

Gemessene Innenraumluftqualität in klimatisierten und mit Schiebedächern ausgestatteten Pkws

von Pascal Mast*

In diesem Beitrag soll auf eine Entwicklung im Bereich der kundennahen Verbesserung des PKW Fahrkomforts, speziell durch die Sicherstellung einer optimalen Innenraumluftqualität, mit ihrer Auswirkung auf den Fahrer unter medizinischen und technischen Gesichtspunkten eingegangen werden.

1 Einleitung „IMPROVE by QFD“

Jeder Hersteller strebt danach seine Produkte zu differenzieren, sich damit von möglichen Wettbewerbern abzuheben, um nach Möglichkeit das attraktivste Angebot für den Kunden bieten zu können. In der Produktentwicklung, sind Methoden, wie Bottle-Neck-Engineering, TRIZ, QfD und weitere, bereits weit verbreitet. Es wird einerseits angestrebt, die Kundenwünsche so gut wie möglich zu treffen, und andererseits die Entwicklungs- und auch die Produktionskosten zu minimieren. Meist stellt dabei ein bekannter Kundenwunsch den Ursprung einer neuen, direkt ableitbaren, Produkt- oder Funktionsausprägung dar.

Das mehrdimensionale Feld des Fahrkomforts bietet eine Vielfalt an Interpretationen, wie der Kunde sich ein Fahrzeug wünschen würde. Es sind dabei mehrere, sich gegenseitig beeinflussende Produktausprägungen.

Zielwerte für die aufgezählten Punkte festzulegen, nach denen konstruiert werden kann und die das Kostenziel treffen, ist die Anforderung an die Ingenieure. In diesem Spannungsfeld zwischen den Emotionen der Kunden und den erforderlichen Zahlen und Fakten für Ingenieure soll die Anwendung der abgesicherten Methode QfD – Quality Function Deployment ein Hilfsmittel bieten, denn für alle die verschiedenen Auslegungen des Fahrverhaltens gilt das Zitat von Bernd Pischetsrieder gleichermaßen: „Wenn nur Ingenieure die Unterschiede entdecken hat der Kunde nicht viel davon!“ [1].

Mit IMPROVE by QfD der TÜV Automotive wird der Kundenwunsch nach statistischen Grundsätzen aufgenommen und mit Hilfe eines speziell auf das Fahrverhalten von Fahrzeugen angepassten QfD in Zielwerte für die Ingenieure weiterverarbeitet. Dabei wird das Ergebnis, ein Szenario zur technischen Erfüllung der Kundenwünsche, durch die Methode selbst aufwands- und kostenoptimiert.

Am Beispiel des Innenraumklima sollte IMPROVE by QfD zur Anwendung kommen und damit erstmalig in das mehrdimensionale Feld der Fahrdynamik eingeführt werden. Das Ziel war kundenorientiertes Design des Fahrverhaltens zu betreiben – eben:

Engineered Emotion.

*Dipl. Ing. (FH) Pascal Mast, Abteilungsleiter Kundennahe Fahrerprobung, TÜV SÜD Automotive GmbH, Otto-Lilienthal-Str. 16, 71034 Böblingen, Pascal.Mast@tuev-sued.de; www.tuev-sued.de



1.1 Schema IMPROVE by QfD

Zentrales Element der vorgestellten Methode ist das House of Quality (HoQ). Qualität wird hier im Sinne von Erfüllung der Kundenwünsche definiert. Im Bild 1.1 ist das House of Quality schematisch dargestellt.

Zu erkennen ist der horizontale Rahmen der „Kundensprache“. Hier werden die Äußerungen des Kunden statistisch-psychologisch erfasst und zu einem Entwicklungsziel in Kundensicht, dem „3b - Kundenziel“ verarbeitet. Dieses Ergebnis der Schritte 1-3 soll Antworten geben auf eine Frage der Art: „Wie wollen wir unser neues oder weiterentwickeltes Produkt in der nächsten Befragung von den Kunden bewertet haben?“ Die schematische Darstellung zeigt im vertikalen Rahmen die „Ingenieursprache“. In den Schritten 4 bis 5 werden die technischen Möglichkeiten zur Produktoptimierung nach dem streng methodischen Ansatz des QfD gelistet und mit der Sammlung an Kundenwünschen verknüpft. Die Schritte 6 bis 9 ergeben die aufwands- und kostenoptimierte Erstellung der technischen Maßnahmen zur Weiterentwicklung des Produkts.

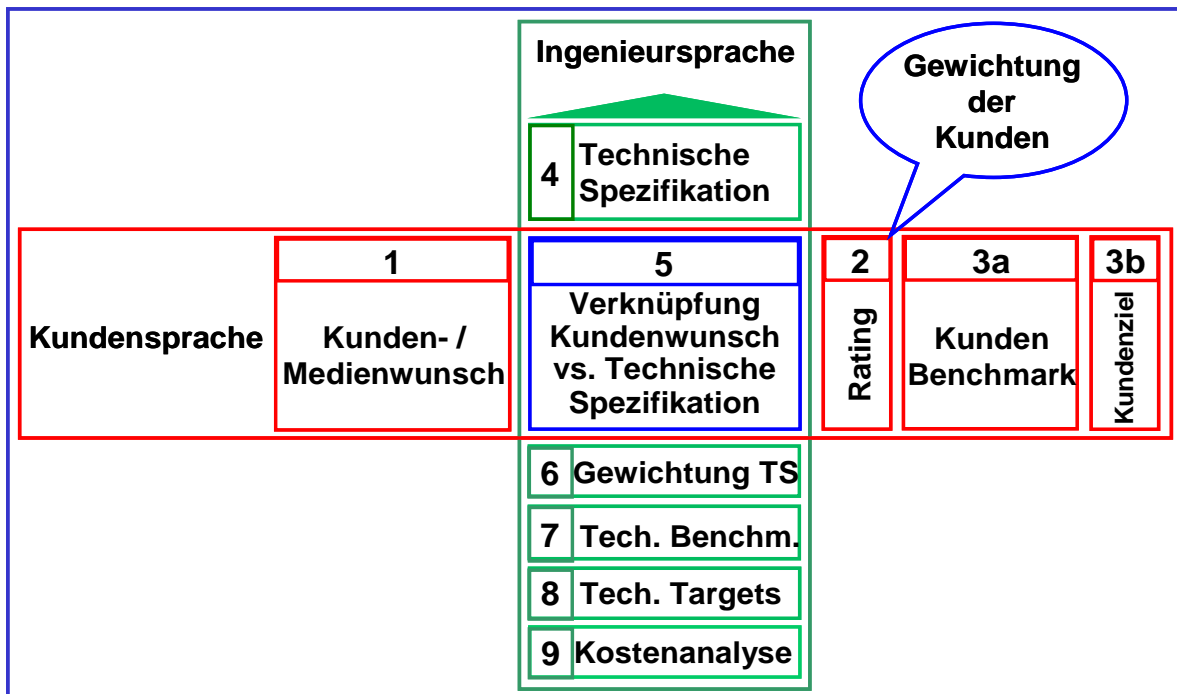


Bild 1.1 – House of Quality (HoQ), Schema

1.3 Kundenwünsche / Gewichtung / Kundenziele

Die Kundenbefragung im Beispiel des Innenraumklima wurde durchgängig von Ingenieuren mit speziellem Training in Interviewtechniken durchgeführt. Die Kunden führen die Fahrzeuge, während der Spezialist vom Beifahrersitz aus das Interview lenkte und Antworten aufnahm. Die Befragung erfolgte in einer 3-Levelmatrix mit grundsätzlich offenen Fragen und neutralen Schlüsselwörtern. So sollte vermieden werden, die Wortwahl der Kunden zu beeinflussen und damit die Kundensprache zu verfälschen. Mit aufsteigendem Level innerhalb des Interviews wurden die bisher getätigten Aussagen der Probanden hinterfragt und damit zunehmend detailliert. An dieser Stelle bestätigte sich der Ansatz, dass die Befragung durch Muttersprachler und Ingenieuren in einer Person geführt wird.

1.4 Emotionen des Kunden an Technische Spezifikationen knüpfen

Es sollen die Emotionen und Wünsche der Kunden mit den Technischen Spezifikationen verknüpft werden. Dazu wird der Kreuzungsbereich des horizontalen Kundenrahmens mit dem vertikalen Ingenieursrahmen bearbeitet. Die Methode QfD stützt sich ausschließlich auf direkt quantifizierbare Größen

	Objective					Quasi - Objective				Wichtigkeit
	Spec. 1	Spec. 2	Spec. 3	Spec. 4	Spec. 5	Spec. 6	Spec. 7	Spec. 8	Spec. 9	
• 9 = stark • 3 = mittel • 1 = schwach • 0 = kein Einfluss										
KW 1	1		9			1		9	9	8
KW 2			9	1			3	1		2
KW 3		1	9		1				1	9
KW 4	3		3	9		1	3		3	2
Summe:	...	...	150	...	...	...	...	...	...	...
Ranking =	2.	...	1.	...	...	...	...	...	...	...

Bild 1.5 – Verknüpfung Kundenwünsche und Technische Spezifikationen

Es wird schnell erkenntlich, dass eine steigende Zahl an Technischen Spezifikationen die Zahl der notwendigen Verknüpfungsfragen überproportional erhöht und begründet damit das Vorgehen mit Überbegriffen zu arbeiten.

Nach den Verknüpfungsfragen wird für jede Technische Spezifikation eine Kennzahl ermittelt. Für jede Spalte werden die Verknüpfungswerte mit der Wichtigkeit des Kundenwunsches multipliziert und eine Spaltensumme gebildet. Je größer der Wert einer Spalte, desto direkter kann mit einer Veränderung dieser Technischen Spezifikation die Summe aller Kundenwünsche beeinflusst werden. Damit lässt sich Aufwandsoptimierung durchführen.

1.5 Technisches Benchmark und Aktionsplan

Mit Hilfe veranschaulichten Zusammenhänge lassen sich nun Veränderungen für die einflussstärksten Technischen Spezifikationen ableiten. Dazu wurden größtenteils etablierte Tests auf die besonderen Anforderungen hin erweitert.

Diese Auswahl an Technischen Parametern der Vergleichsfahrzeuge wurde ermittelt, um ein vollständiges Bild für die anschließende Festlegung des Aktionsplans zu erhalten.

2 Kundenfahrerprobungen

Weltweite (Europa / USA / Japan) Kundenfahrerprobungen unter Anwendung der QFD Methode haben gezeigt, dass für den Kunden ein „**gutes und angenehmes Klima und saubere Luft im Fahrzeug**“ unabhängig von den Außenbedingungen für den Fahrer von hoher Bedeutung ist. Ebenso zeigen die Ergebnisse große Unterschiede bei der Erfüllung dieses Wunsches aus Sicht des Kunden bei verschiedenen Fahrzeugen einer Klasse.

Der Kunde (Fahrer) war ca. 50 im Fahrzeug unter Begleitung eines Ingenieurs, und hat dabei eine definierte Strecke von ca. 60 - 80 km mit hohem Stadt- und Überlandanteil zurückgelegt.

Im Streckenprofil wurden einige Sonderelemente mit eingebaut, die an spezifischen Orten (in Klammer) speziell untersucht wurden:

- Tiefgaragensituation, mit Ein- und Ausparken (San Diego, Tokio)
- Ampelstart hinter LKW (Boston, Hamburg)
- „Stop- and Go“ im Stadtverkehr bei Smogwetterlage (Stuttgart, Tokio)
- „Heißstart“ auf Parkplatz (San Diego und Tokio)
- Tunneldurchfahrt (Boston, Hamburg)
- Überlandfahrt mit wechselnden Geschwindigkeiten (Clermont Ferrand, Southampton)
- schnelle (über 180 km/h) Autobahnfahrt (Karlsruhe)

Des Weiteren wurden folgende Thesen aufgestellt und berücksichtigt: [2]

- Ein Luftaustausch durch größere Öffnungen mit hoher Geschwindigkeit durchmischt die Luft wesentlich stärker (Lidwell 1977)
- Eine gleichmäßige Temperaturumgebung sorgt für besseres Wohlempfinden; Seitendifferenzen bei der Hauttemperatur sind unangenehm.
- Lichteinfall (Glasschiebedach) bewirkt eine Aufmerksamkeitserhöhung (Physiologie).
- Staubpartikel in entsprechender Dosierung können Allergien auslösen. Die Reinigung des Fahrzeuginnenraums durch Luftverwirbelungen und Abzug der Luft nach außen dürfte durch ein Schiebedach effektiver sein. Bei gleichmäßiger Luft Zu- und Abfuhr dürften sich Staubinseln bilden die plötzlich aufgewirbelt eine hohe Staubbichte bewirken
- Ein hoher Schadstoffanteil in der Luft beeinträchtigt die Leistungsfähigkeit des Fahrers

3 Messtechnik in den Fahrzeugen

GPS:

Streckendaten
Geschwindigkeit
Lokalisierung der Ereignisse

Fingerkamera:

Streckenverfolgung
Blickverfolgung

Luftqualität:

CO₂ Gehalt in der Innenluft
Luftfeuchtigkeit
Temperaturen im Fahrzeug

Sonstige Messtechnik:

Ipetronik / Laptop
Voice Recorder

4 Auswertung der Kundenergebnisse

Original-Aussagen Kunden (in Auzügen):

- Ich möchte, dass viel frische Luft in mein Fahrzeug kommt, ohne dass es zieht (Southampton)
- Wenn ich an der Ampel stehe, sollen keine Abgase in mein Fahrzeug gelangen (Tokio)
- Ein Schiebedach finde ich gut, aber es ist mir zu laut, wenn ich schnell fahre (Karlsruhe)
- Ich öffne ab und zu das Fenster, um mehr frische Luft zu bekommen (Boston)
- Wenn ich in einen Tunnel fahre, sollte das Schiebedach automatisch zugehen (San Diego)
- Ein offenes Schiebedach sorgt für ein freieres Fahrgefühl (Clermont Ferrand)
- Eine einfache Bedienung ist wichtig (Karlsruhe)

5 Ergebnisse der Kundenerprobungen

Nach der Verlinkung aller Kundenwünsche mit technischen Merkmalen standen folgende Messwerte im Blickpunkt.





	<u>Peak-Flow – der Index für das Durchatmen:</u> Der Peak Flow misst das Volumen des Ausgeatmeten Luftstroms. Kleine Werte zeigen eine verminderte Leistungsfähigkeit der Atemwege.
	<u>Luftfeuchtigkeit:</u> Ist die Luft zu trocken, werden die Schleimhäute gereizt, ist Sie zu feucht, sinkt die Leistungsfähigkeit des Körpers.
	<u>Innenraumtemperatur:</u> Ist die Temperatur nicht im Komfortbereich (zu warm oder zu kalt) sinkt die Leistungsfähigkeit ebenfalls.
CO₂	<u>CO₂ Gehalt / O₂ Gehalt:</u> Der Kohlenstoffdioxidgehalt in der Luft und Sauerstoffgehalt im Blut haben einen hohen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und das Komfortbefinden des Menschen.
	<u>Luftströmung:</u> Hohe Strömungsgeschwindigkeiten verschlechtern das Komfortempfinden des Menschen.

Bild 5.1 Wichtige Messparameter

Pro Tag atmet der Mensch 10 bis 20 Kubikmeter Luft ein, je nach Alter und je nachdem, wie aktiv er ist. Dies entspricht einer Masse von 12 bis 24 kg. Das ist weitaus mehr als die Masse an Lebensmitteln und Trinkwasser, die man am Tag zu sich nimmt! Nahrungsmittel und Wasser können wir meist sorgsam auswählen. Bei der Luft, die wir atmen, ist das in der Regel nicht möglich. Frische Luft ist ein „Lebensmittel“, das der Mensch in ausreichender Men-

ge braucht. Allerdings hat er keinen Messfühler, der signalisiert, wann gelüftet werden muss. Mal abgesehen von der Nase. Vor über 100 Jahren wollte es der Wissenschaftler Max Pettenkofer genau wissen. Er schlug vor, den CO₂-Gehalt der Raumluft als ein Zeichen für die Luftqualität zuzunehmen. Und er nannte auch gleich eine Zahl: Die lange Zeit gültige „Pettenkoferzahl“ sah einen CO₂-Gehalt von höchstens 0,1 Volumenprozent vor. Heute gilt als Richtwert 0,15 Vol.-%, die so genannte Grenze des Hygienebereichs, das sind 1,5 Liter CO₂ in einem Kubikmeter (= 1.000 Liter) Luft. Ein Raumklima wird als behaglich empfunden, wenn die Temperatur zwischen 20 und 23 Grad Celsius und die relative Luftfeuchte zwischen 30 und 60 % relativer Feuchte liegt. Die angegebenen Werte können individuell etwas nach unten und oben variieren (Bild 5.2).

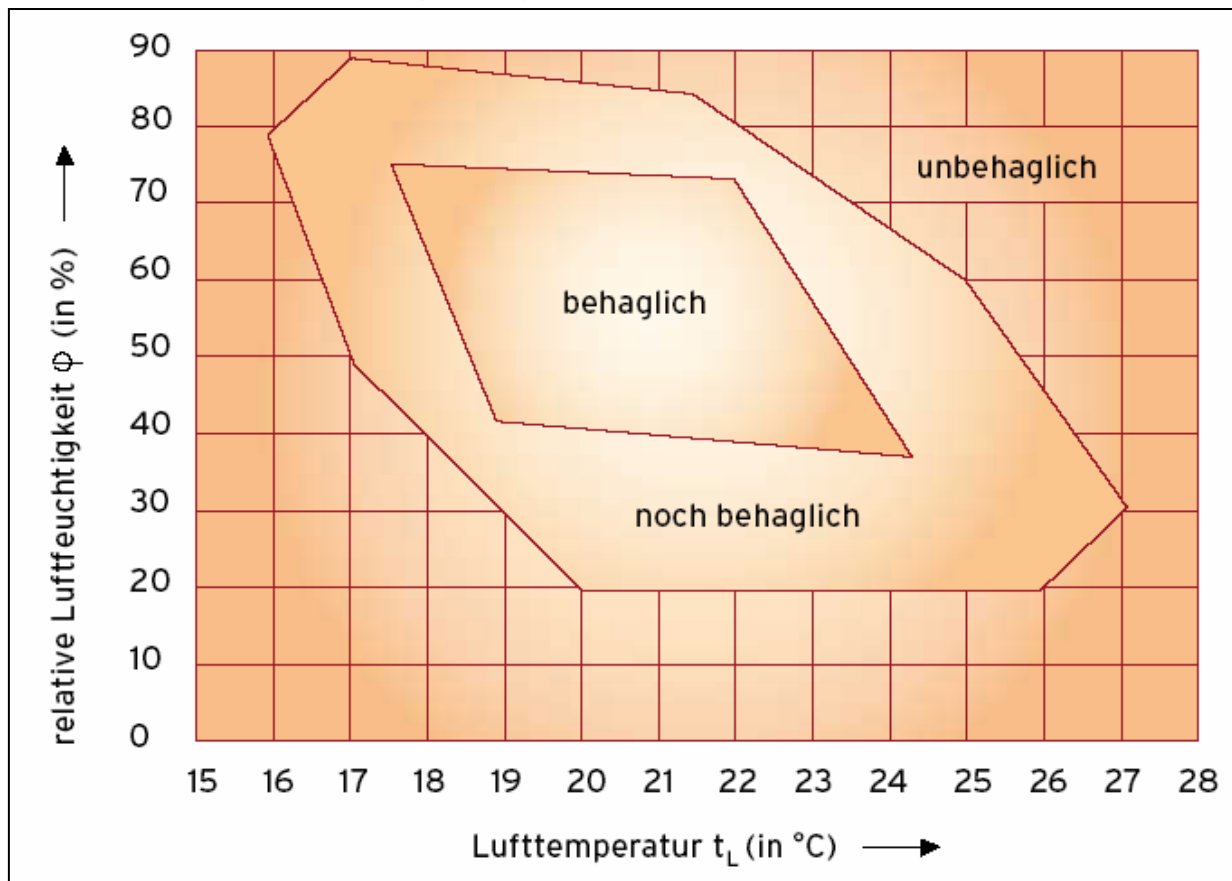





Bild 5.2 Behaglicher Bereich des Menschen

Die Konzentration an Kohlendioxid und anderen Luftschadstoffen in der Innenraumluft wird wesentlich von der so genannten Luftwechselzahl (LWZ) bestimmt. Diese gibt an, wie oft das gesamte Raumluftvolumen pro Stunde erneuert wird. Auf die Luftwechselzahl haben die Raumabdichtungen und insbesondere das Lüftungsverhalten großen Einfluss. Typische Werte liegen bei 0,3 bis 0,5 pro Stunde, aus raumlufthygienischer Sicht können – je nach örtlicher Situation – aber auch höhere Luftwechselzahlen erforderlich sein.

Die Innenraumluftqualität wird durch mehrere Faktoren bestimmt:

- die Qualität der einströmenden Außenluft,
- Anzahl und Art der Schadstoffquellen und der Schadstoffsenken im Innenraum,
- die Häufigkeit des Luftwechsels.

Die Auswertung der Ergebnisse aus allen knapp 600 Kundenfahrten zeigt, dass die Innenluftqualität einen erheblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Fahrers hat.

Schiebedach geschlossen	Schiebedach gehoben	Schiebedach geöffnet
		
<ul style="list-style-type: none"> • O₂ Gehalt sinkt • CO₂ Gehalt steigt • Luft zu trocken • Peak Flow in Richtung kritischen Bereich • direkte Anströmung 	<ul style="list-style-type: none"> • O₂ Gehalt konstant • CO₂ Gehalt konstant • Luft leicht zu trocken • Peak Flow im mittleren Bereich • geringere Anströmgeschwindigkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • O₂ Gehalt konstant • CO₂ Gehalt konstant • Luftfeuchtigkeit fast wie Außen • Peak Flow im Komfort Bereich • sehr geringe Anströmgeschwindigkeit

Bilder: Webasto

Bild 5.3 Situationen im Fahrzeug bei eingeschalteter Klimaanlage und Lüftung

Schiebedach geschlossen	Schiebedach gehoben	Schiebedach geöffnet
		
<ul style="list-style-type: none"> • O₂ Gehalt sinkt stark • CO₂ Gehalt steigt stark • Luft sehr feucht • Peak Flow deutlich verschlechtert • kein Luftaustausch 	<ul style="list-style-type: none"> • O₂ Gehalt konstant • CO₂ Gehalt konstant • Luft leicht zu feucht • Peak Flow im mittleren Bereich • niedere LWZ 	<ul style="list-style-type: none"> • O₂ Gehalt konstant • CO₂ Gehalt konstant • Luftfeuchtigkeit fast wie Außen • Peak Flow im Komfort Bereich • guter Luftaustausch

Bilder: Webasto

Bild 5.4 Situationen im Fahrzeug bei ausgeschalteter Klimaanlage und Lüftung [3]

Ein Schiebedach trägt wesentlich dazu bei:

- Die Luftzirkulation zu verbessern
- Den Luftaustausch zu intensivieren (höhere Luftwechselzahl)
- Die Leistungsfähigkeit des Fahrers zu erhalten
- Die Luftfeuchtigkeit ausgewogen zu regulieren
- Den CO₂ Gehalt im Fahrzeuginnenraum zu senken
- Und reduziert die negativen Einflüsse des Rauchens

Weitere Verbesserung des Innenraumklimas auf Basis der Kundenwünsche:

- Kombinierte Regelung von Schiebedach und Klimaanlage um den Kunden den optimalen Bedienkomfort zu bieten, und zeitgleich ein gutes Innenraumklima zu gewährleisten.

6 Ausblick

Vernetzung von verschiedenen Systemen im Fahrzeug :

- Klimaanlage
- Schiebedach
- Regensensor
- GPS / Navigationssystem
- CO₂ Sensoren

Ziele:

- Ereigniserkennung
- Umschaltung zwischen Außen- und Innenluft, je nach Fahrsituation und Ereignis
- Optimaler und minimale Bedienung (HMI)

4 Zusammenfassung

Die gezielte Kombination aus Schiebedach und Lüftung/Klimaanlage erwirkt ein gutes Innenraumklima und hat somit den besten Einfluss auf die Reaktionsfähigkeit des Fahrers, und muss daher in diesem Sinn als aktiver Beitrag zu mehr Sicherheit im Straßenverkehr und zur Erfüllung des allgemeinen Kundenwunsches nach „frischer Luft“ verstanden werden

5 Literatur

- [1] Klein, B.; QFD – Quality Function Deployment. Renningen-Malmsheim, expert Verlag 1999
- [2] Mir stinkt's! Umwelt und Gesundheit: Qualität der Innenluft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Umweltbundesamt)
- [3] Bilder: Webasto, Raumklimastudie