

Vorabbericht
über Versuche mit Fahrzeugen zur Entflammung und HF-Exposition mit
Fahrzeugklimaanlagen bei Verwendung von R1234yf

1. Einleitung

Das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) nimmt in Deutschland neben der Erteilung von Typgenehmigungen auch die Aufgabe der Marktüberwachung und damit der Produktsicherheit für Straßenfahrzeuge wahr und ist in dieser Eigenschaft bereits seit dem Jahr 2009 Hinweisen namhafter Institutionen nachgegangen, dass durch den Einsatz von R1234yf als Kältemittel von mobilen Klimaanlagen neue Gefährdungen im Kraftfahrzeug auftreten könnten. Hierüber hatte das KBA auf den regelmäßigen Treffen der europäischen Typgenehmigungsbehörden, zu denen auch Vertreter der europäischen Kommission stets eingeladen waren, mehrfach informiert. Darüber hinaus hat das KBA die Europäische Kommission bereits im April 2012 gebeten, Sicherheitsanforderungen für Klimaanlagen in das Typgenehmigungsverfahren aufzunehmen.

Nach dem Bekanntwerden der Fahrzeugversuche der Daimler AG im September 2012 und anschließend des VDA mit deutlichem Gefahrenereignis (Fahrzeugbrand sowie HF-Expositionen) waren verstärkende Verdachtsmomente gegeben, so dass das Kraftfahrt-Bundesamt eine Produktsicherheitsuntersuchung einleitete und die Kommission darüber informierte. Diese Untersuchung ergab zunächst widersprüchliche Aussagen verschiedener Hersteller zum Auftreten einer Entflammung und deren Eintrittswahrscheinlichkeit. Allerdings wurde eine Erhöhung des Brandrisikos durch R1234yf in Gesprächen mit der Automobilindustrie grundsätzlich anerkannt, wenn auch unterschiedliche Auffassungen zur Eintrittswahrscheinlichkeit bestehen. Die fortbestehenden widersprüchlichen Aussagen und das Fehlen von durch neutrale Stellen beauftragten Untersuchungen veranlassten das KBA, eigene Versuche zur Risikoabschätzung durchzuführen.

Dazu wurde eine Projektgruppe mit Experten aus den Fachbehörden des Bundes zusammengestellt. Beteiligt waren die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM),

die in ihrem Fachbereich für Gase und Gasanlagen schon seit Jahren Versuche zur Brennbarkeit von Kältemitteln durchführt, die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) als Forschungsinstitut mit seinen herausgehobenen Kompetenzen der Unfallforschung und passiven Fahrzeugsicherheit sowie als fachlicher Berater das Umweltbundesamt (UBA), das solche Versuche ebenfalls schon länger begleitet. Die übergreifende Leitung erfolgte aus dem Produktsicherheitsbereich des KBA, das zur praktischen Versuchsdurchführung den beim KBA anerkannten Technischen Dienst des TÜV Rheinland beauftragt hat. Dieser Technische Dienst verfügt über Crashanlagen sowie über beim KBA nachgewiesene Kompetenzen in allen Fachgebieten der Fahrzeugtypgenehmigung und kann profunde Erfahrungen in der Durchführung von Entflammungsversuchen von Kältemitteln in Fahrzeugen aufweisen.

Aus Transparenzgründen wurden die Europäische Kommission und die betroffenen Fahrzeughersteller laufend in den Fortgang eingebunden.

2. Auswahl Testszenario

Das Testszenario sollte ein in der Realität vorkommendes Unfallszenario möglichst genau abbilden. Die Daimler-Versuche zeigten an der B-Klasse und an anderen Fahrzeugen eine reproduzierbare Entflammung. Sie bildeten dabei den Ausgangspunkt für den Verdacht auf einen Produktsicherheitsmangel, der darin besteht, dass im Fahrzeug bei heißgefahretem Motor und nach einer eintretenden Kältemittelleckage ein Brand entstehen könnte, der Fahrzeuginsassen und Ersthelfer gefährden könnte. In Folge des Brandes des Kältemittels R1234yf bildet sich weiterhin Fluorwasserstoff, der zu einer zusätzlichen Gefahr für Fahrzeuginsassen und Ersthelfer führen könnte. Als wahrscheinlichstes Szenario für das Eintreten eines solchen Schadensbildes ist ein Crasheszenario anzusehen, etwa ein Stauende-Auffahrunfall auf der Autobahn.

Entsprechend sollten bei der Untersuchung nachgewiesene Schäden aus Crashversuchen betrachtet werden.

Dazu wurde auf Basis von in der GIDAS-Datenbank (GIDAS = German In-Depth Accident Study) erhobenen realen Unfalldaten durch die BASt die für so ein Schadensbild denkbaren Kollisionskonfigurationen beschrieben und ausgewertet sowie ein Test-Setup identifiziert. Dieses wurde auf Relevanz in der Gesamtpopulation der Unfälle überprüft und bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit abgeschätzt.

Als Setup wurde ein Crashtest in Anlehnung an ECE R94 mit einer reduzierten Geschwindigkeit von 40 km/h ausgewählt, der in einer ersten Versuchsphase mit laufendem, betriebswarmen Motor ein realistisches Schadensbild herbeiführte. Die Eintrittswahrscheinlichkeit wurde für dieses Szenario aufgrund der ausgewerteten Unfälle in Deutschland mit $2,9 \cdot 10^{-4}$ pro Fahrzeug und Jahr abgeschätzt und ist damit ein relevantes Ereignis bei der Betrachtung der Produktsicherheit von Fahrzeugen.

In einer zweiten Versuchsphase wurde dann Kältemittel durch die beschädigten Systemkomponenten ausgeströmt und auf Entflammung und Fluorwasserstoffbildung untersucht. Da aus den Versuchen der Automobilindustrie bekannt ist, dass nur sehr hohe Temperaturen im Motorraum zu einer Kältemittelentflammung führen können, wurden dazu die Testfahrzeuge nach dem Crash wieder fahrbereit hergestellt und durch Fahren mit einem Bremsanhänger auf hohe – aber realistische - Betriebstemperaturen gebracht. Anschließend wurde das Fahrzeug abgestellt und Kältemittel aus der Klimaanlage durch die im Crash beschädigten Bauteile ausgeströmt. Dabei wurde die Bildung von Flammen und Fluorwasserstoff messtechnisch überwacht und über Kameras dokumentiert.

3. Auswahl Testfahrzeuge

Nach den Grundsätzen der Produktsicherheit wurden zunächst die Fahrzeuge ausgewählt, die bezüglich der zu klärenden Frage das größte vermeintliche Risiko im deutschen Straßenverkehr darstellten. In Betracht kamen daher nur Fahrzeuge, die auf Basis ihrer Typgenehmigung R1234yf als Klimaanlagekältemittel verwenden. Eine Risikodiskriminierung der Fahrzeuge nach ihrer Konstruktion war nicht möglich, da Versuche von Fahrzeugherstellern und dem VDA gezeigt hatten, dass sich eine Kältemittelentflammung nicht auf einzelne Motor- und Antriebskonzepte beschränkt. Entsprechend wurden alle entsprechend ausgerüsteten zugelassenen Fahrzeuge in Deutschland betrachtet und jeweils ein Fahrzeug der vier zulassungstärksten Fahrzeugtypen ausgewählt. Nach Möglichkeit wurde dabei innerhalb des gewählten Typs jeweils die Variante ausgewählt, die aufgrund ihres Motorkonzeptes die höchsten Betriebstemperaturen erwarten ließ, d.h. kleinvolumiger Ottomotor nach Möglichkeit mit Abgasturbolader. Ausgewählt wurden zwei Fahrzeuge mit und zwei Fahrzeuge ohne Abgasturbolader.

4. Testdurchführung

Nach der Auswahl der Fahrzeugtypen wurden die einzelnen Testfahrzeuge handelsüblich auf dem Markt über den Technischen Dienst gekauft. Anschließend wurden die betroffenen Fahrzeughersteller informiert und zu einer Informationsveranstaltung und Vorführung der Fahrzeuge am 24.05.2013 in Köln eingeladen. Neben den Projektbeteiligten und betroffenen Herstellern nahmen auch die diese vertretenden Verbände VDA und VDIK sowie eine Vertreterin der Europäischen Kommission teil und wurden über Ziel und Motivation der Tests, Fahrzeugauswahl, Auswahl des Crash-Szenarios, Testablauf sowie Durchführung der HF-Messungen informiert. Die Vorführung der Fahrzeuge diente dazu sicherzustellen, dass die zu testenden Fahrzeuge keine abnormen Besonderheiten aufweisen.

Die Fahrzeuge wurden vom TÜV Rheinland für die anstehenden Versuche vorbereitet, die Temperaturmesstechnik eingebaut und auf der Autobahn unter Vollast Temperaturverläufe aufgenommen, die beim Ausströmtest wieder eingestellt werden sollten.

Am 10. und 11.06.2013 fanden die Crash-Tests mit den vier ausgewählten Fahrzeugen auf den Anlagen des TÜV Rheinland statt. Die Fahrzeuge wurden nach den Versuchen untersucht und in Teilen zerlegt, um die Schäden an den Klimaanlage zu ermitteln. Am 28.06.2013 wurden die Fahrzeughersteller jeweils gesondert über die entstandenen Schadensbilder und das weitere Vorgehen bei den geplanten Ausströmversuchen informiert.

Die Fahrzeuge wurden abhängig vom Schadensbild der Crashtests für den Ausströmversuch verschiedenen Stufen zugeordnet, dabei sind Stufe 1 und 2 relevant innerhalb der Produktsicherheitsuntersuchung (s. Nr. 2.):

1. Stufe - Empirisch nachgewiesene Beschädigungen
2. Stufe - Minimale Extrapolation der Beschädigungen innerhalb der Ergebnisstreuung
3. Stufe - Größere Extrapolation der Beschädigungen zur Absicherung der Erkenntnisse

Bei den Versuchen zur **ersten Stufe** wird das Kältemittel nur durch die Bauteile ausgeströmt, die im vorangegangenen Crashversuch leck geschlagen waren. In der **zweiten Stufe** werden auch Bauteile zum Ausströmen verwendet, die zwar im Crashversuch beschädigt waren aber dicht geblieben sind, von denen aber – auch durch Herstellerversuche - bekannt ist, dass sie im Rahmen der Ergebnisstreuung durch Bauteiltoleranzen o.ä. bei vergleichbaren

5

Versuchen leck geschlagen sind. Die **dritte Stufe** dient der Ergebnisabsicherung. Hier werden

- Beschädigungen an den Kältemittelleitungen betrachtet, bei denen davon ausgegangen wird, dass sie zwar im neuen Zustand bei den gewählten Crashbedingungen dicht bleiben, von denen aber angenommen wird, dass sie bei schärferen Bedingungen wie etwa
 - Alterung des Leitungsmaterials und / oder
 - höheren Aufprallgeschwindigkeiten zerstört werden

und / oder

- höhere Temperaturen im Motorbereich in Erwartung zukünftig zu erwartender Motorenentwicklung zugrunde gelegt.

Die Versuchsbedingungen der dritten Stufe lassen noch keine abschließende, über die Bewertung der Produktsicherheit hinausgehende Aussage zu möglichen Risiken zu. Diese Versuche dienen aber dazu, das Versuchsergebnis generell in Richtung schwererer Unfälle abzuschätzen, deren Eintrittswahrscheinlichkeit und Signifikanz jedoch nicht bestimmt wurden. Gegebenenfalls kann man daraus weiteren Untersuchungsbedarf ableiten.

Insofern können die Stufen 1 und 2 für die Beurteilung einer möglichen Gefährdung im Rahmen der gesetzlich festgelegten Aufgaben als Produktsicherheitsbehörde (Bewertung des konkreten Produktes) heran gezogen werden. Die Stufe 3 dient dagegen einer allgemeineren Risikoabschätzung, die es u. U. erforderlich macht, Sicherheitsanforderungen in das Typgenehmigungsverfahren für Klimaanlage einfließen zu lassen.

Die Ausströmversuche fanden in der 28. Kalenderwoche auf dem Prüfgelände der BAM in Baruth/Mark statt. In den einzelnen Stufen fanden insgesamt 22 Versuche statt. Die Fahrzeuge wurden mittels eines Bremsanhängers auf die in Vorversuchen bei schneller Autobahnfahrt ermittelte Betriebstemperatur abzüglich 50 Kelvin gebracht und auf dem Versuchsplatz abgestellt. Bei stehendem Fahrzeug wurden daraufhin unmittelbar jeweils die Ausströmer geöffnet.

5. Ergebnisse

Bei den Versuchen in den Stufen 1 und 2 traten bei keinem der getesteten Fahrzeuge Entflammungen auf, bei einigen Messungen in diesen Stufen wurden geringe, nichtkritische Konzentrationen von pyrolytisch entstandenem Fluorwasserstoff gemessen.

Bei den Versuchen in Stufe 3 kam es in einem Fall zur vollen Entflammung im Motorraum, hierbei wurden erhebliche Mengen an Fluorwasserstoff gemessen. In zwei weiteren Fällen an anderen Fahrzeugen kam es zur Messung von Fluorwasserstoffkonzentrationen in nicht vernachlässigbarer Größenordnung ohne erkennbare Flammenbildung. Eine Bewertung der Fluorwasserstoffexpositionen nach ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung sowie der medizinisch erwartbaren Wirkung kann erst im Abschlussbericht vorgenommen werden.

6. Vorläufiges Fazit und weiteres Vorgehen

Wegen der noch laufenden Auswertung der Versuchsergebnisse ist die Ergebnisdarstellung noch nicht abgeschlossen und das Fazit daher als vorläufig zu betrachten. Nach vollständiger Auswertung der Detailergebnisse wird die Projektgruppe das endgültige Fazit ziehen. Bisher lässt sich folgendes zusammenfassen:

- Aufgrund der Ergebnisse in den Stufen 1 und 2 (keine Entflammung und keine kritische Fluorwasserstoffexposition) liegen keine hinreichenden Nachweise vor, die den Verdacht auf das Eintreten einer ernststen Gefahr im Sinne des Produktsicherheitsgesetzes bei den hier getesteten Fahrzeugtypen soweit erhärten, dass unmittelbar eingreifende Maßnahmen nach dem ProdSG durch das KBA als Produktsicherheitsbehörde angezeigt wären. Es greift weiterhin die Verantwortung der Hersteller für die Sicherheit ihrer Produkte.
- Aufgrund der Vergleichsmessungen mit dem bisherigen Kältemittel R134a in Stufe 3 bleibt festzuhalten, dass das Sicherheitsniveau von Kraftfahrzeugen durch den Einsatz von R1234yf tendenziell verschlechtert wird, da beim Einsatz von R134a während des Tests keinerlei kritisches Schadensereignis erzeugt werden konnte. Damit kommt mit R1234yf eine neue Technologie in Kraftfahrzeugen zum Einsatz, die im Widerspruch zu den intendierten europäischen Zielen der Verringerung der Gefährdungen im Straßenverkehr steht.

Da nach wie vor nicht vollständig bekannt ist, unter welchen Bedingungen und mit welchen Faktoren es zu einer Kältemittelentflammung und Fluorwasserstoffexpositionen in Kraftfahrzeugen kommen kann, das Eintreten eines solchen Ereignisses aber unmittelbar zu einer ernststen Gefährdung für die Gesundheit von Fahrzeuginsassen und Ersthelfern führt, wird mit Nachdruck empfohlen, die Umstände weiter zu untersuchen. Gegenstand dieser Untersuchung sollte ebenfalls sein, ob diese Erkenntnisse zukünftig in das Genehmigungsverfahren von Fahrzeugen aufgenommen werden und Sicherheitsanforderungen für Fahrzeugklimaanlagensysteme gesetzlich festgelegt werden sollten.

Dieses vorläufige Fazit steht noch unter dem ausdrücklichen Vorbehalt der Ergänzung und Spezifizierung durch weitere, noch ausstehende Versuchsauswertungen und dem abschließenden Bericht, der für Herbst 2013 erwartet wird.

7. Zusammenfassung

Im Rahmen der Produktsicherheitsuntersuchung zu möglichen Gefährdungen durch Klimaanlage in Fahrzeugen konnte das KBA vor der Durchführung eigener Tests nicht ausschließen, dass mit der Verwendung des Kältemittels R1234yf ein generelleres Sicherheitsproblem vorliegt. Mit dem Ziel weitere Erkenntnisse zu gewinnen, hat das KBA eigene Untersuchungen initiiert und geleitet. Die unabhängigen Untersuchungen und Tests wurden durch einen vom KBA benannten Technischen Dienst durchgeführt und von Behörden und Forschungseinrichtungen des Bundes begleitet. Auf dieser Grundlage wurde eine erweiterte Beurteilung des Sicherheitsrisikos beim Einsatz des Kältemittels R1234yf in Pkw-Klimaanlagen durchgeführt.

Für die Versuche wurde zunächst jeweils ein Fahrzeug aus den vier zulassungstärksten Fahrzeugtypen ausgewählt, die mit dem Kältemittel R-1234yf typgenehmigt waren. Die Fahrzeuge wurden in einem realitätsnahen Versuchsaufbau in Anlehnung an die ECE-Regelung 94 mit einer Aufprallgeschwindigkeit von 40 km/h gecrasht und anschließend deren Kältemittelkreislauf auf Beschädigungen untersucht. Danach wurden entstandene Beschädigungen in separaten Ausströmversuchen von Kältemittel bei heißgefahretem Fahrzeug simuliert und auf Brandentstehung und HF-Exposition untersucht.

Die Versuche haben im Ergebnis keine hinreichenden Nachweise ergeben, die den Verdacht auf das Eintreten einer ernststen Gefahr im Sinne des Produktsicherheitsgesetzes bei den hier getesteten Fahrzeugtypen soweit erhärteten, dass unmittelbar eingreifende Maßnahmen nach dem ProdSG durch das KBA angezeigt wären.

Gleichwohl sind bei weiteren durch das KBA ergänzend zu den Produktsicherheitsuntersuchungen durchgeführten Versuchen Entflammungen und Fluorwasserstoffexpositionen festgestellt worden. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf eine weitergehende Problematik des Kältemittelleinsatzes von R1234yf in Klimaanlage von Kraftfahrzeugen. Es wird daher aus übergeordneten Sicherheitserwägungen heraus mit Nachdruck empfohlen diese weiter zu untersuchen, um potenzielle Risiken besser bewerten zu können.