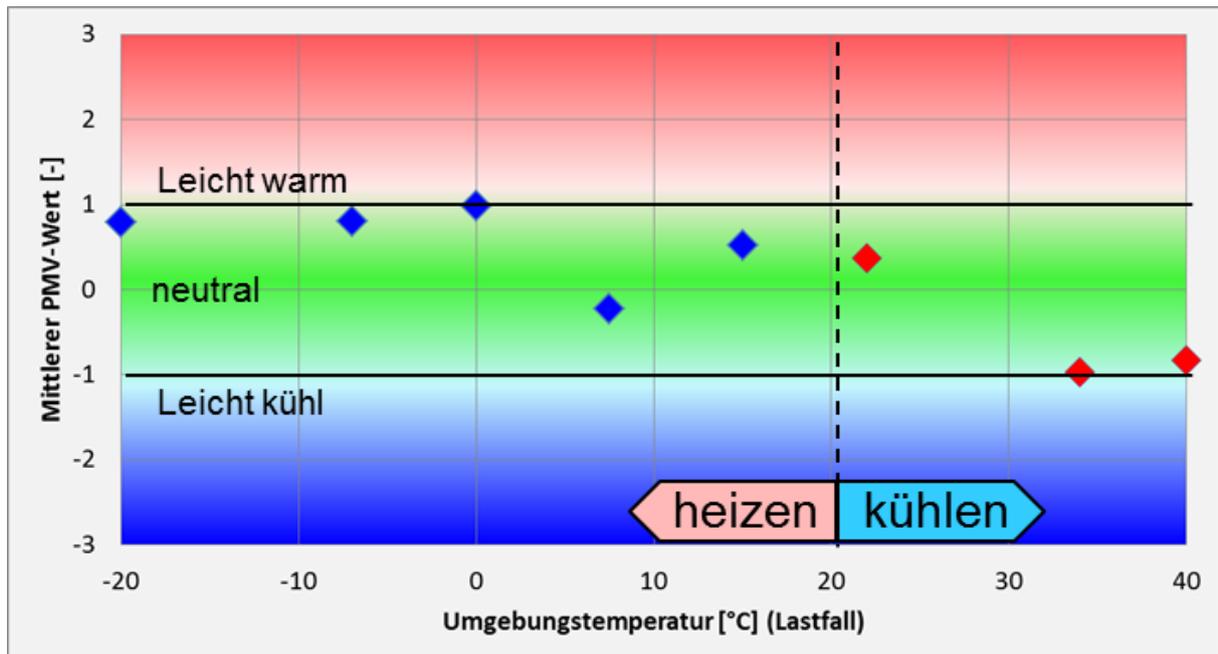


Abbildung 9: Mittlere globale PMV-Werte (Besetzung 4 Personen) für Referenz-Lastfälle.

Da die definierten Heiz- und Kühlleistungen zu einem mittleren globalen thermischen Komfortempfinden führten, das in einer akzeptablen Bandbreite liegt, wurde keine zusätzliche Anpassung der Heiz- und Kälteleistungen durchgeführt.

### 3.1.2 Analyse des Nutzerverhaltens

Für die statistische Bewertung der eingesparten Klimatisierungsenergie, bzw. für die Reichweitenerhöhung des Elektrofahrzeugs über das Jahr waren Referenzfahrzyklen zu erstellen, die das Nutzerverhalten von Fahrzeugbesitzern beschreiben. Dazu war eine Analyse des Nutzerverhaltens von Fahrzeugbesitzern notwendig.

Als wichtige Grundlage für die Analyse des Nutzerverhaltens wurde u.a. die Studie „Mobilität in Deutschland 2008 (MiB 2008)“ [4] verwendet, weitere Informationen finden sich auch in [5] und [6].

Aus der MiB-Studie geht hervor (Abbildung 10), dass pro mobiler Person und Tag eine mittlere Wegstrecke von ca. 44 Kilometern in einer mittleren Zeit von ca. 88 Minuten bewältigt wird, die sich auf eine durchschnittliche Anzahl von 3,8 Wegen verteilt. Personen unter 18 Jahren wurden aus der Zusammenstellung herausgerechnet. In Tabelle 2 sind zum Vergleich die Ergebnisse unterschiedlicher Studien dargestellt.

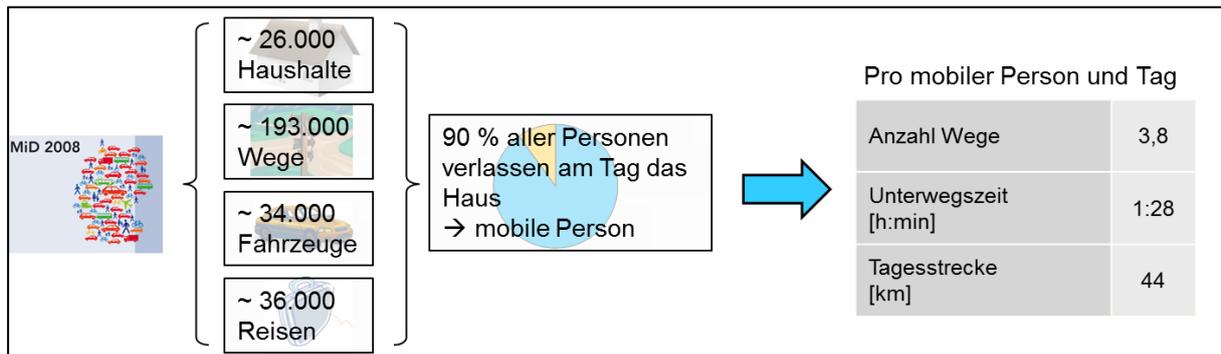


Abbildung 10: Auswertung für Tagesstrecke, Unterwegszeit und Wegeanzahl aus [4].

		KONTIV 1982	MOP 1998	MOP 2002	MOP 2008	MiD 2002	MiD 2008
Anteil mobiler Personen	%	82	91	91	92	85	89
Wege pro Person und Tag	Anzahl	3,0	3,6	3,5	3,4	3,3	3,5
Wege pro mobiler Person und Tag	Anzahl	3,7	3,9	3,8	3,7	3,9	3,9
Tagesstrecke pro Person und Tag	km	31	40	39	40	39	41
Tagesstrecke pro mobiler Person und Tag	km	37	43	42	44	45	46
Unterwegszeit pro Person (ohne rbW)	h:min	1:12	1:21	1:19	1:20	1:20	1:20
Unterwegszeit pro mobiler Pers. (ohne rbW)	h:min	1:27	1:28	1:26	1:27	1:27	1:30
durchschnittliche Wegelänge	km	10,0	11,1	11,0	11,8	11,7	11,8

Tabelle 2: Zentrale Mobilitätskenngrößen – MiD 2008 und 2002, MOP und KONTIV 1982, nur Personen ab zehn Jahren [4].

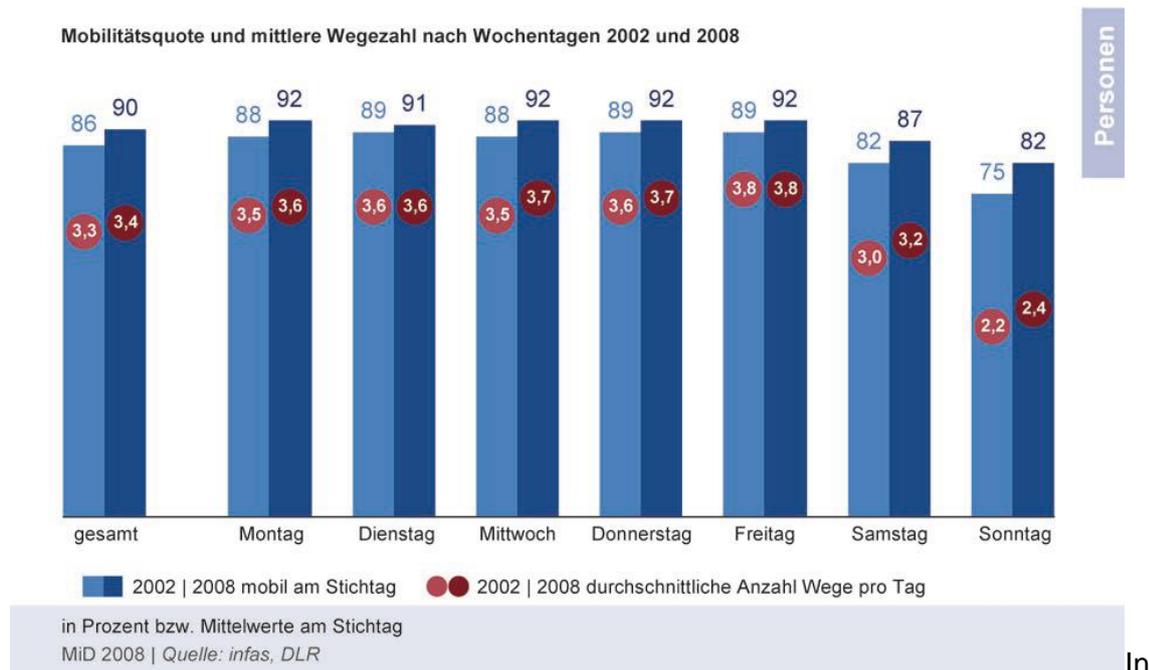


Abbildung 11: Mittlere Anzahl der Wegezahl nach Wochentagen [4].

In Abbildung 11 ist als zusätzliche Information die mittlere Wegezahl über die Wochentage aufgetragen. Auffällig sind die unterschiedlichen Wegezahlen zwischen Wochentagen und Wochenende. Auch Fahrtauern und Fahrtlängen am Wochenende unterscheiden sich von denen an Wochentagen. Als Fazit wird in [4] zusammengefasst: „*Werktage (Montag bis Freitag) zeichnen sich gegenüber den beiden Wochenendtagen durch einen höheren Anteil mobiler Personen und ein höheres Verkehrsaufkommen aus. Wochenendtage sind demgegenüber durch höhere Entfernungen, eine höhere Verkehrsleistung und höhere Wegezeiten charakterisiert.*“

### 3.1.3 Entwicklung von Tagesfahrzyklen für Jahres-Verbrauchsbewertung

Für eine Bewertung des mittleren Verbrauchs über das Jahr wurden daher zwei unterschiedliche Referenz-Tagesfahrzyklen für Wochentage und Wochenende entwickelt. Da die üblicherweise verwendeten Fahrzyklen wie NEFZ, Artemis, NYCC etc. die mittleren Wegstrecke, Fahrzeiten und Anzahl der Fahrten nicht abbilden, wurden repräsentative Referenz-Tagesfahrzyklen für Wochentag und Wochenende vom Projektpartner FKFS auf Basis vorhandener Fahrzyklen zusammengesetzt. Abbildung 12 zeigt beispielhaft die Zusammensetzung des Referenz-Tageszyklus für den Wochentag.

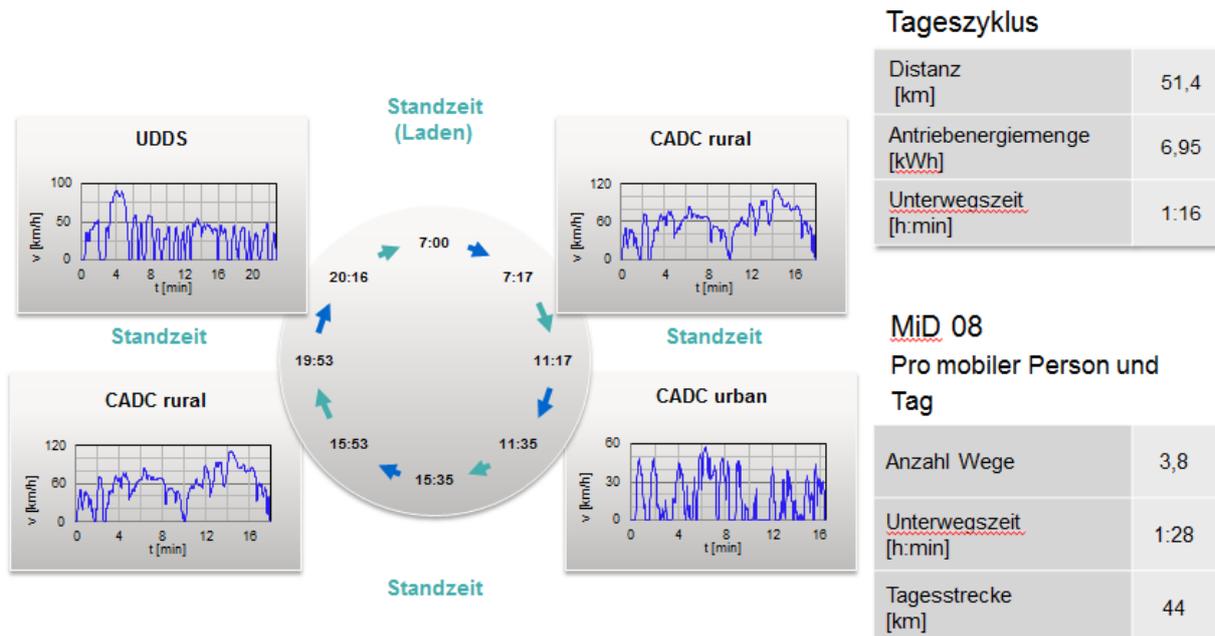


Abbildung 12: Referenz-Tageszyklus für Wochentage.

Für die Berücksichtigung der unterschiedlichen klimatischen Verhältnisse im Verlauf des Jahres wurden die Temperaturklassen der in Abschnitt 3.1.1 definierten Lastfälle (Tabelle 1) verwendet. Mit Hilfe der in [7] dargestellten Klimadaten wurde der Anteil der Tage für die in den Lastfällen definierten Temperaturbereichen als prozentualer Anteil dargestellt. Für die Ermittlung eines mittleren Jahresverbrauches muss der Energiebedarf für die Tageszyklen für jede Temperaturklasse berechnet werden. Eine Analyse unterschiedlicher Fahrzyklen findet man in [8]. Der mittlere Jahres-Energieverbrauch kann durch Multiplikation jeder Temperaturklasse mit deren Häufigkeit bestimmt werden.

### 3.1.4 Lastenheft

Im Rahmen des Teilvorhabens wurde mit den Projektpartnern ein Lastenheft für das Projekt GaTE erstellt, in dem die wichtigsten Systemanforderungen und -beschreibungen, Funktionen, Abhängigkeiten und Randbedingungen beschrieben sind. U.a. finden sich dort auch Informationen zu den stationären Klima-Lastfällen und den Fahrzyklen. Das Lastenheft wurde während der Projektlaufzeit auf Basis der fortschreitenden Ergebnisse laufend aktualisiert.

## 3.2 Analyse der Kabine

Im Arbeitspaket 200 wurden, basierend auf den in AP 100 definierten stationären Lastfällen, die Energieflüsse in Fahrzeug und Kabine detailliert untersucht. Dazu wurden in einem ersten Schritt die wesentlichen Parameter eines Referenzfahrzeugs festgelegt. Anhand der

Kabinenparameter wurde eine Analyse des Wärmehaushalts der Kabine unter Berücksichtigung des thermischen Komforts der Insassen durchgeführt. Diese Sensitivitätsanalyse zeigt die Wirkung passiver (z.B. Isolation, Scheibentransmission) und aktiver Maßnahmen (z.B. Umluftbetrieb) bei den vorgegebenen stationären Lastpunkten auf. Anhand der Ergebnisse dieser Analyse konnten diejenigen Maßnahmen identifiziert werden, die für eine Verringerung der Klimatisierungsenergie der Kabine zielführend sind. Diese zielführenden Maßnahmen wurden detaillierter untersucht.

Zur Bewertung der möglichen Einsparung von Klimatisierungsenergie speziell bei Heizfällen mit Umluftbetrieb wurde das Simulationsverfahren hinsichtlich der Berechnung der Innenraumfeuchte und der Beschlagsneigung an den Scheiben erweitert. Mit Hilfe des Simulationsverfahrens wurden für die definierten Heizlastfälle die Grenzbereiche für die Umluftanteile berechnet, an denen Beschlagsbildung an den vorderen Seitenscheiben und an der Frontscheibe auftritt.

Die Analyse der Energieflüsse im Gesamtfahrzeug für die definierten Referenzzyklen wurde mit Hilfe von 1-D-Programmen vom FKFS durchgeführt und liefert die Energieeinsparung, bzw. den Reichweitengewinn für die unterschiedlichen klimatischen Randbedingungen. Aus den Ergebnissen kann auch die mittlere jährliche Energieeinsparung berechnet werden.

Die Festlegung typischer Fahrzeugkomponenten und Anforderungen an das Thermomanagement wurden unter den Projektpartnern abgestimmt. Daraus ergaben sich Konzepte für eine optimale Kühlkreislaufarchitektur, mit der eine Grobauslegung der Systemkomponenten möglich war.

### **3.2.1 Festlegung der Fahrzeugparameter (Referenz-Basisfahrzeug)**

Für das Referenzfahrzeug wurden typische Werte eines gehobenen Mittelklasse-Fahrzeugs definiert. Die wichtigsten Daten für Antrieb und Kabine sind in Abbildung 13 dargestellt. Weiterhin wurden die Bereiche für Grenztemperaturen definiert, in denen die Komponenten arbeiten sollen.

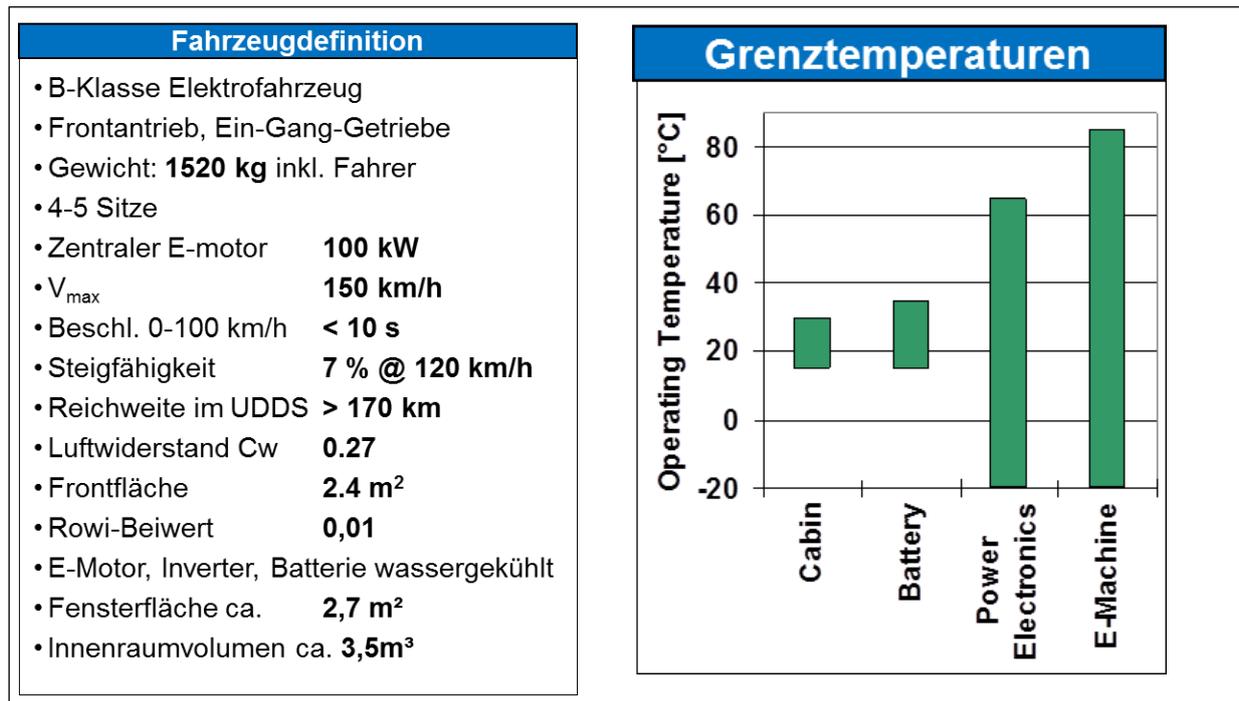


Abbildung 13: Definition von Referenzfahrzeug und Grenztemperaturen

Zur Ermittlung des Leistungsbedarfs für die Fahrzeugklimatisierung sind zusätzliche wesentliche Größen für eine detaillierte Beschreibung der Fahrzeugkabine notwendig. Dazu gehören u.a.

- Innenraumvolumen der Kabine
- Fensterflächen und Scheibenneigung
- Glaseigenschaften (u.a. Transmission, Absorption, Reflexion für Wärme- und sichtbare Strahlung, Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität etc.)
- Isolationswerte der verschiedenen Kabinenteile (Türen, Dach, ...)
- Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Dichte der Kabinenteile und Einbauten
- Strahlungseigenschaften der Bauteile
- .....

Luftmengenverteilung, z.B. in % des Gesamtluftmassenstroms:

Winterfälle: 15/15/20/30/0/20/0

Sommerfälle: 60/40/0/0/0/0/0

(Angabe für Seitendüse/Mitteldüse/Defrostdüse/Fussraum/Fond-Mitteldüse/Fond-Fussraumdüse/Seitendefrostdüse)

### 3.2.2 Analyse Kabine – Aufbau Rechenmodell

Das Rechenetz des 3-D-Kabinenmodells umfasst ca. 10 Mio. Zellen für den Innenraum und die Umschließungsflächen. Abbildung 14 zeigt beispielhaft einen Längsschnitt der Kabine (Kabinenluft) durch Lenkrad und Insassen.

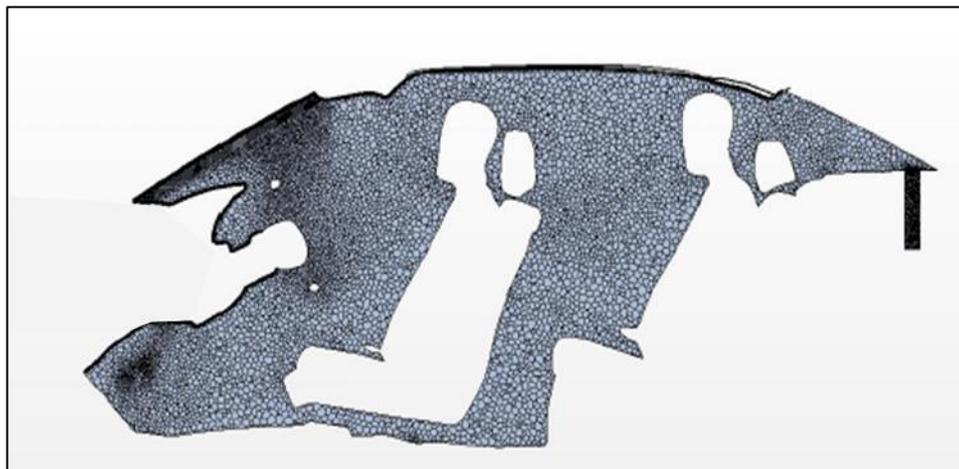


Abbildung 14: 3-D-Modellkabine, Längsschnitt durch Lenkrad und Insassen (Kabinenluft)

Die Umrandungsflächen werden durch einzelne Elemente beschrieben (Abbildung 15; Ansicht von oben), die mit entsprechenden Material- und Stoffdaten für Wärmeleitung, Wärmekapazität, Dichte, Transmission, Reflexion und Absorption versehen sind. Die einzelnen Elemente der Umrandungsflächen sind wiederum in mehreren Zellschichten aufgebaut.

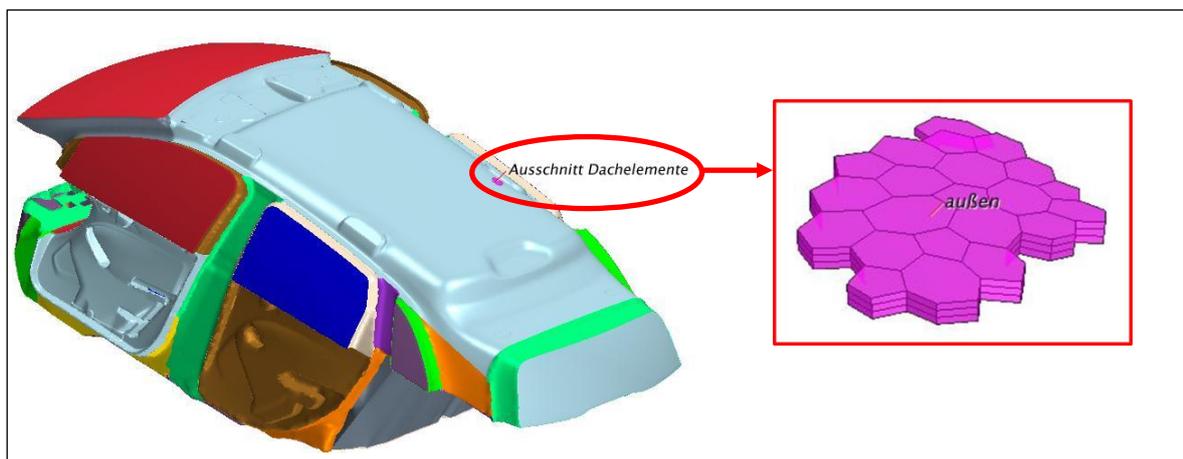


Abbildung 15: Elemente der Umrandungsflächen des 3-D-Rechenmodells

Im Rechenmodell sind die Insassen und Sitze als 3-D-Modell integriert. Die Insassen sind in Segmente unterteilt (Abbildung 16), um den Wärmeaustausch mit der Umgebung und die Feuchteabgabe der Passagiere zu berechnen. Die Unterteilung in Segmente erlaubte die Kopplung mit einem thermophysikalischen Insassenmodell, mit dem der lokale und globale

thermische Komfort der Insassen auf Basis des Wärmeaustausches mit der Umgebung ermittelt werden konnte.

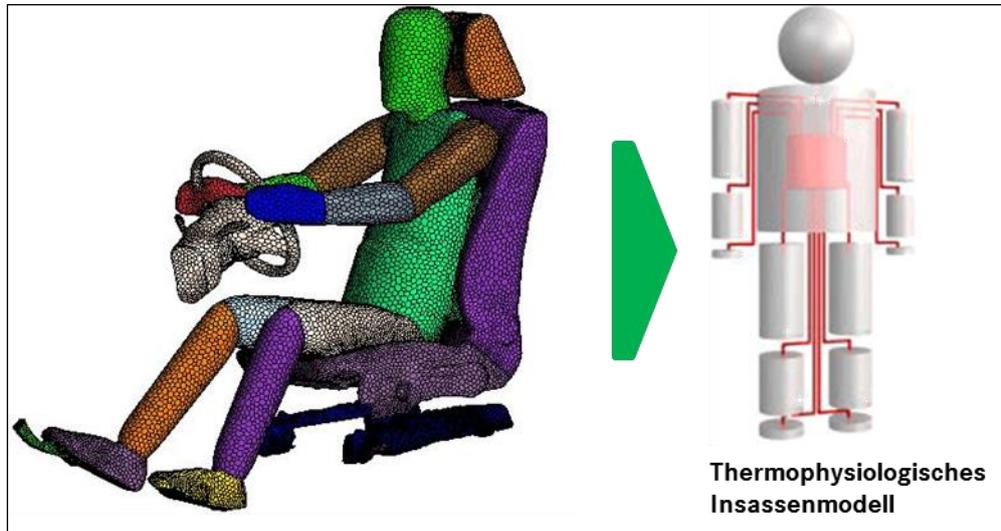


Abbildung 16: Rechenetz für Insassen und Sitze (Beispiel: Fahrer) und Kopplung mit thermophysiolgischem Insassenmodell.

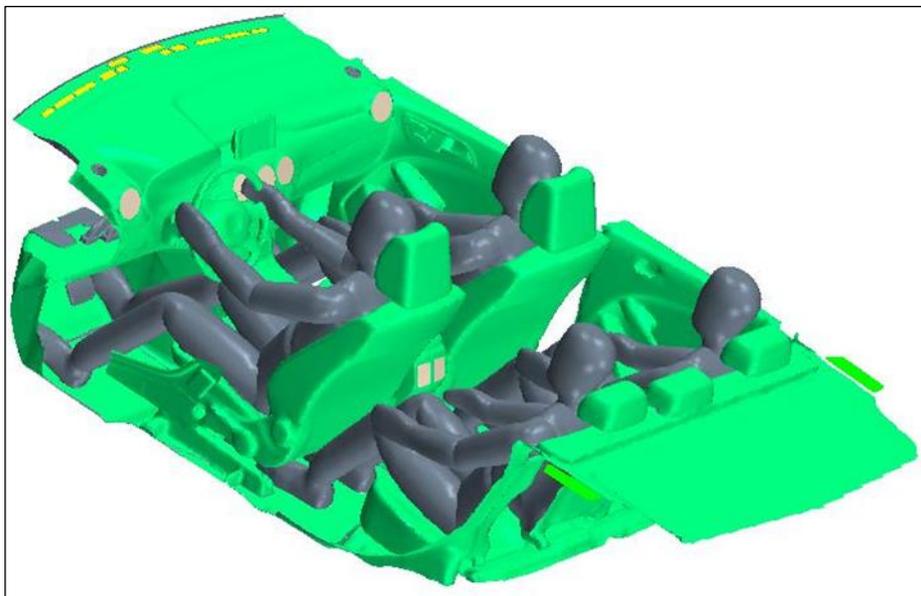


Abbildung 17: Kabinenmodell mit Insassen und Einströmöffnungen.

Abbildung 17 zeigt eine Einsicht in das Kabinenmodell mit Insassen und Einströmöffnungen. Für die rechnerischen Untersuchungen wurden die in der Lastfalltabelle (Abschnitt 3.1.1., Tabelle 1) angegebenen Randbedingungen als Vorgaben in das Gesamtmodell eingesetzt.

Für die Heiz- und Kühlfälle wurden die in Tabelle 3 aufgeführten Luftmassenstromanteile in % des Gesamtluftmassenstroms für die Einströmdüsen festgelegt.

Düsenposition	Heizfall	Kühlfall
Seiten	15	60
Seiten-Defrost	0	0
Defrost	20	0
Mitte vorne	15	40
Fussraum vorne	30	0
Fussraum hinten	20	0
Mitte hinten	0	0

Tabelle 3: Luftmassenstromanteile für Einströmdüsen

Für die Lastfälle wurden der thermische Komfort der Insassen und der Wärmehaushalt der Kabine, d.h. der Wärmeaustausch mit der Umgebung berechnet (siehe Abbildung 9).

### 3.2.3 Analyse Kabine, thermischer Insassenkomfort

Die in der Lastfalltabelle (Abschnitt 3.1.1., Tabelle 1) abgeschätzten Klimaleistungen, Luftmengen und Einblastemperaturen für einen akzeptablen thermischen Komfort der Insassen wurden mit dem 3-D-Simulationsprogramm überprüft. Die abgeschätzten Eingangsgrößen sollten zu einem mittlerem thermischen Komfortindex (PMV) zwischen -1 (leicht kühl) und +1 (leicht warm) führen. Bei einer Fahrzeugbesetzung mit 4 Personen wurde die vorgegebene Bandbreite für den mittleren PMV-Wert eingehalten, bei einer Besetzung mit einer Person (nur für Heizfälle von -20°C bis +15°C) wurde die gesetzte PMV-Grenze bei dem Lastfall 7,5°C unterschritten. Für diesen Fall wurde für die Besetzung mit einer Person die Heizleistung von 0,9 auf 1,2 kW und die Einblastemperatur von 32°C auf 40°C erhöht, der Luftmassenstrom wurde nicht verändert. Die Berechnungsergebnisse für die mittleren PMV-Werte mit der durchgeführten Anpassung sind in Abbildung 18 grafisch dargestellt.

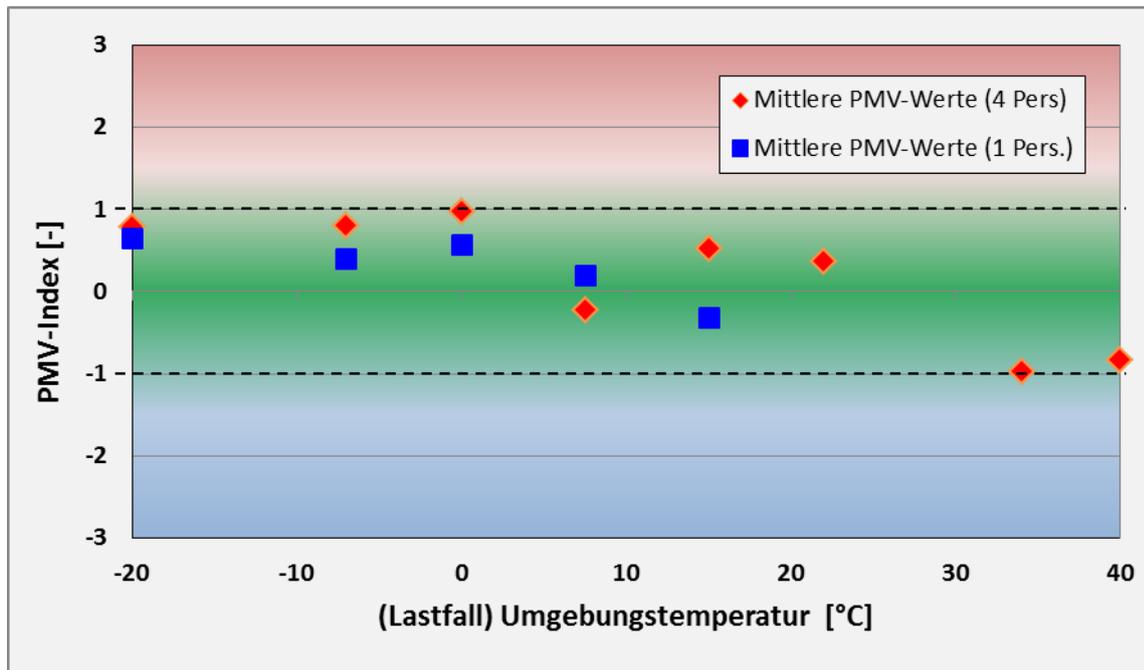


Abbildung 18: Berechnete mittlere PMV-Werte für definierte Klimalastfälle bei einer Fahrzeugbesetzung mit 1 und 4 Personen.

### 3.2.4 Analyse Kabine – Sensitivitätsanalyse Wärmehaushalt Kabine

Zur Ermittlung der Energieverluste der Kabine wurde mit dem Kabinenrechenmodell eine Sensitivitätsanalyse des Wärmehaushalts der Kabine durchgeführt. Mit Hilfe dieser detaillierten Analyse konnten die Energieverluste der Kabine ermittelt werden und die Wirksamkeit unterschiedlicher Maßnahmen wie Umluftbetrieb, Isolation oder Transmission von Scheiben bewertet werden. Das Ergebnis dieser Sensitivitätsanalyse zeigt die maßgeblichen Stellhebel für die Reduzierung der Energieverluste der Kabine auf.

In Abbildung 19 sind die zusammengefassten Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse, bzw. der Kabinen-Wärmebilanz für die Heizfälle dargestellt, der Wärmeeintrag durch 4 Insassen wurde bei der Berechnung berücksichtigt.

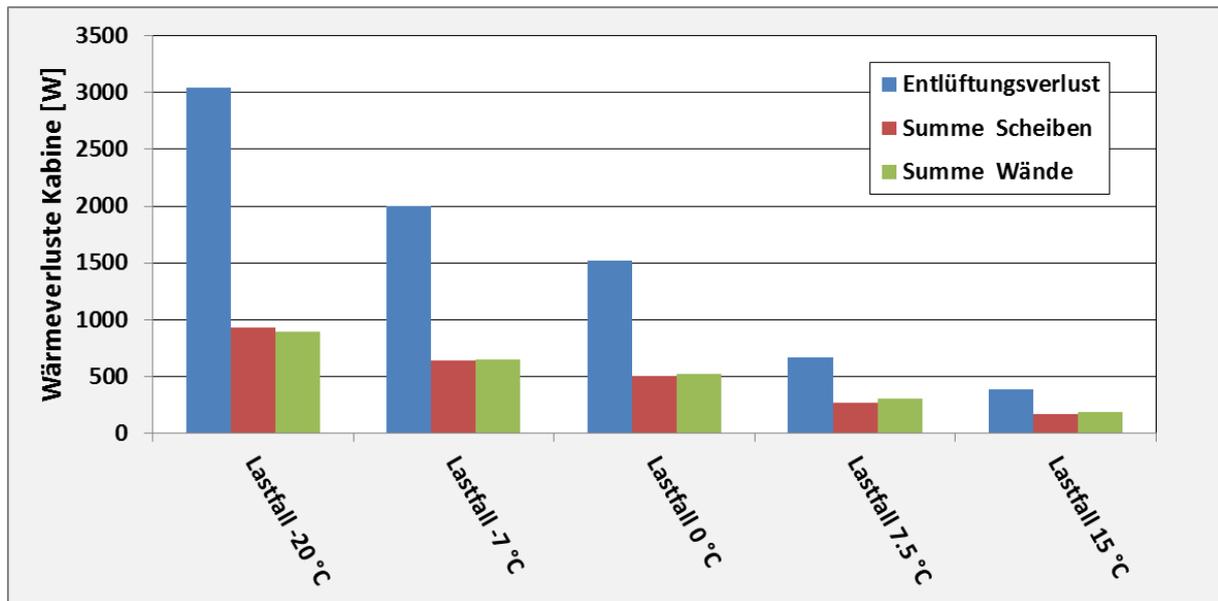


Abbildung 19: Energieverlustanteile der Kabine für Heizfälle

Für die untersuchten Heizfälle sind die Entlüftungsverluste (ca. 60%) deutlich größer als die Verluste über Wände (ca. 20%) und Scheiben (ca. 20%). Durch Isolationsmaßnahmen an den Wänden oder Änderung der Scheibeneigenschaften ergab sich damit gegenüber den Entlüftungsverlusten nur ein geringes Einsparpotenzial. Die Reduzierung der Entlüftungsverluste durch Umluftbetrieb ergab hingegen ein hohes Einsparpotenzial, sofern der Beschlag der Scheiben durch die bei Umluftbetrieb ansteigende Innenraumfeuchte vermieden wird.

Es wurden daher im Weiteren keine detaillierten Untersuchungen für Isolationsmaßnahmen und Scheibeneigenschaften durchgeführt. Schwerpunkt der weiteren Untersuchungen war die detaillierte Betrachtung des Umluftbetriebs und die Ermittlung der maximalen Umluftrate, bei der Scheibenbeschlag einsetzt.

Abbildung 20 zeigt die Kabinen-Wärmebilanz für die Kühlfälle. Speziell für den Lastfall 22°C wird ein Teil der durch Insassen und Solarstrahlung in der Kabine entstehenden Wärme durch die Kabinenabluft und die Konvektion an den Umschließungsflächen aus der Kabine ausgetragen. Die Kälteleistung wurde mit den Werten aus der Lastfalltabelle (Blastemperatur, mittlere Kabinentemperatur und Luftmassenstrom) vorgegeben. Da sich aufgrund der Vorgaben eine Kabinentemperatur von ca. 25°C einstellt, wird speziell für diesen Lastfall Wärme aus der Kabine an die Umgebung (22°C) abgegeben.

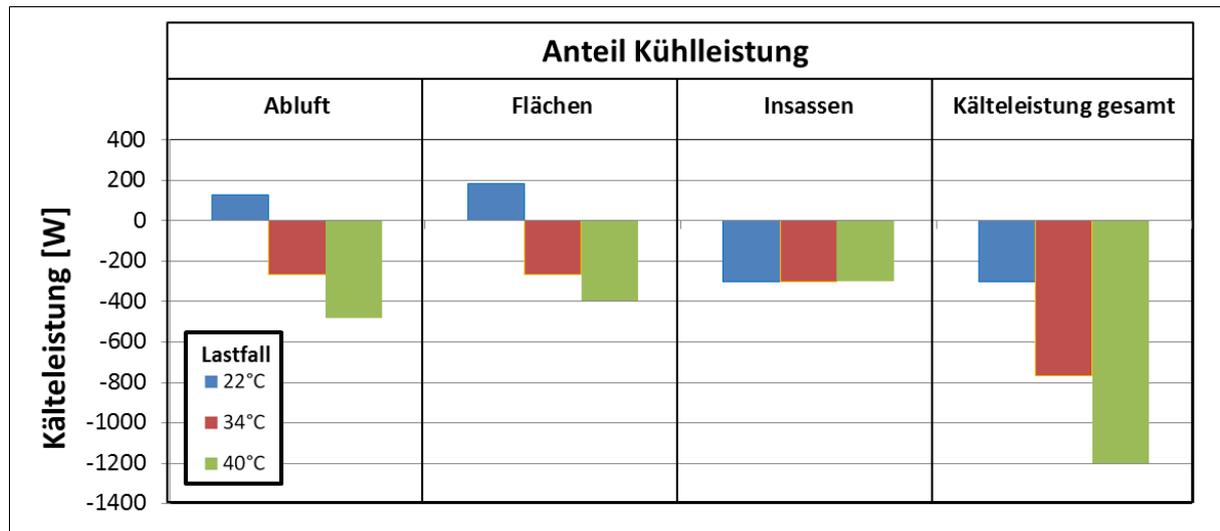


Abbildung 20: Kabinen-Wärmebilanz für Kühlfälle

Bei den Kühl-Lastfällen 34°C und 40°C wurde ein Umluftanteil von 70% angenommen. Bei diesen Lastfällen ist die Kabine kälter als die Umgebung. Die für die Erhaltung eines eingeregelteten Zustandes notwendigen Kühlleistungen für Kabinenluft, Wände und Insassen sind in Abbildung 20 dargestellt. Wegen des mit 70% angenommenen Umluftanteils liegt der Anteil der Kühlleistung für die Kabinenluft etwa in der Größenordnung derjenigen Kühlleistung, die zur Kühlung von Wänden und Scheiben benötigt wird. Ohne diesen Umluftanteil würde sich ein ähnliches Leistungsverhältnis wie bei den Heizfällen einstellen, die Gesamt-Kühlleistung wäre bei reinem Frischluftbetrieb deutlich höher.

### 3.2.5 Umluft & Feuchte

Für die Bewertung des Umluftbetriebs wurde das verwendete Simulationsverfahren um die Berechnung der Innenraumfeuchte und der Beschlagsneigung an den Scheiben erweitert. Der gesamte Wasserdampfeintrag von Insassen in die Kabinenluft wurde mit ca. 70g pro Person und Stunde angenommen. In Vorversuchen wurden verschiedene Arten und Aufteilungen für diesen Wasserdampfeintrag untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass Art und Aufteilung des Feuchteintrags die Beschlagsbildung und damit auch den maximal zulässigen Umluftanteil beeinflussen. Für die rechnerischen Beschlagsuntersuchungen wurde das Modell „Nasenaatmung“ gewählt, bei dem ein großer Anteil des vom Insassen freigesetzten Wasserdampfes über die von der Nase ausgeblasene Atemluft in die Kabine eingetragen wird. Weiterhin wird ein wesentlicher Anteil der Feuchtigkeit von Kopf und Oberkörper abgegeben. Die für die Simulationsrechnungen angenommene Verteilung der Feuchteabgabe über den gesamten Körper ist in Tabelle 4 aufgeführt.

Körpersegment	Wasserdampfeintrag [g/h]
Nase	28.4
Kopf	16.1
Oberkörper	11.2
Arm rechts	2.5
Arm links	2.5
Bein rechts	4.6
Bein links	4.7
<b>Summe</b>	<b>70.0</b>

Tabelle 4: Verteilung der Feuchteabgabe über den Körper

Abbildung 21 zeigt beispielhaft die Verteilung der absoluten Feuchte (in g H<sub>2</sub>O/ kg Luft) in einem Kabinen-Längsschnitt durch den Fahrer für das Modell „Nasenatmung“, Lastfall 7,5°C bei 70% relativer Feuchte der Umgebungsluft. Der Umluftanteil für diese Rechnung beträgt 40%, die Kabine wurde als ideal dicht angenommen. Pro Insassen werden 70g/h Wasser abgegeben, für 4 Insassen ergibt sich damit ein Feuchteeintrag von 280 g/h. Der Feuchteeintrag über Nasenatmung und Kopf ist deutlich zu erkennen.

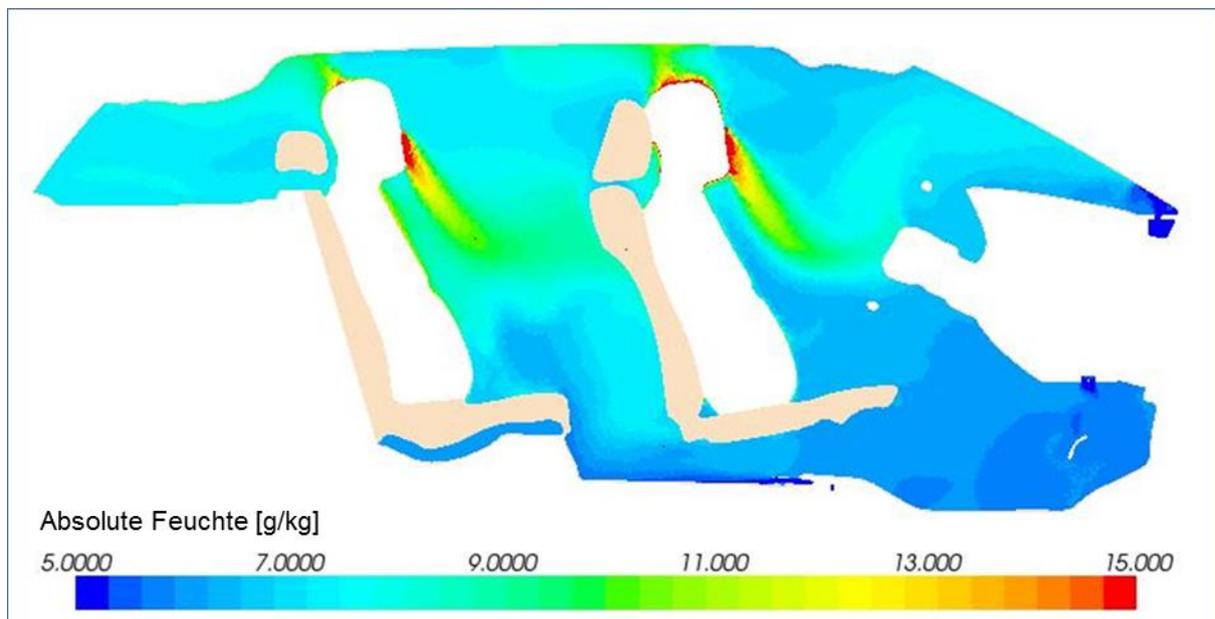


Abbildung 21: Beispiel für die absolute Feuchteverteilung in einem Kabinen-Längsschnitt durch die Fahrermitte für das Modell „Nasenatmung“.

Ergänzend zu Abbildung 21 ist in Abbildung 22 die Verteilung der relativen Feuchte und das Temperaturfeld der Lufttemperatur in der Kabine dargestellt.

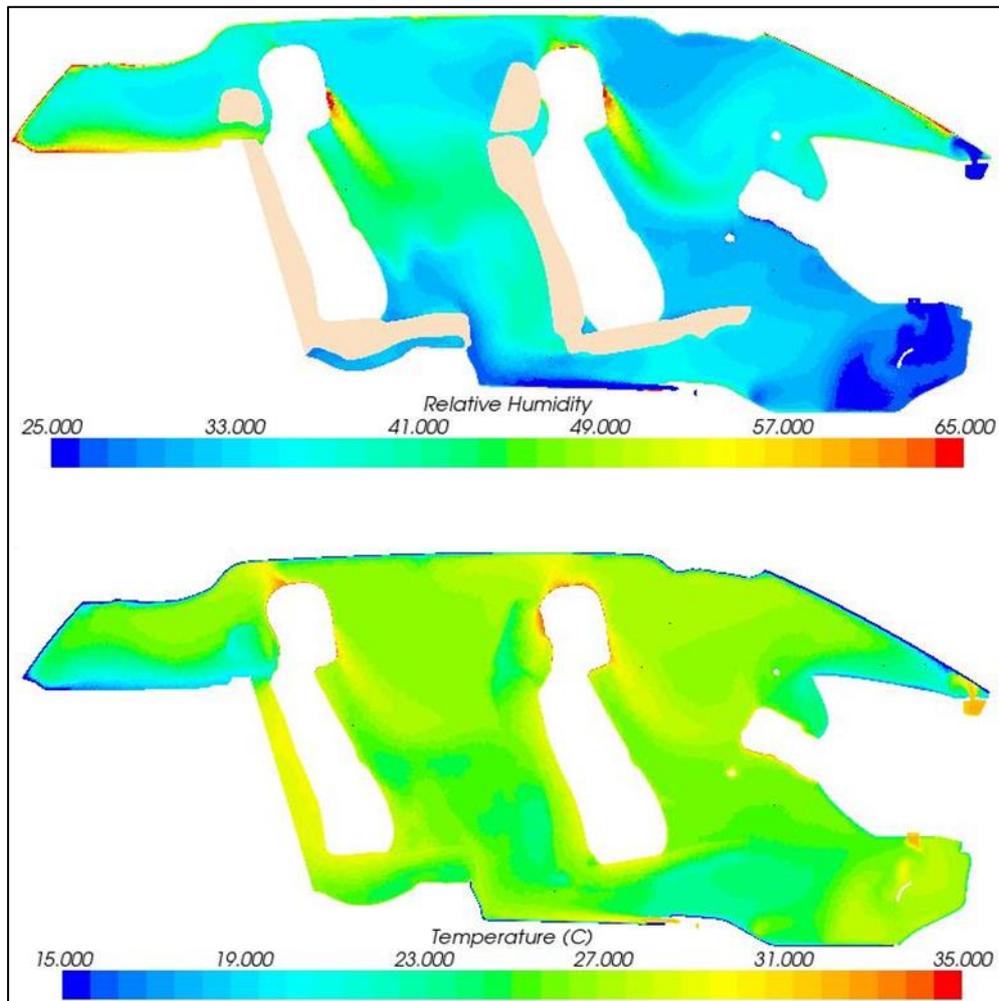


Abbildung 22: Verteilung der relativen Feuchte und der Lufttemperatur in der Kabine.

Für den beispielhaften Lastfall wurden für eine Fahrgeschwindigkeit von 55 km/h die lokalen Scheibentemperaturen berechnet. Aus der lokalen relativen Luftfeuchte und der sich auf der Innenseite der Kabine einstellenden lokalen Scheibentemperatur wurde ein Beschlagsrisiko oder Beschlagsindex berechnet, mit dem die lokale Beschlagsbildung charakterisiert wird. Die relative Luftfeuchte und das Beschlagsrisiko sind für den beispielhaften Lastfall in Abbildung 23 dargestellt. An der fahrerseitigen Seitenscheibe und der Frontscheibe ist lokal eine Luftfeuchte von nahezu 100% zu erkennen. Da die relative Luftfeuchte aber noch knapp unter 100% bleibt setzt hier noch kein Beschlag ein. An den hinteren Seitenscheiben ist die lokale Luftfeuchte an den Scheiben 100% oder darüber und es würde lokaler, bzw. vollflächiger Beschlag an den hinteren Seitenscheiben einsetzen. Der Beschlagsindex ändert sich an diesen Stellen von 0 auf 1 (blau zu rot).

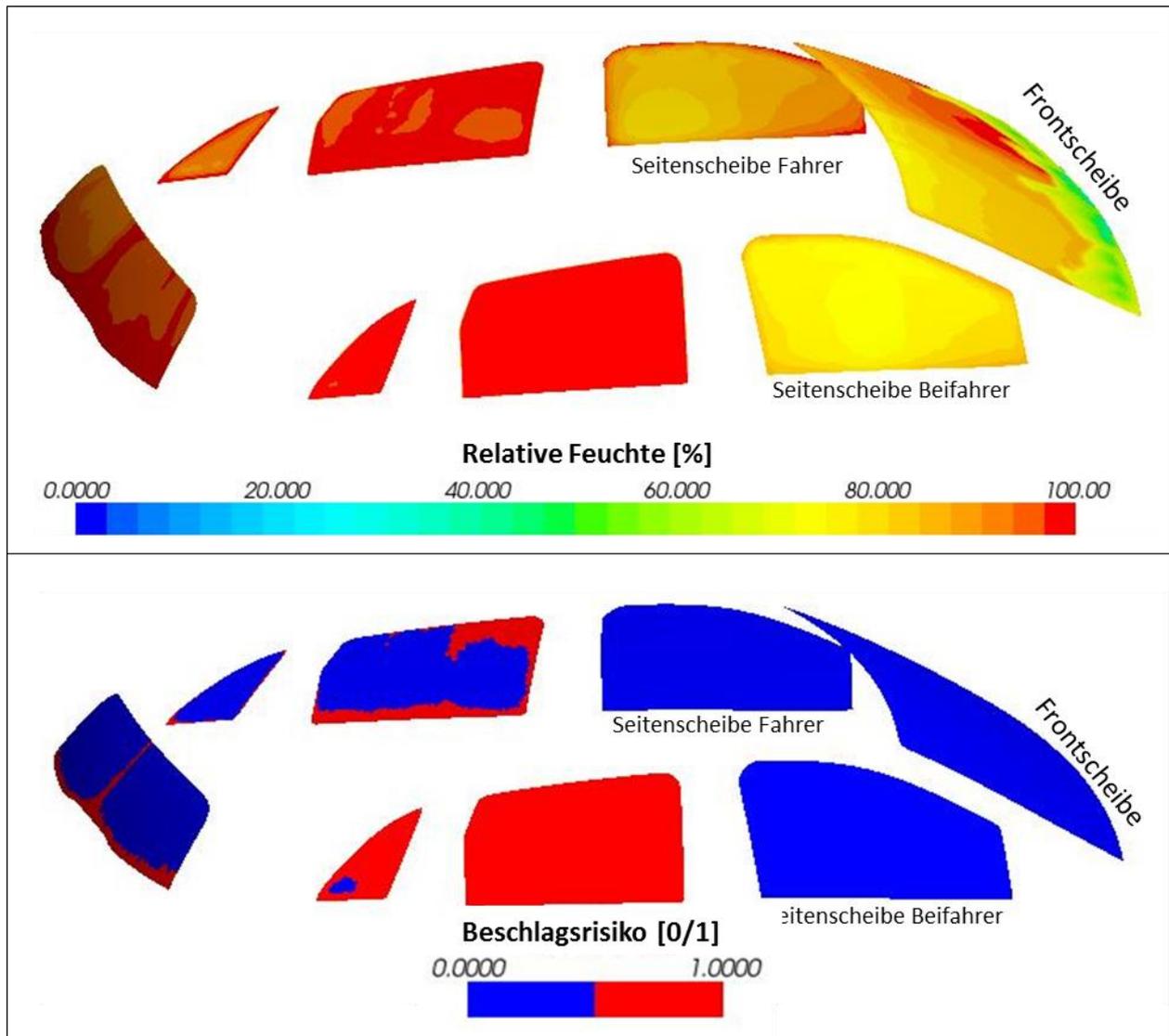


Abbildung 23: Beispielhafte Darstellung der relativen Luftfeuchte und des Beschlagsrisikos an den Kabinenscheiben.

Mit Hilfe des beschriebenen Simulationsverfahrens wurde für die Heiz-Lastfälle der maximal mögliche Umluftanteil bis zum Einsetzen von Scheibenbeschlag bestimmt. Die Ergebnisse für eine Fahrzeugbesetzung mit 1 und 4 Insassen sind in Tabelle 5 zusammengefasst und detailliert im Lastenheft dokumentiert.

Lastfall	Einheit	Heizen				
T-Umgebung	[°C]	-20	-7	0	7.5	15
rel. Feuchte Umgebung	[%]	85	85	80	70	60
Luftmassenstrom	[kg/min]	3.5	3.2	3.0	2.3	2.1
Strahlung	[W/m <sup>2</sup> ]	0	0	0	0	300
<b>Umluftgrenze Simulation</b>						
Beschlagsgrenze Umluft 1 Person	[%]	40	60	70	70	90
Beschlagsgrenze Umluft 4 Personen	[%]	10	25	30	40	65

Tabelle 5: Maximale Umluftanteile bis zum Einsetzen von Scheibenbeschlag

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen sind als vorläufige Abschätzungen zu verstehen. Aufgrund der idealisierten Vorgaben und Randbedingungen für die Simulationsrechnungen können bei real durchgeführten Versuchen Abweichungen auftreten. Ursachen dieser Abweichungen können u.a. sein:

- Feuchteabgabe der Insassen
- Undichtigkeiten der realen Fahrzeugkabine
- Abweichende Körpergrößen, Körperhaltungen und Sitzpositionen der Insassen
- Zusätzliche Versperrungen durch Messinstrumente in der Kabine
- Zusätzlicher Feuchteeintrag z.B. in der Luftansaugung und durch Einbauten
- ...

### 3.2.6 Energieeinsparung durch Umluftbetrieb

Mit den in Tabelle 5 angegebenen Umluftanteilen wurden auf Basis der Lastfalltabelle die Leistungen für die Klimatisierung der Kabine mit Umluft für die Heiz-Lastfälle berechnet (Abbildung 24). Als Referenz wurde die Kabinenheizung mit Frischluft herangezogen. Aus Gründen der Vollständigkeit ist das Maximalpotenzial für 100% Umluft mit aufgeführt, obwohl sich dieser Fall wegen des u.a. auftretenden Scheibenbeschlags nicht realisieren lässt.

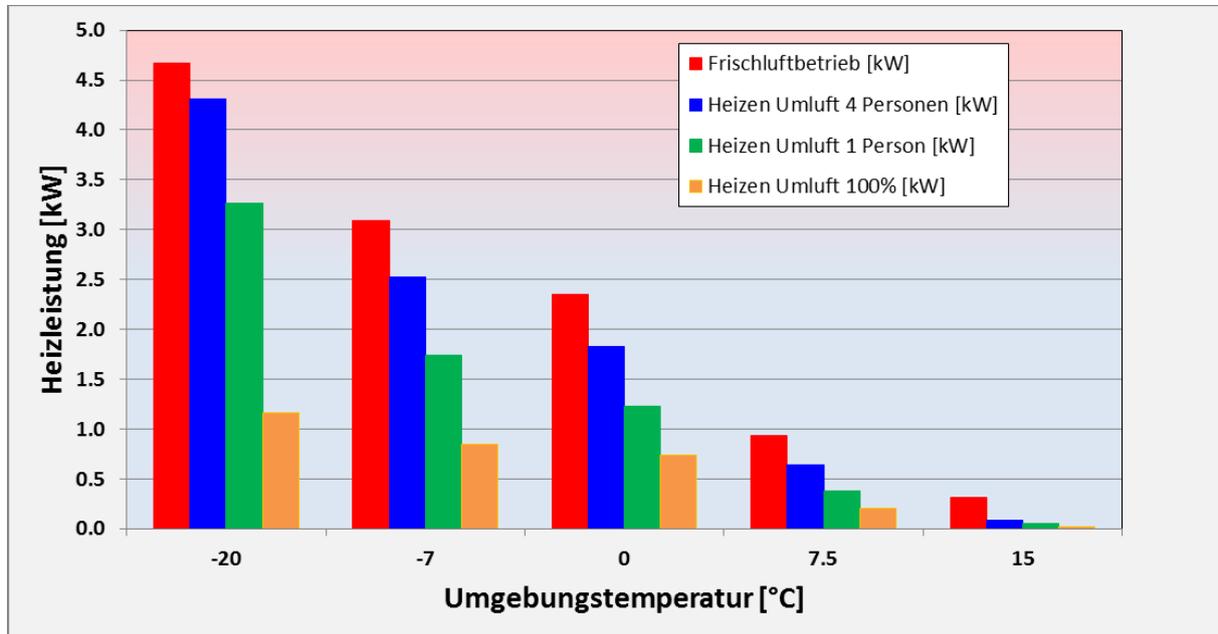


Abbildung 24: Kabinen-Heizleistung für Frischluft- und Umluftbetrieb.

Mit steigender Umgebungstemperatur nimmt die für eine thermisch akzeptable Klimatisierung notwendige absolute Heizleistung ab. Aufgrund der Zusammenhänge zwischen Scheibentemperatur, Luftfeuchte und Lufttemperatur in der Kabine steigt mit ansteigender Umgebungstemperatur der prozentuale Anteil der einsparbaren Heizleistung bei Umluftbetrieb an (Abbildung 25). Bei einer Fahrzeugbesetzung mit einer Person steigt der prozentuale Anteil der einzusparenden Heizleistung von 30% bei  $-20^{\circ}\text{C}$  auf über 80% bei  $15^{\circ}\text{C}$ . Ähnliches gilt bei einer Fahrzeugbesetzung mit 4 Personen, hier steigt der prozentuale Anteil von ca. 8% auf über 70%.

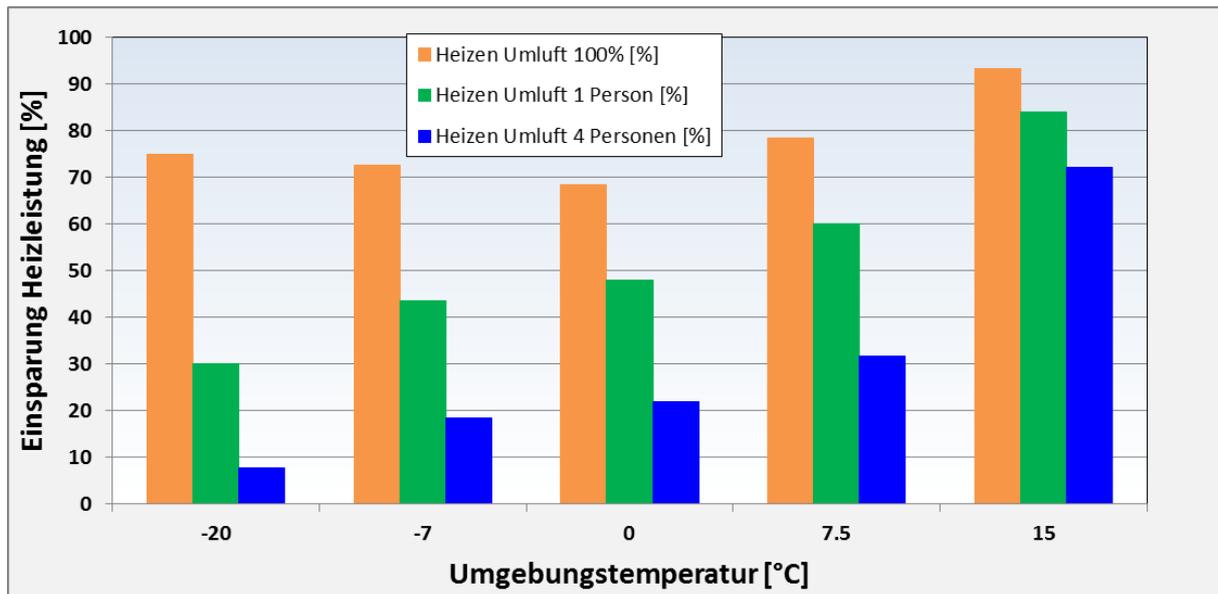


Abbildung 25: Prozentualer Anteil der einsparbaren Heizleistung bei Umluftbetrieb (100% = Frischluftbetrieb)

### 3.2.7 Reichweitengewinn durch Heizleistungseinsparung

Der durch die eingesparte Heizleistung erzielte Reichweitengewinn hängt im Wesentlichen von der Umgebungstemperatur und dem zugrunde gelegten Fahrzyklus ab. Im innerstädtischen Verkehr mit geringen mittleren Geschwindigkeiten und geringen Antriebsleistungen (z.B. NEFZ-Stadtanteil) kann der Reichweitengewinn einen beträchtlichen Anteil annehmen.

Zusätzlich zu der Heizleistungseinsparung durch Umluftbetrieb muss die Einsparung durch den vorgesehenen Wärmepumpenbetrieb berücksichtigt werden.

In Abbildung 26 ist das Einsparpotential im Zusammenspiel mit einer Wärmepumpe dargestellt. Im Temperaturbereich zwischen  $-7^{\circ}\text{C}$  und  $0^{\circ}\text{C}$  wird durch Umluftbetrieb zwischen 10 % und 15 % des elektrischen Leistungsbedarf eingespart bezogen auf einen reinen Frischluftbetrieb ohne Wärmepumpe. In den Lastfällen  $7.5^{\circ}\text{C}$  und  $15^{\circ}\text{C}$  ergibt sich durch Umluftbetrieb im Betrieb mit einem indirekten Wärmepumpensystem bei dem betrachteten reheat-Fall kein Vorteil.

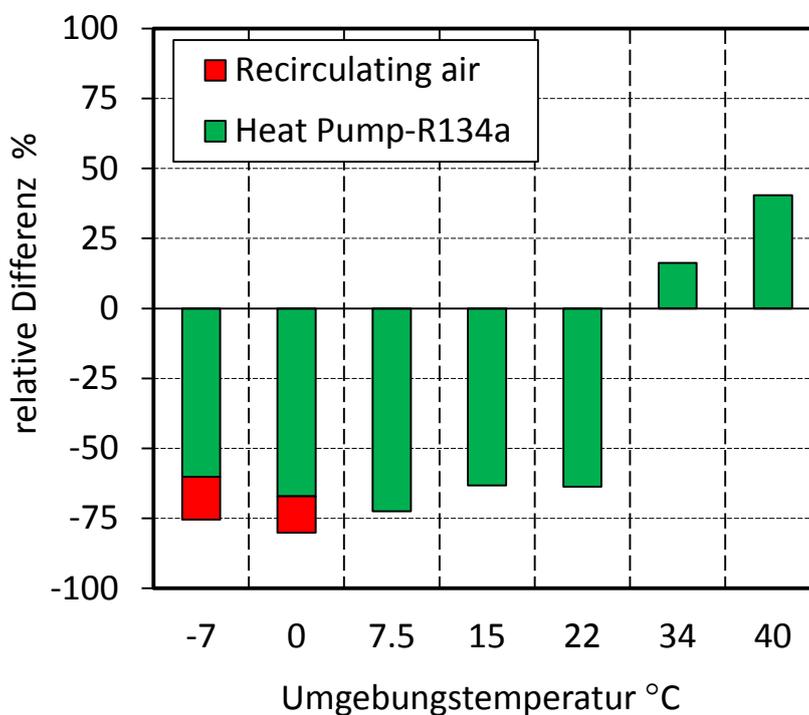


Abbildung 26: Einsparpotenzial der elektrischen Leistungsaufnahme durch Wärmepumpen- und Umluftbetrieb/recirculating air [Quelle FKFS, interner Bericht]

## 3.3 Kabinensensorik

Auf Grundlage der Untersuchungen und Ergebnisse aus dem AP220 wurden für die Kabinensensorik zur Beschlagsdetektion im Fahrzeug Anforderungen festgelegt (AP 340). Die von der Sensorik zu messenden Parameter, Auflösung, Genauigkeit, Übertragungsformat und Verbauort waren zu definieren.

### 3.3.1 Stand der Technik

Eine deutliche Verringerung des Energiebedarfs für die Klimatisierung von Elektrofahrzeugen speziell bei kalten Umgebungsbedingungen kann durch einen optimierten Umluft- und Reheat-Betrieb erzielt werden. Dabei ist sicherzustellen, dass ein Beschlag der Frontscheibe und der vorderen Seitenscheiben vermieden wird.

Üblicherweise ist bei Fahrzeugen, die mit einem Feuchtesensor ausgerüstet sind, der Feuchtesensor und die Messstelle für die Lufttemperatur in der Dachbedieneinheit oder am Fuß des Innenspiegels angeordnet. Die Temperatur der Frontscheibe wird ebenfalls in der Nähe des Innenspiegels berührend gemessen. Aus den Messwerten wird eine lokale Taupunkttemperatur berechnet, unterhalb derer Scheibenbeschlag auftritt. Die lokalen Scheibentemperaturen, örtlichen Luftfeuchten und Lufttemperaturen über der Scheibenfläche sind jedoch sehr unterschiedlich. Aufgrund der Lage der Messstelle für die Scheibentemperatur wird daher nicht die kälteste Stelle der Scheibe detektiert, bzw. repräsentieren die Messwerte nicht die Stelle, an der am ehesten Beschlag an der Scheibe auftritt. Sofern eine automatische Umluftregelung für das Fahrzeug vorgesehen ist muss daher zur Vermeidung von Scheibenbeschlag ein erheblicher Sicherheitsfaktor auf die von der aktuellen Sensorik gemessenen Werte und dem daraus berechneten Taupunkt aufgeschlagen werden, um mit Sicherheit eine Beschlagbildung auf der Scheibe zu vermeiden. Dies führt gegenüber einer optimierten Beschlagsensorik, die lokale hochaufgelöste Messwerte liefern würde, zu einem deutlich höheren Energiebedarf für die Beheizung der Kabine.

Eine entsprechende Sensorik für die vorderen beweglichen Seitenscheiben ist bisher nicht vorhanden.

### 3.3.2 Anforderungen an zukünftige Sensorsysteme

Eine zukünftige optimierte Beschlagsensorik sollte daher die Scheibentemperaturen der Frontscheibe und der vorderen Seitenscheiben örtlich möglichst hochaufgelöst mit einer hohen Genauigkeit wiedergeben (IR- oder optische Kamera, IR-Sensorik). Wünschenswert wäre zudem eine sehr schnelle örtlich aufgelöste Erfassung von Lufttemperatur und Luftfeuchte in der Nähe der Scheiben über die gesamte Scheibenfläche anstelle der Einzelmessstellen in Dachbedieneinheit oder Spiegelfuß. Aus diesen Messwerten können

örtliche Taupunkttemperaturen errechnet werden, aus denen sich eine lokale Beschlagsentstehung an den Scheiben ableiten lässt.

Alternativ wäre eine optische Beschlagsdetektion an Front- und vorderen Seitenscheiben denkbar. Dies könnte z.B. mit Hilfe eines Kamerasystems geschehen, mit dem Streulicht bei auftretendem Beschlag detektiert wird.

Sofern die oben genannten Verfahren zur flächenhaften Detektion von Beschlag technisch aktuell (noch) nicht umsetzbar sind, muss die aktuell vorhandene Beschlagsensorik derart erweitert werden, dass eine möglichst genaue Ermittlung der niedrigsten Scheibentemperaturen möglich wird. Dabei muss auch die Lufttemperatur und Luftfeuchte an den Scheiben möglichst genau bestimmt werden. Es sollten daher zusätzliche Messstellen zur Erfassung von Scheibentemperaturen an Front- und vorderen Seitenscheiben aufgebracht werden. Diese zusätzlichen Messstellen dürfen die Sicht durch die Scheiben nicht beeinträchtigen und müssen an Stellen angebracht werden, an denen eine möglichst niedrigste Scheibentemperatur detektiert werden kann. Wie aus Berechnungsergebnissen zu ersehen ist bieten sich als Lage dieser zusätzlichen Messstellen zur Bestimmung der niedrigsten Scheibentemperaturen die Randbereiche der Scheiben (Siebdruckbereiche) an (Abbildung 27), Verbauorte für die Mustersensoren sind rot markiert. Zusätzliche schnell reagierende Messstellen für Lufttemperatur und Luftfeuchte sollten sich an den Defrost-Lufteinlässen befinden, durch die die Luft an die Front- und vorderen Seitenscheiben eingebracht wird.

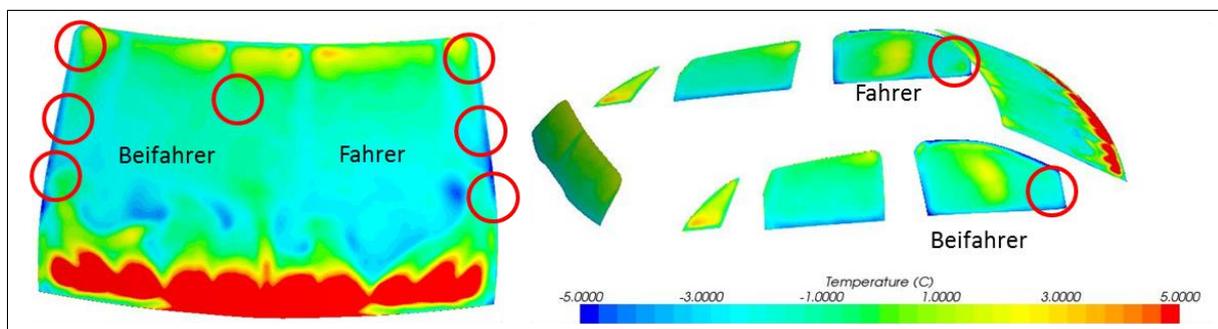


Abbildung 27: Scheibentemperaturen und Verbauorte für Mustersensoren (Lastfall -7°C)

Mit Hilfe der zusätzlichen Messstellen muss eine genauere Ermittlung der Taupunkttemperaturen an den Scheiben als bisher möglich werden. Dies kann auch durch Korrelation der Messstellen untereinander geschehen. Der anfangs erwähnte Sicherheitsfaktor zur Vermeidung von Scheibenbeschlag muss damit stark reduziert werden können.

### **3.3.3 Auflösung und Genauigkeit der Beschlagssensorik**

Detaillierte Angaben zu Untersuchungen für die flächenhafte Temperaturermittlung der Scheibentemperaturen und zur Beschreibung der optimierten Beschlagssensorik wurde mit der Fa. Sitronic abgestimmt. An dieser Stelle werden die Genauigkeitsanforderungen an die Beschlagssensorik nur kurz aufgeführt.

Die von der Sensorik ermittelte Taupunkttemperatur soll im Bereich von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $+30^{\circ}\text{C}$  bei Kabinenlufttemperaturen im Bereich von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $30^{\circ}\text{C}$  und relativen Luftfeuchten von 0 bis 100% eine Genauigkeit von  $\pm 1\text{K}$  aufweisen.

Ziel ist es, die gemessene Scheibentemperatur im Bereich von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $+40^{\circ}\text{C}$  mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,5\text{K}$  gemessen werden. In diesem Bereich sollte eine Ungenauigkeit von  $\pm 1\text{K}$  nicht überschritten werden.

Die Lufttemperatur im Innenraum soll über einen Bereich von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $+40^{\circ}\text{C}$  mit einer Genauigkeit von  $\pm 1\text{K}$  erfasst werden.

Außerhalb der genannten Bereiche sind größere Messungenauigkeiten zulässig. Als Datenübertragung zwischen Sensorsystem und Steuergerät, bzw. Messwerterfassung wird ein LIN 2.1 – Bus festgelegt, auf dem Daten gesendet und empfangen werden.

### 3.3.4 Validierung der Funktionsmuster vs. Simulation

Für den Funktionsnachweis der von der Fa. sitronic bereitgestellten Funktionsmuster der Beschlagssensorik wurden die Muster an den in Abbildung 28 dargestellten Positionen in ein Versuchsfahrzeug eingebaut. Das Versuchsfahrzeug ist mit einer Vielzahl von zusätzlichen Temperatur- und Feuchtesensoren ausgerüstet, die im Kabineninnenraum, an den Scheiben und im Klimakasten eingebaut sind. Über das Messwerterfassungssystem können u.a. die Klappen im Klimakasten und das Gebläse manuell angesteuert und eingestellt werden.

### 3.3.5 Funktionstest der Beschlagssensorik

Für den Funktionstest und die Validierungsmessungen wurden die Beschlagssensoren an den in Abschnitt 3.2.3. beschriebenen Positionen in das Fahrzeug eingebaut und an die Messanlage angeschlossen. Abbildung 28 zeigt die Position und die Nummerierung der im Fahrzeug verbauten Beschlagssensoren. In der Fotografie der Frontscheibe sind die zusätzlichen 25 Temperatursensoren zur Erfassung der Scheibentemperatur auf der Beifahrerseite zu erkennen.

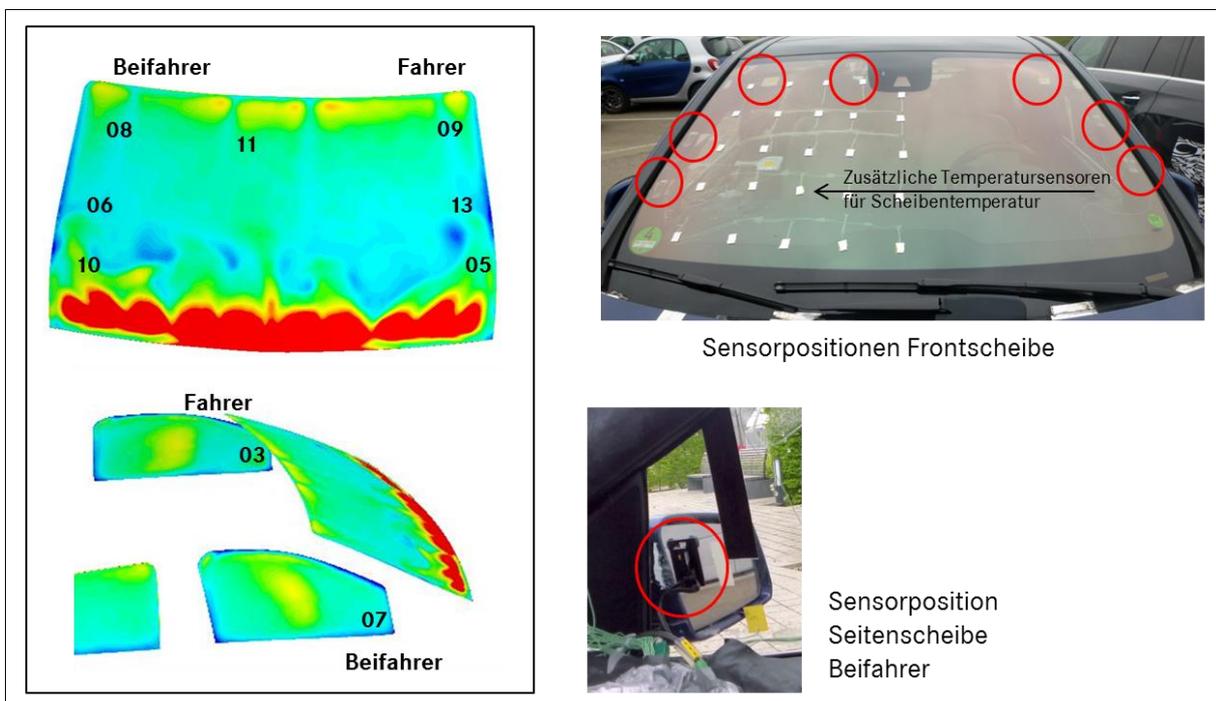


Abbildung 28: Sensorposition und Nummerierung der im Fahrzeug verbauten Mustersensoren

Die Funktionstests wurden wiederholt in einer Klimakammer bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt. Die Messwerte der Sensoren wurden dabei problemlos von der

Messanlage empfangen und verarbeitet. Die Befestigung der Sensoren musste jedoch mehrfach nachgebessert werden, da sich die Sensoren durch das Andruckmoment des Scheibentempersensors lockerten. Erweiterte Funktionstests fanden zusammen mit Validierungsmessungen in einem Klimawindkanal statt und werden später beschrieben.

### 3.3.6 Erweiterte Funktionstests und Validierungsmessungen

Für die erweiterten Funktionstests und für die Validierungsmessungen zum Vergleich mit den Ergebnissen des angepassten Simulationsmodells wurden Messungen ohne Insassen in einem Klimawindkanal für den Lastfall 0°C und einer Fahrgeschwindigkeit von 55km/h durchgeführt (AP650). Die erste Messung fand ohne Feuchtezugabe in die Kabine statt, bei der zweiten Messung wurde in die Kabine eine definierte Feuchtemenge von ca. 120g Wasserdampf pro Stunde über einen Dampfgenerator eingebracht. Dies entspricht einer Besetzung der Kabine mit 2 Personen, da pro Person ca. 60-70g/h Wasserdampf in die Kabine eingetragen wird.

Für die erweiterten Funktionstests der Beschlagsensorik ist in Abbildung 29 beispielhaft der zeitliche Verlauf der Beschlagsindices (Beschlagsindex BI = Scheibentemperatur-Taupunkttemperatur) aufgetragen. Wenn der Beschlagsindex einen Wert von 0 oder kleiner erreicht, würde sich Beschlag an den Scheiben bilden. In diesem Funktionstest liegen die Beschlagsindices über diesem Grenzwert, es trat zu keinem Zeitpunkt sichtbarer Beschlag an den Scheiben auf. Der Sensor an der Fahrer-Seitenscheibe (gelbe Linie) bleibt nur geringfügig über 0, es wurde aber kein sichtbarer Beschlag detektiert.

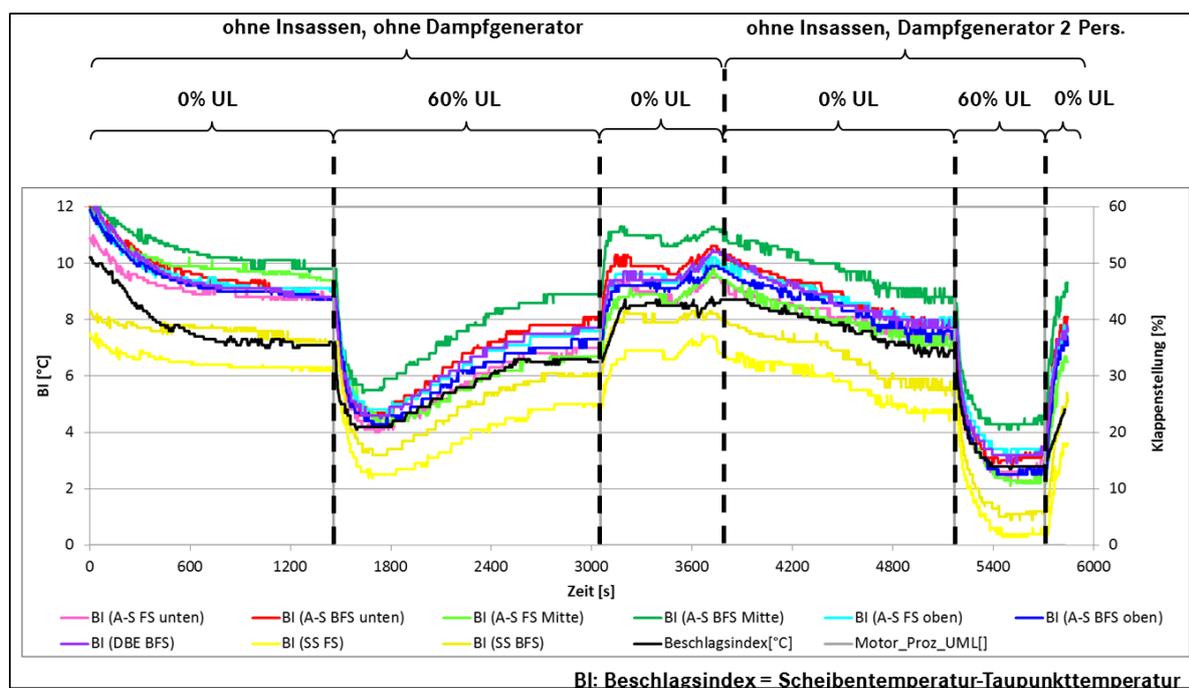


Abbildung 29: Beschlagsindex der Mustersensoren bei erweitertem Funktionstest (0°C)

Die Positionen der Sensoren werden mit FS für Fahrerseite und BFS für Beifahrerseite beschrieben, die Lage mit unten, Mitte, oben. Die Sensoren an den Seitenscheiben sind analog mit SS (Seitenscheibe) bezeichnet. DBE BFS beschreibt den Referenzsensor nahe der Dachbedieneinheit auf der Beifahrerseite.

Für die Validierung des Simulationsmodells wurde das Modell mit den nachstehend aufgeführten lokalen Messdaten bei den sich in der Kabine einstellenden stationären Zuständen (ca. 1500s) bedatet:

- Gesamtluftmassenstrom
- Individuelle Blastemperatur an jeder Düse
- Absoluter Wasserdampfgehalt am Düseneintritt
- Luftmassenstromverteilung aus Stellung der Zentral-Kinematik in der Messung

Abbildung 30 zeigt den absoluten Wasserdampfgehalt, der von den zusätzlichen Feuchtesensoren im Klimakasten und in der Kabine aufgenommen wurde.

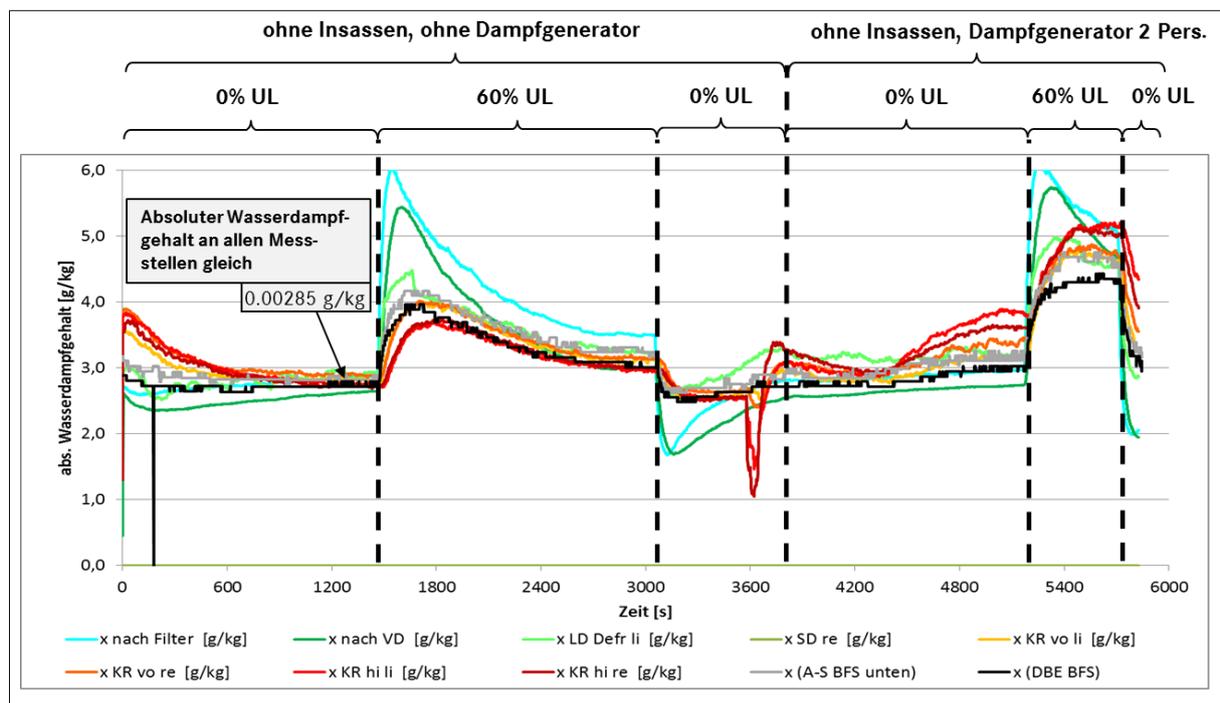


Abbildung 30: absoluter Wasserdampfgehalt in Klimakasten und Kabine

Am Ende der Vorkonditionierung (ca. 1500s) zeigen alle Sensoren die gleiche absolute Feuchte an. Damit ist davon auszugehen, dass sich bei reinem Frischluftbetrieb ohne zusätzlich Wasserdampfzugabe in der Kabine eine homogene absolute Feuchteverteilung (2,85g/kg) einstellt. Diese Verteilung dient als Vorgabe für den Vergleich mit dem Simulationsmodell.

Trotz der Vielzahl von zusätzlichen Messstellen als Vorgabe für das Simulationsmodell können verschiedene Einflüsse nicht quantifiziert werden. Dazu gehören u.a.

- Bei Rechnungen wird eine ideal dichte Kabine angenommen, reale Kabine weist Undichtigkeiten auf (Luftaustausch mit Umgebung).
- Bei Rechnungen wird Klimakasten und Gebläse-Filtertrakt nicht modelliert.
- ...

Diese nicht quantifizierbaren Einflüsse können zu Abweichungen zwischen Messungen sowie optischen Beobachtungen am realen Fahrzeug und den Ergebnissen der Simulationsrechnungen führen.

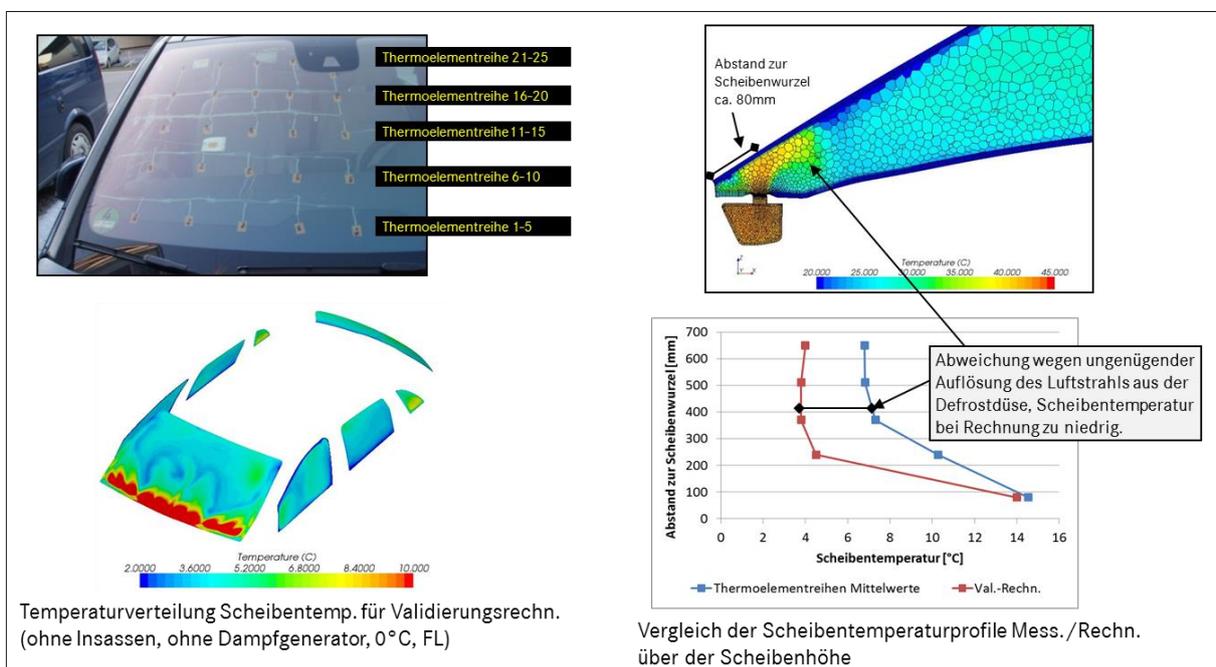


Abbildung 31: Vergleich berechneter und gemessener Scheibentemperaturen und Modellanalyse

Der Vergleich von Messungen mit den Ergebnissen der Simulationsrechnung ergab, dass bei den Simulationen die kabinenseitigen Scheibentemperaturen über der Höhe der Scheibe zu kalt berechnet werden (Abbildung 31). Die Ursache dieses Effektes wurde, trotz einer Zellenanzahl von ca. 10 Mio., mit einer noch zu groben lokalen Auflösung des Modells an den Scheiben identifiziert. Durch diese noch zu grobe Auflösung an der Frontscheibe wird der Transport der von den Defrostdüsen an die Scheibe geblasenen Warmluft nicht genau genug wiedergegeben. Dadurch wird die Frontscheibentemperatur über der Scheibenhöhe um ca. 4K kälter berechnet gegenüber den Versuchsergebnissen (Abbildung 31, Diagramm rechts unten).

Es ist daher davon auszugehen, dass bei den Versuchen eine höhere Umluftrate bis zum Einsetzen von Scheibenbeschlag eingestellt werden kann als die durch die vorhergehende Simulation ermittelte maximal erlaubte Umluftrate (Kapitel 3.2.5, Tabelle 5).

### 3.3.7 Untersuchungen Beschlagssensorik im Demonstrator-Fahrzeug

Mit den Beschlagssensoren der Fa. sitronic wurden umfangreiche Untersuchungen für die definierten Lastfälle im Klimakanal bei definierten thermischen Randbedingungen durchgeführt (AP700 Demonstrator).

Hierbei sollte eine Überprüfung der Funktionsmuster unter realistischen Situationen erfolgen und Aussagen zur Beschlagsbildung abgeleitet werden.

In Abbildung 32 ist als Beispiel der Beschlag an der Frontscheibe für den Lastfall 7.5 °C und 2 Personen mit einem zusätzlichen Dampfgenerator im Innenraum dargestellt. Deutlich ist der Scheibenbeschlag auf der Scheibe zu erkennen.

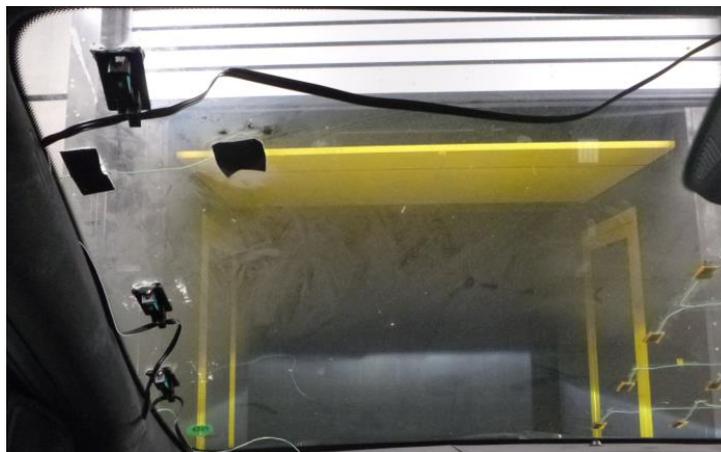


Abbildung 32: Beschlagsbildung an der Frontscheibe

In ausführlichen Messreihen wurde der Beschlagsindex an den verschiedenen Positionen ermittelt. In Abbildung 33 ist ein typischer Messschrieb dargestellt, wobei die Umluftrate während der Messungen variiert wurde. Kritische Umluftraten mit Beschlagsbildungen wurde dabei entsprechend aufgezeichnet.

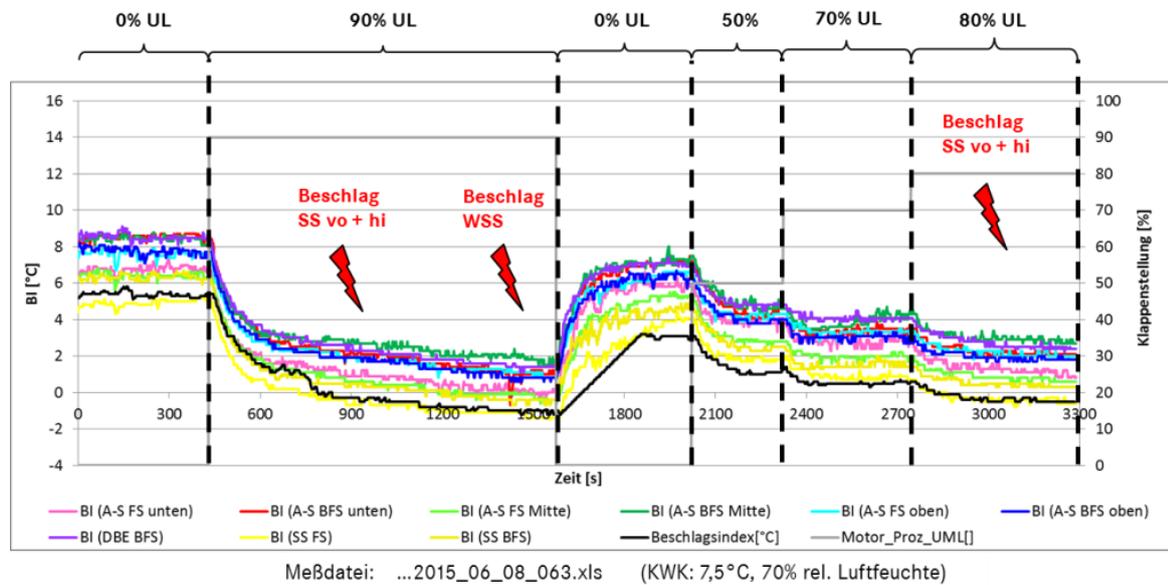


Abbildung 33: Beschlagsindex für unterschiedliche Umluftraten und Sensorpositionen

Das Ergebnis der Messungen mit der verbesserten Beschlagssensorik (Funktionsmuster der Fa. sitronic) kann folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Die Funktionsmuster liefern für die untersuchten UL-Klappenpositionen und Lastfälle eine zuverlässige Vorhersage des Scheibenbeschlags
- 
- An den Seitenscheiben (Lastfall 7.5 °C) bildet sich zuerst Beschlag, der von den angebrachten sitronic-Sensoren (gelbe Kurven) korrekt erkannt wird

Der Funktionsnachweis der verbesserten Sensoren in einer Fahrzeugkabine konnte damit erbracht werden.

## 4. Verwertung der Ergebnisse

Elektromobilität ist ein wesentlicher Bestandteil um den zukünftigen Anforderungen an die individuelle Mobilität zu begegnen. Ein großer Vorteil liegt hier vor allem in der lokalen Emissionsfreiheit, d.h. der Motor eines Elektroautos emittiert im Fahrbetrieb weder CO<sub>2</sub> noch andere Schadstoffe. Wird der genutzte Strom aus regenerativen Energiequellen – z.B. aus Wind- oder Wasserkraft - gewonnen, wird das Elektroauto nahezu vollkommen umwelt- und klimaneutral und schont die natürlichen Ressourcen, da für die Bereitstellung der benötigten Energie kein CO<sub>2</sub> produziert wird. Ein zusätzlicher Aspekt ist das nahezu geräuscharme Fahren wodurch die Lebensqualität speziell in Städten gesteigert werden kann. Die Elektromobilität bietet daher die Möglichkeit dem Kundenbedürfnis nach einer ökologischen, umweltschonenden und nachhaltigen Mobilität zu begegnen.

In verschiedenen Ländern wird durch die Gesetzgebung den Klimaanforderung und der Ressourcenverknappung Rechnung getragen. Zur Erfüllung der Forderungen hinsichtlich der Zertifizierung von emissionsfreien Fahrzeugen, Zufahrtsbeschränkungen in u.a. Städten und der CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Fahrzeugflotte ist die Elektromobilität ein wesentlicher Bestandteil.

In einer Studie von McKinsey wurden verschiedene Szenarien untersucht, wonach sich 2020 ein Anteil von bis zu 2 % Elektrofahrzeugen und 18 % plug-in hybrid Fahrzeugen bzw. 2030 ein Anteil von bis zu 8 % bzw. 24 % Fahrzeugen ergibt [9].

Ricardo geht von 10 – 20% Anteil von BEV, PHEV und HEV bis 2020 und ca. 30 –40 % bis 2050 aus.

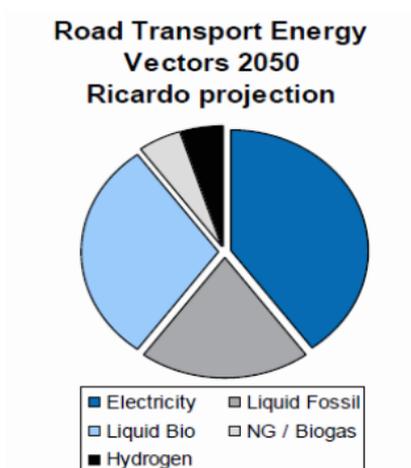


Abbildung 34: Anteile Elektrofahrzeuge, Projektion 2050 [10]

In Megastädten mit ihren spezifischen Mobilitätsanforderungen ist schon mittelfristig z.T. eine starke Nachfrage nach Elektrofahrzeugen zu erwarten.

Für eine flächendeckende Verbreitung von Elektrofahrzeugen ist eine hohe Nutzerakzeptanz bei vertretbaren Anschaffungs- und Betriebskosten notwendig. Aufgrund der geringen Energiedichte und hohen Kosten der Energiespeicher bei Elektrofahrzeugen ist u.a. die Reichweite im Vergleich zu Fahrzeugen mit konventionellen verbrennungsmotorischen Antrieben deutlich eingeschränkt. Im Winter oder Sommer wird die Reichweite bei einer komfortablen Klimatisierung des Innenraums und dem damit verbundenen Energiebedarf der Heiz- und Kälteanlage nochmals deutlich reduziert. Die Reichweitenreduktion aufgrund der Heizungsanforderungen kann im Winter mit heutigen Technologien bis zu 50 % bezogen auf die Reichweite ohne Heizung des Innenraums betragen, da im Elektrofahrzeug keine Abwärme eines Verbrennungsmotors zur Heizung zur Verfügung steht. Zur Erzielung einer hohen, verlässlichen Reichweite und Funktionalität sind daher innovative Technologien erforderlich.

Durch das Vorhaben GaTE kann die Akzeptanz und Vermarktung von Elektrofahrzeugen durch die gezielte Erforschung und Optimierung wesentlicher Technologiebausteine zur energieeffizienten Klimatisierung/Heizung und den serientauglichen Konzepten unterstützt und damit der Einstieg in eine flächendeckende Elektromobilität beschleunigt werden.

## **4.1 Wissenschaftlicher und technischer Nutzen**

Der Einsatz eines integrierten Thermomanagement mit Wärmepumpe und u.a. die Verwendung von Umluft im Winterbetrieb stellen eine Herausforderung an die Fahrzeugentwicklung dar. Bei einem Umluftbetrieb im Winter stellt der Scheibenbeschlag ein großes Risiko dar. Die Funktion einer Wärmepumpe muss in allen Betriebsbedingungen zuverlässig sichergestellt werden, was eventuell einen hohen systemseitigen Aufwand – neben den sonstigen funktionalen Risiken - erfordert.

Im Rahmen des Projekts wurde jedoch ein verbessertes Verständnis des Wärmehaushalts und des Energiebedarfs von Elektrofahrzeugen geschaffen, dass auch zum Teil auf Fahrzeuge mit einem konventionellen Antrieb übertragen werden kann. Durch die Erarbeitung von Nutzerszenarien mit repräsentativen Klimaprofilen konnte eine realitätsnahe Bewertung der Technologien und Maßnahmen durchgeführt werden.

Generell besteht das Ziel, den Energiebedarf zu reduzieren. Neue Komponenten mit reduzierter Leistungsaufnahme, geringem Bauraum und erhöhter Funktionalität bieten generell Vorteile, die bei allen Fahrzeugkonzepten eingesetzt werden können.

Eine verbesserte Beschlagssensorik mit hoher Genauigkeit kann auch bei heutigen Fahrzeugen zu einer effizienteren Ansteuerung des Verdichters im Reheat-Betrieb beitragen. Der Einsatz einer Wärmepumpe ist nicht auf rein batterieelektrische Antriebskonzepte beschränkt sondern bietet auch Potenziale bei Hybridfahrzeugen mit einem zusätzlichen Verbrennungsmotor. Aus den Erkenntnissen können neue Konzepte zum Wärmemanagement von Fahrzeugen abgeleitet werden.

## 4.2 Verwertung für die Daimler AG

Nachfolgende Zusammenstellung zeigt die Verwertungsmöglichkeiten der Projektergebnisse innerhalb der Daimler AG:

- Die deutlich weiterentwickelten Simulationstools zur Berechnung des Wärmehaushalts einer Fahrzeugkabine, des thermischen Komforts der Insassen und des Beschlagsrisikos ermöglichen eine frühzeitige Bewertung von Belüftungskonzepten im Entwicklungsprozess für konventionell und alternativ angetriebene Fahrzeuge. Speziell bei Elektrofahrzeuge können hier Aspekte der Energieeffizienz frühzeitig in die Bewertung einfließen und berücksichtigt werden.
- Durch die Analyse des Wärmehaushalts und der Berechnung der Energieverluste einer Fahrzeugkabine ergeben sich Stellhebel zur Verbesserung zukünftiger Fahrzeuge.
- Durch umfangreiche Berechnungen und experimentelle Untersuchungen konnte für die definierten Lastfälle und Randbedingungen eine deutliche Reduktion der erforderlichen Heizleistung durch Umluftbetrieb nachgewiesen werden. Diese Erkenntnisse können in die Betriebsstrategie zukünftiger E-Fahrzeug einfließen.
- Die entwickelten Fahrzyklen und Temperaturprofile ermöglichen eine realitätsnahe Bewertung der Energieeffizienz von Heiz- und Kühlsystem und Maßnahmen in Fahrzeugen.
- Die Erkenntnisse zu den Vor- und Nachteilen eines indirekten Wärmepumpensystems können in die Entwicklung von Heiz- und Kühlkonzepten für ein verbessertes Wärmemanagement in Fahrzeugen einfließen.

## 5. Literaturverzeichnis

- [1] C. Bohman et.al.: Thermal Management of Electric Vehicles- Approaches and Implementation in the Research Project „e-performance“, 21. Aachen Colloquium and Engine Technology 2012
- [2] M. Konz et.al.: FAT Schriftenreihe Bericht 233 „Spezifische Anforderungen an das Heiz- und Klimasystem elektromotorisch angetriebener Fahrzeuge, VDA, 2011
- [3] M Schwingshackl: Simulation von elektrischen Fahrzeugkonzepten für PKW, Diplomarbeit am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der Technischen Universität Graz 2009
- [4] Infas/DLR: Mobilität in Deutschland 2008, Februar 2010, beauftragt durch das Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, FE-Nr. 70.801/2006,
- [5] BMVIT 2007: Verkehr in Zahlen - Ausgabe 2007, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Abteilung V/Infra 5, Wien, November 2007.
- [6] Hausberger S. 2008: Strassenverkehrsemissionen und Emissionen sonstiger mobiler Quellen Österreichs für die Jahre 1990 bis 2007; Erstellt im Auftrag des Umweltbundesamtes GmbH; Bericht Nr. FVT-55/08/ Haus Em 10/08-6790 vom 04.11.2008.
- [7] N.-C. Strupp et.al.: Klimadaten und Nutzungsverhalten zu Auslegung, Versuch und Simulation an Kraftfahrzeug-Kälte/Heizanlagen in Europa und den USA, Institut für Thermodynamik Technische Universität Braunschweig, FAT Studie Nutzungsmodell Oktober 2008.
- [8] H. Neudorfer, A. Binder, N. Wicker: Analyse von unterschiedlichen Fahrzyklen für den Einsatz von Elektrofahrzeugen, Elektrotechnik & Informationstechnik (2006) 123/7/8: 352–360, Springer Verlag.
- [9] McKinsey & Company, “Roads towards a low-carbon future: Reducing CO2 emissions from passenger vehicles in the global road transportation system”, March 2009
- [10] Ricardo: Dr. M. Düsterhöft, Dr. D. Gagliardi, “The Ricardo low carbon roadmap – the long way to CO2 reduction”, S. 1- 21, Engine Expo 2010, Stuttgart, 23. Juni 2010.

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Klimatisierung der Fahrzeuginnenraums	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Maué, Jürgen Dr. Flögel, Herbert Dr. Curre, Joachim	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.9.2015
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Daimler AG HPC 603, Abt.: RD/RKI 71059 Sindelfingen	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen FKZ 16N12327
	11. Seitenzahl 53
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 10
	14. Tabellen 5
	15. Abbildungen 34
16. Zusätzliche Angaben -	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -	
18. Kurzfassung  Ziel des Projektes war durch ein optimiertes Thermomanagement den elektrischen Energiebedarf für die Fahrzeugheizung und Temperierung der Komponenten des Antriebs von Elektrofahrzeugen gegenüber heutigen Lösungen deutlich zu reduzieren. Die Reduktion des Energiebedarfs trägt maßgeblich zur Reichweitenerhöhung bei. Es wurde dabei der Einsatz einer Kühlmittel-/Kühlmittel-Wärmepumpe mit verbesserten Kühlmittelventilen sowie detailliert die Erhöhung des Umluftanteils mit entsprechender Beschlagsensorik untersucht.  Hierfür wurde ein detailliertes Lastenheft erstellt.  Aus einer umfangreichen Analyse des Nutzungsverhaltens wurden Kunden-Fahrzyklen mit klimatischen Randbedingungen abgeleitet. Für die Untersuchung des Wärmehaushalts der Fahrzeugkabine wurde eine 3D-Simulationsverfahren verwendet und für die Abschätzung und Bewertung des Scheibenbeschlags erweitert. Maximal mögliche Umluftraten für verschiedene Lastfälle zur Reduktion des Energiebedarfs unter Berücksichtigung der Beschlagsneigung an den Scheiben wurden berechnet. Die Simulationsergebnisse wurden mit experimentellen Untersuchungen verglichen. Das Einsparpotential der Heizleistung aufgrund eines optimierten Umluftbetriebs wurde abgeleitet. Eine verbesserte Beschlagssensorik wurde in einem Fahrzeugdemonstrator untersucht.	
19. Schlagwörter Elektromobilität, Thermomanagement, Klimatisierung, Wärmepumpe, Scheibenbeschlag, Systemsimulation	
20. Verlag	21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) report
3. title Climatization of vehicle cabin (Klimatisierung des Fahrzeuginnenraums)	
4. author(s) (family name, first name(s)) Maué, Jürgen Dr. Flögel, Herbert Dr. Currele, Joachim	5. end of project 30.9.2015
	6. publication date
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) Daimler AG HPC 603, Abt.: RD/RKI 71059 Sindelfingen	9. originator's report no. FKZ 16N12327
	10. reference no.
	11. no. of pages 53
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 10
	14. no. of tables 5
	15. no. of figures 34
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract  The goal of project was to reduce significantly the required energy for vehicle heating by an optimized thermal management compared to current solutions – including the temperature control of the drive components of electric vehicles. The reduction of energy demand contributes significantly to increasing the range. The use of a coolant / coolant heat pump with improved coolant valves and, in detail, the increase of the recirculation fraction of air for cabin climatization with a corresponding fogging sensor was examined thereby.  For this, a detailed specification was created.  From an extensive analysis of user behavior customer driving cycles were derived with climatic conditions. For the study of the heat balance of the vehicle cabin, a 3D simulation method was used and extended for the assessment and evaluation of the fogging on the windows. Maximum possible recirculation rates of air for different load cases for the reduction of energy requirements considering the fogging on the windows were calculated. The simulation results were compared with experimental studies. The savings potential of heating due to an optimized air recirculation function was derived. An improved fogging sensor was examined in a demonstrator.	
19. keywords Electromobility, thermal management, air conditioning, heat pump, misting, fogging, system simulation	
20. publisher	21. price