

Klima-Wind-Kanal Wien

Funktionstests zur Steigerung der Zuverlässigkeit von Schienenfahrzeugen

Dipl.-Ing. Gabriel Haller

Fachpublikation September 2006



Qualität bei jedem Wetter

rta
RAIL TEC ARSENAL

Funktionstests zur Steigerung der Zuverlässigkeit von Schienenfahrzeugen

Im Personentransport ist die Berücksichtigung der Erwartungshaltung der Fahrgäste in Bezug auf Fahrpreis, Reisezeit und Reisequalität ein wichtiges Erfolgskriterium. Moderne Schienenfahrzeuge müssen daher hohe Anforderungen in puncto Sicherheit, Zuverlässigkeit und Komfort erfüllen.

Im Klima-Wind-Kanal können „künstliche“ Wetterbedingungen wirklichkeitsgetreu nachgebildet und somit aussagekräftige Klimatests am ganzen Schienenfahrzeug durchgeführt werden. Derzeit dienen diese Tests allerdings fast ausschließlich zum Nachweis der Funktionsfähigkeit einzelner Komponenten gemäß den Forderungen der Fahrzeugbetreiber und zur Problemanalyse nach dem Auftreten von Störungen im Betrieb.

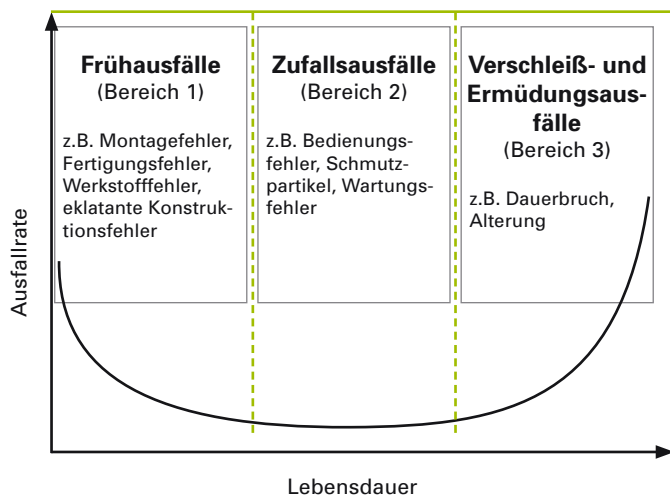
Die Chance, vorbeugende Untersuchungen auch zur Kosten- und Risikominimierung einzusetzen, wird zurzeit leider nur in Ausnahmefällen wahrgenommen. Im Folgenden soll gezeigt werden, dass Tests in einem Klima-Wind-Kanal jedoch durchaus dazu beitragen können, das Risiko für Funktionsstörungen im Betrieb zu senken und so die Zuverlässigkeit der Fahrzeuge zu erhöhen.

Was ist Zuverlässigkeit?

Laut [1] ist die Zuverlässigkeit die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Produkt während einer definierten Zeitdauer unter gegebenen Funktions- und Umgebungsbedingungen nicht ausfällt.

Technische Systeme zeigen in ihrem Lebenszyklus oft ein Ausfallverhalten, das unter dem Begriff „Badewannenkurve“ bekannt ist (Abbildung 1). Zu Beginn treten Ausfälle auf, die auf Montage- oder Konstruktionsfehlern beruhen. Dadurch ist die Zuverlässigkeit der Systeme zu Beginn ihres Lebenszyklus sehr gering. Sind diese Fehler behoben, nimmt die Ausfallrate einen geringeren konstanten Wert an, der über die gesamte Nutzungsdauer anhält. Diese Ausfälle beruhen auf Bedienungsfehlern, Wartungsfehlern oder nicht behobenen Fehlern aus dem Bereich der Frühausfälle. Gegen Ende der Lebensdauer steigt die Ausfallrate auf Grund von Verschleiß- und Ermüdungserscheinungen wieder an.

Abbildung 1: Ausfallrate „Badewannenkurve“ nach [1]



Die Zuverlässigkeit wirkt sich unmittelbar auch auf die Verfügbarkeit aus, die nach [1] als die Wahrscheinlichkeit dafür definiert ist, dass sich ein System zu einem bestimmten Zeitpunkt oder während einer definierten Zeitspanne in einem funktionsfähigen Zustand befindet, wenn es vorschriftsmäßig betrieben und instand gehalten wird.

Wird eine hohe Zuverlässigkeit durch häufige Wartung „erkauft“, so sinkt dadurch die Verfügbarkeit. Grundsätzlich gilt jedoch, dass eine Verbesserung der Zuverlässigkeit mit einer Erhöhung der Verfügbarkeit verbunden ist.

Um eine „bestimmte“ Zuverlässigkeit gewährleisten zu können, ist ein umfassendes Qualitätssicherungsprogramm erforderlich, wie es für Schienenfahrzeuge in der Norm EN 50126 „Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS)“ gefordert wird. Ein Teil dieses Programms umfasst auch den Nachweis der Funktionsfähigkeit aller Systeme unter den geforderten Klimabedingungen.

Auch wenn viele Einzelkomponenten von den Herstellern individuell getestet werden, zeigen sich manche Fehler oft erst im Zusammenspiel aller Systeme. Die Funktion aller Komponenten muss daher systematisch unter kritischen Klimabedingungen überprüft werden. Mit diesen Funktionstests kann auch eine prognostizierte Zuverlässigkeit unter schwierigen klimatischen Bedingungen nachgewiesen werden.

Die Zuverlässigkeit in der Praxis

„Alle reden vom Wetter. – Wir nicht.“ Mit diesem Slogan warb die Deutsche Bundesbahn vor Jahrzehnten. Sie wollte damit zeigen, dass die Reise mit der Bahn bei jeder Wetterlage pünktlich und komfortabel ist – ganz im Gegensatz zu den damaligen Kraftfahrzeugen.

Und wie sieht es heute aus? Das Automobil hat in puncto Komfort längst aufgeholt und jeder Berufspendler hat wohl schon einmal an einem kalten Wintertag auf den verspäteten Zug warten müssen. Eine der Hauptursachen für Verspätungen

tungen und Störungen im Bahnbetrieb ist die mangelnde Zuverlässigkeit der Fahrzeuge unter bestimmten Klimabedingungen. Mit ausführlichen Klimatests aller Komponenten vor der Inbetriebnahme des Fahrzeugs können Mängel frühzeitig erkannt und behoben werden.

Um Klimatests effizient und effektiv durchführen zu können, sind möglichst detaillierte Kenntnisse über die spezifische Klimaanfälligkeit der Komponenten erforderlich. Da die standardisierten Störungsaufzeichnungen der Bahnunternehmen diesbezüglich nur eingeschränkte Informationen beinhalten, wurden im Rahmen einer bei Rail Tec Arsenal durchgeführten Diplomarbeit [2] die klimabedingten Ausfälle von Fahrzeugkomponenten und -systemen durch eine Umfrage bei Bahnbetreibern und in der Schienenfahrzeugindustrie detailliert erhoben.

Abbildung 2 zeigt als ein Ergebnis der Studie die Störungshäufigkeit verschiedener Fahrzeugkomponenten.

Abbildung 2: Störungshäufigkeit verschiedener Komponenten nach [2]

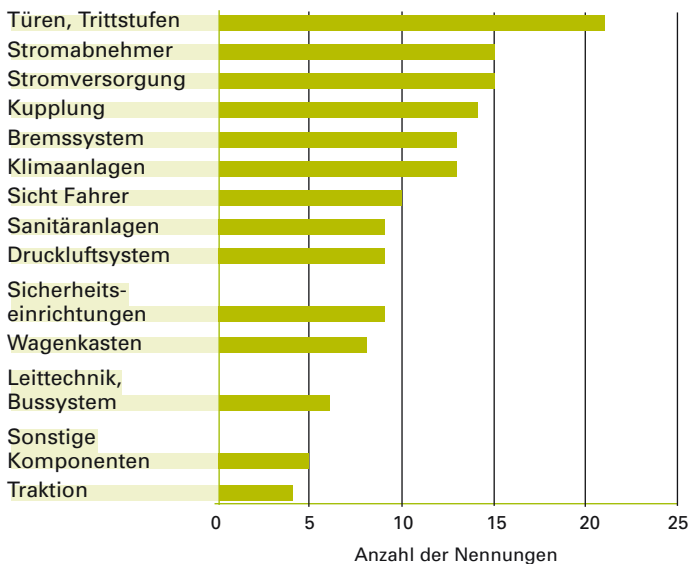


Abbildung 3 zeigt die Relevanz unterschiedlicher Klimabedingungen für verschiedene Komponenten. So sind Sommerbedingungen mit hoher Lufttemperatur und Luftfeuchte für Umrichter und Klimaanlage kritischer als Winterbedingungen, während Störungen am Stromabnehmer und Signalthorn ausschließlich durch Winterbedingungen ausgelöst werden.

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse einer weiteren Befragung zur Störungshäufigkeit und -relevanz einzelner Komponenten dargestellt. Diese stammen aus einer Umfrage unter rund 80 Bahnexperten, die im Rahmen des Internationalen Workshops „Climatic tests to increase reliability of rail vehicles“ im September 2005 in Wien durchgeführt wurde. Die Ergebnisse sind bezüglich der Häufigkeitsverteilung tendenziell mit den Umfrageergebnissen nach [2] vergleichbar. Interessant ist, dass die Relevanz nahezu aller aufgelisteten Komponenten als hoch eingestuft wurde. Dies zeigt deutlich, dass die Zuverlässigkeit unter bestimmten Klimabedingungen ein Problem ist, das alle Experten meist aus eigener leidvoller Erfahrung kennen.

Abbildung 3: Relevanz unterschiedlicher Klimabedingungen für verschiedene Komponenten nach [2]

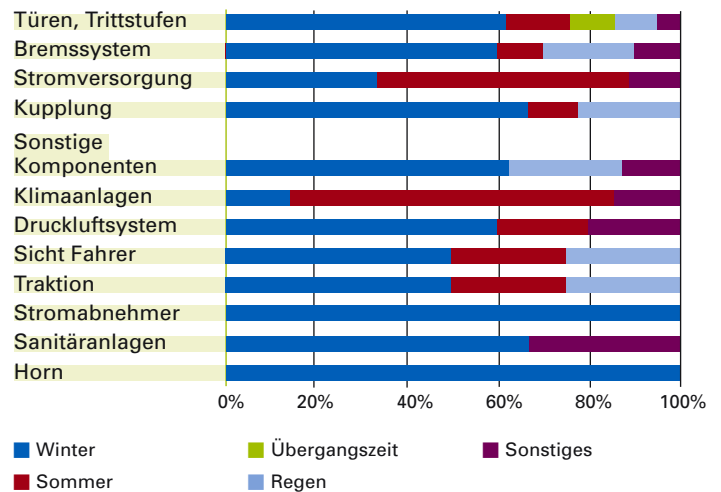
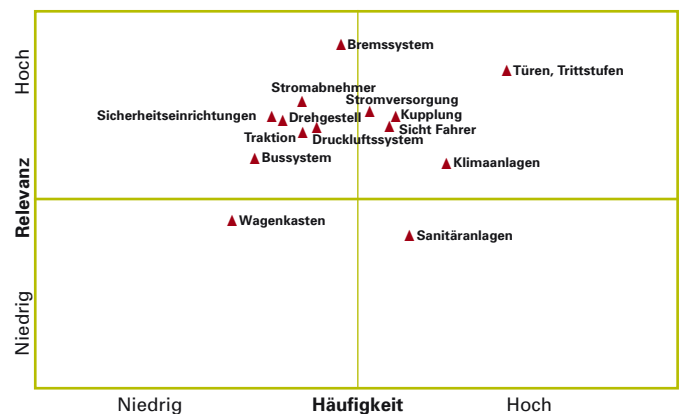


Abbildung 4: Relevanz versus Häufigkeit von Störungen verschiedener Komponenten nach [3]



Klimabedingungen

Zur Definition möglichst realitätsnaher Klima-Funktionstests müssen nicht nur die kritischen Betriebsbedingungen für spezifische Komponenten sondern auch die in der Natur auftretenden Klimabedingungen berücksichtigt werden.

In den beiden Normen EN 50125-1:2000 „Umweltbedingung für Betriebsmittel Teil 1: Betriebsmittel auf Bahnfahrzeugen“ und EN 60721-3-5:1998 „Klassifizierung von Umweltbedingungen, Teil 3: Klassen von Umwelteinflussgrößen und deren Grenzwerte, Hauptabschnitt 5: Einsatz an und in Landfahrzeugen“ sind die Umweltbedingungen für verschiedene Klimagebiete bzw. Einsatzarten beschrieben und klassifiziert.

Zwar können die darin angegebenen Grenzwerte für Temperatur, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Sonnenstrahlung, Regen etc. als Anhaltswerte für Funktionstests herangezogen werden, die eigentlichen kritischen Klima-

bedingungen, also das Zusammenspiel mehrerer Einzelparameter sowie detaillierte Klimaszenarien für spezifische Funktionstests, sind jedoch nicht definiert.

Beispielsweise wird in EN 50125-1 für Regen eine Niederschlagsmenge von 6 mm/min definiert, wobei „der Einfluss in Abhängigkeit von der Montage in Verbindung mit Wind und Fahrzeugbewegung zu berücksichtigen ist“. Dies ist zwar eine präzise Beschreibung für den „eigentlichen“ Regen, wenn es um die Wasserdichtheit von Komponenten oder die Wischerleistung geht. Für die Sicht des Fahrers ist jedoch bei dieser hohen Regenmenge auch das Beschlagen der Innenscheibe bei gleichzeitig hohen Außentemperaturen und damit verbundener Feuchte ein Thema.

Bezüglich Schnee, Eis und Hagel findet man in der Norm EN 50125-1 ebenfalls nur Hinweise: „Der Einfluss von Schnee und/oder Hagel muss berücksichtigt werden. [...] Alle möglichen Formen von auftretendem Schnee müssen berücksichtigt werden. In das Fahrzeug können große Mengen Pulverschnee gelangen und schmelzen. Die hinteren Fahrzeuge eines Zuges sind am meisten betroffen. Außerdem kann bei Stillstandszeiten der geschmolzene Schnee wieder einfrieren.“ bzw. „Der Einfluss von sich bildendem oder fallendem Eis ist bei allen Betriebsmitteln zu berücksichtigen, sowohl bei innen als auch bei außen am Fahrzeug installierten Betriebsmitteln.“

Dies sind richtige und wichtige Hinweise, definieren aber in keiner Weise kritische Klimatestbedingungen für Funktionstests an Komponenten. Diese sollten bei der Normung für die Komponenten in Zukunft stärker berücksichtigt werden.

Funktionstests

In einem Funktionstest werden der Betriebszustand und die zugehörigen Klimabedingungen simuliert, um eventuelle Mängel aufzudecken, wie etwa Fehlkonstruktionen oder nicht bedachte Wechselwirkungen. Diesem Verständnis von Funktionstests am nächsten kommen in den relevanten Normen die Definitionen für „Typprüfung“ und „Verifikation“.

Eine Typprüfung ist nach EN 50215 „eine Prüfung eines oder mehrerer Geräte, eines Systems oder vollständigen Fahrzeugs zum Nachweis, dass die Konstruktion den geforderten Spezifikationen und den relevanten Normen entspricht.“

Die Verifikation ist nach EN 50126 „die Bestätigung durch Überprüfung und objektiven Nachweis, dass die festgelegten Anforderungen erfüllt wurden.“

Kategorisierung hinsichtlich Klimabedingungen

Nahezu alle Einzelkomponenten von Schienenfahrzeugen können speziellen Funktionstests unter verschärften klimatischen Bedingungen unterzogen werden, um die Zuverlässigkeit der Systeme zu untersuchen. Diese Tests können je nach den geforderten klimatischen Bedingungen in folgenden Kategorien eingeteilt werden:

- ▶ Extreme Temperatur- und Luftfeuchtwerte belasten mechanische, elektrische, elektronische und pneumatische Komponenten.

- ▶ Regen und Fahrtwind lassen Undichtheiten des Gesamtfahrzeuges erkennen und zeigen besonders bei Übergängen, Türen und Fenstern ihre Auswirkung. Wichtig ist auch die Prüfung der Funktion der Scheibenwischer.
- ▶ Nasser Schnee wirkt auf alle den Außenbedingungen ausgesetzten mechanischen Komponenten wie Türen, Trittstufen, Kupplungen und Dachausrüstungen.
- ▶ Trockener Schnee führt als Flugschnee beim Eindringen in Ansaugöffnungen und Dichtungen oftmals zu Störungen.
- ▶ Eisbildung an mechanischen Komponenten wie Stromabnehmer, Trennschalter, Türen, Trittstufen und Kupplungen bewirkt Fehlfunktionen oder Blockieren des Subsystems.

Quasidynamische Erprobung

Tests am still stehenden Fahrzeug im Klimalabor reichen nicht aus, neben dem im Labor hergestellten Wetter muss auch die Bewegung des Fahrzeuges simuliert werden. Dazu dienen das Gebläse zur Fahrtwindsimulation sowie der Rollenprüfstand im Klima-Wind-Kanal. Der Zweiwellen-Rollenprüfstand hat eine angetriebene Welle und kann damit die übertragenen Zug- oder Bremskräfte messen. Dadurch kann der Verlauf der Radumfangskraft über die Fahrgeschwindigkeit bestimmt werden, wobei auch der Leistungsbedarf der Nebenaggregate beim jeweiligen Betriebszustand berücksichtigt wird.

Die Vorteile gegenüber Bremsversuchen auf einem Reibungsprüfstand sind vor allem der reale Rad-Schiene-Kontakt, die Fahrtwindsimulation, die Möglichkeit zum gezielten Einsatz von Schnee und Eis sowie die Verwendung des kompletten Prüffahrzeuges mit allen entscheidenden Komponenten [4].

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei Dieselfahrzeugen ist die Auslegung und Erprobung der Kühlanlage. In [5] werden Prüfziele diverser Systemprüfungen am Rollenprüfstand näher erläutert. Im Klima-Wind-Kanal können sowohl der Umgebungszustand – Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Sonneneinstrahlung – als auch die mechanische Belastung durch den Rollenprüfstand sehr realitätsnah simuliert werden [6]. Sehr wichtig ist auch die Simulation des Fahrtwindes, um die Strömungsverhältnisse am Kühler in der konkreten Einbausituation am Fahrzeug realistisch nachzubilden.

Erfahrungen aus der Praxis

Klimatests helfen, die Zuverlässigkeit von Schienenfahrzeugen vor der Auslieferung nachzuweisen. Werden dabei Mängel erkannt, so können diese meist mit vergleichsweise geringem Aufwand noch während der Klimatests behoben werden. Der Vorteil dabei ist, dass die getroffenen Maßnahmen sofort unter den gleichen Bedingungen auch auf ihre Effektivität hin geprüft werden.

Da bei nahezu allen Tests Mängel erkannt werden, lohnt sich der Aufwand von Klimatests allemal. Jeder Fehler, der vor dem Roll Out erkannt wird, reduziert die Anzahl an Fröhausfällen und vermeidet teure und aufwändige Revisionen, was Störungen und Mehrkosten im Betrieb erspart.

Beispiele aus dem Versuchsbetrieb

Wagenkasten

Unzureichende Wärmeisolierung und/oder Undichtheiten des Wagenkastens beeinflussen oft unzulässig stark die Temperaturen im Fahrzeuginnenen bzw. führen zu Kondensatbildung im Fahrgastraum oder Führerstand. Bei tiefen Außentemperaturen fallen dadurch die Oberflächentemperaturen des Fußbodens im Einstiegsbereich unter den Gefrierpunkt, was durch eine mögliche Eisbildung sogar ein Sicherheitsrisiko darstellt.

Die Ursache für diese Mängel können im Klima-Wind-Kanal identifiziert werden: Mit Rauch und Windsimulation werden undichte Stellen lokalisiert bzw. mit Hilfe einer Thermographiekamera die Wärmedämmung des Wagenkastens, der Türen, Fenster und Übergänge überprüft.

Türen und Trittstufen

Durch Ansammlung von Eis und Schnee im Türbereich lassen sich Türen nicht mehr oder nicht vollständig öffnen, schließen oder automatisch reversieren, und ausfahrbare Trittstufen bleiben stecken.

Oft reichen geringfügige konstruktive Maßnahmen oder steuerungstechnische Veränderungen, um hier Abhilfe zu schaffen oder Verbesserungen zu erzielen. Mit reproduzierbaren Schnee- und Vereisungsbedingungen können diese Maßnahmen effizient untersucht und ausgetestet werden.

Front- und Seitenscheiben

Durch ungenügende Scheibenheizleistung oder ungünstige Luftausblasbedingungen an der Frontscheibe oder an den Seitenscheiben des Führerraumes kommt es zum Beschlagen der Scheiben. Schnee- oder Eisansammlungen verschlechtern die Sichtbedingungen bis zum kompletten Versagen des Scheibenwischers.

Eine Ursache kann eine ungenügende Abstimmung des Scheibenwisch-, Scheibenwasch- und Scheibenheizsystems mit der Führerraumklimatisierung sein. Durch Veränderung der Einstellungen unter den verschiedensten Klimabedingungen können Lösungen gefunden werden.

Drehgestell mit Bremsanlage

Drehgestellkomponenten wie Dämpfungselemente, Sandungseinrichtungen, Neigetechik und die Bremsanlage selbst sind sicherheitsrelevante Einrichtungen, die auch bei extremen Umgebungsbedingungen nicht versagen dürfen. An diesen meist sehr exponierten Komponenten kann sich Schnee ansammeln und Eis bilden. Die möglichen Folgen reichen von teilweiser Funktionsbeeinträchtigung bis zum völligen Versagen, etwa bei Vereisung der Sandungseinrichtung.

Im Klima-Wind-Kanal können diese Unterflurbedingungen praxisnah am Rollenprüfstand nachgebildet werden. Bei Problemen können Abhilfemaßnahmen wie Heizen oder Verkleiden der Sandungseinrichtung getestet werden.

Energieversorgung und Bordelektronik

Die gesamte Energieversorgung eines Fahrzeuges – vom Stromabnehmer über Hauptschalter, Transformator, Umrichter, Batterie bis zur Bordelektronik – muss ebenso zuverlässig unter allen klimatischen Bedingungen funktionieren. Typischerweise führen sowohl tiefe als auch hohe Temperaturen mit zugleich hoher Luftfeuchte zu Problemen bei allen elektronischen Bauteilen. Bei Eisbildung kommen zumeist auch mechanische Probleme mit dem Stromabnehmer hinzu.

Mit Tests im Klima-Wind-Kanal können diese Abweichungen rechtzeitig erkannt und Verbesserungsmaßnahmen vorgenommen werden.

Klimaanlage

Die Klimaanlage zählt zwar nicht zu den sicherheitsrelevanten Komponenten eines Schienenfahrzeuges, hat aber bei Ausfall oder Störung spürbare Auswirkungen auf den Komfort der Fahrgäste und die Arbeitsbedingungen im Führerstand. Selbst bei extrem hohen Temperaturen (auch über dem Auslegungspunkt, z.B. 35°C und 50% relative Luftfeuchte für Mitteleuropa) darf sich die Anlage nicht komplett abschalten, sondern lediglich die Leistung reduzieren. Weiters hat die Klimaanlage auch für eine ausreichende Frischluftzufuhr zu sorgen.

Für die Einstellung der Luftverteilung im Fahrzeug auf die unterschiedlichen Lasten, die Optimierung der Regelung und den Nachweis der Leistungsgrenzen sind Tests in einem Klima-Wind-Kanal unerlässlich.

Schlussfolgerungen

Die oben beschriebenen Funktionstests zeigen nur einige Beispiele aus der Praxis. Nachfolgende Tabelle gibt einen etwas detaillierteren Überblick über typische Funktionstests an verschiedenen Komponenten, wobei neben den Störungsszenarien auch die Klimabedingungen während des Tests sowie die Funktionsanforderungen kurz beschrieben sind.

Detaillierte Anweisungen für die Durchführung und Bewertung dieser Funktionstests garantieren ein hohes Maß an Standardisierung und damit Vergleichbarkeit. Für die Entwicklung weiterer Funktionstests unter kritischen Klimabedingungen, aber auch für die laufende Evaluierung der Effektivität der Funktionstests sind Rückmeldungen vom Betriebseinsatz unerlässlich.

Funktionstests in einem Klima-Wind-Kanal tragen wesentlich dazu bei, das Risiko im Betrieb zu senken und die Zuverlässigkeit von Schienenfahrzeugen unter allen Wetterbedingungen zu erhöhen. Wie die Versuchspraxis immer wieder zeigt, sind Untersuchungen des kompletten Schienenfahrzeugs notwendig, da auch die beste Baugruppenkontrolle keine Garantie für das Funktionieren im Gesamtfahrzeug darstellt.

Der große Vorteil der Untersuchungen in einem Klima-Wind-Kanal ist die exakte Reproduzierbarkeit der Klimazustände und damit die Möglichkeit, Verbesserungen auch sofort verifizieren zu können – das spart Zeit und Kosten.

Funktionstest an zuverlässigkeitsrelevanten Komponenten

Komponente	Störung	Klimabedingung	Anforderung
Türen, Trittstufen  	Funktionsstörung durch Antau- und Anfriervorgänge von eindringendem Flugschnee	 Beschneien mit Trockenschnee Temperatur: -20°C Fahrtwind: bis 100 km/h Dauer: 30 min (Fahrzeug im Regelbetrieb).	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Keine Schneeanammlung im Fahrzeug ▶ Tür und Trittstufen öffnen und schließen vollständig ▶ Schließkräfte, Klemmschutz etc. entsprechen Anforderungen der EN 14752
	Funktionsstörung beim Öffnen und Schließen durch Eisbildung	 Vereisung Eisdicke: 1-2 mm Temperatur: -20°C Aushärtezeit 10 min (Fahrzeug abgestellt).	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Tür und Trittstufen öffnen und schließen vollständig ▶ Schließkräfte, Klemmschutz etc. entsprechen Anforderungen der EN 14752
	Funktionsstörung der Trittstufe durch Schneeanammlung und Anfriervorgänge während des Fahrzykluses (Fahrt mit Stationshalten)	 Aufbringung einer Nassschneesicht auf ausgefahrene Trittstufe Schneedicke: ca. 2 cm Verfestigung Simulierter Fahrbetrieb mit eingefahrener Trittstufe Temperatur: -10°C Dauer: 15 min. Zyklus wird mindestens 3-mal wiederholt.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Trittstufe lässt sich ein- und ausfahren ▶ Trittstufe erkennt Hindernis und liegt bei Berührung unterhalb der 300 N Spitzenlast nach EN 14752 ▶ Trittstufe bewegt sich nicht mehr, wenn die Tür vollständig geöffnet ist
	Funktionsstörung der Türsteuerung bei extremen Außentemperaturen	 Extreme Temperaturen / rel. Luftfeuchtigkeit gemäß dem Einsatzbereich	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Tür und Trittstufen öffnen und schließen vollständig ▶ Schließkräfte, Klemmschutz etc. entsprechen Anforderungen der EN 14752
Stromversorgung, Umrichter, Bordnetz	Ausfall des Umrichters bei hohen Außentemperaturen und Luftfeuchte	 Abkühlung des Umrichters auf +5°C bei hoher Luftfeuchtigkeit Rasches Aufheizen auf die Extrembedingungen des Einsatzbereiches - mögliche Kondensationsbildung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Umrichter fällt bei 3-stündigem Betrieb bei Extrembedingungen nicht aus ▶ Keine Leistungseinschränkungen des Umrichters
	Störungen oder Fehlermeldungen beim Aufrüsten des Bordnetzes bei extremen Klimabedingungen	 Extreme Temperaturen / rel. Luftfeuchte gemäß Einsatzbereich.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Beim Aufrüsten des Bordnetzes treten keine Störungen oder Fehlermeldungen auf

Komponente	Störung	Klimabedingung	Anforderung
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Drehgestell, Bremssystem, Neigesystem, Niveauregelung</p> 	<p>Bremswegverlängerung durch Schneeanammlung am Bremssystem</p>	<p> Beschneien mit Nassschnee am Rollenprüfstand Temperatur: -7°C Dauer: 30 min</p> <p>Haltebremsung</p> <p>Mehrmalige Wiederholung zur Untersuchung des Einflusses weiterer Akkumulation von Schnee-Eisgemischen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Funktion der mechanischen Komponenten ist uneingeschränkt gegeben ▶ Bremswegverlängerung mit Schnee weniger als 15 % gemäß UIC 541-3
	<p>Funktionseinschränkung des Bremssystems durch Eisanammlung</p>	<p> Vereisung aller mechanisch bewegten Teile Eisdicke: bis zu 5 mm Temperatur: -20°C</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Funktion der mechanischen Komponenten ist uneingeschränkt gegeben ▶ Bremsbeläge legen sich an und sind nach Lösen wieder frei beweglich
	<p>Blockierung der Besandungsanlage durch gefrorenes Eis-Schneegemisch</p>	<p> Beschneien mit Nassschnee Temperatur: -10°C Dauer: 30 min + 10 min Aushärtezeit</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Funktion der Besandungsanlage ist gegeben ▶ Mindestsandmenge wird erreicht
	<p>Funktionseinschränkung der Magnetschienenbremse durch Schneeanammlung und Eisbildung</p>	<p> Beschneien mit Nassschnee Temperatur: -10°C Dauer: 30 min + 10 min Aushärtezeit</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Funktion der Magnetschienenbremse (Heben und Senken) ist gegeben ▶ Abstand zur Schienenoberkante im zulässigen Toleranzbereich
	<p>Funktionseinschränkung der Niveauregulierung bzw. des Neigesystems durch Schneeanammlung und Eisbildung</p>	<p> Beschneien mit Trockenschnee Temperatur: -20°C Dauer: 30 min</p> <p> Kurze Beregnung + 10 min Aushärtezeit</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Funktion der Niveauregulierung bzw. des Neigesystems ist gegeben ▶ Abstand zur Schienenoberkante im zulässigen Toleranzbereich
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Signalhorn</p>	<p>Maximaler Schalldruckpegel unter Einwirkung von Schnee reduziert bzw. weist Zeitverzögerung auf</p>	<p> Beschneien mit Trockenschnee Temperatur: -20°C mit Fahrtwind Dauer: 30 min (Fahrzeug im Regelbetrieb).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Reduktion des Schalldruckpegels gegenüber Normalbedingungen kleiner 8 dB(A) und Verzögerung bis zum Erreichen des maximalen Schalldruckpegels kleiner 1 s gemäß EN 15153-2
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Druckluftsystem</p>	<p>Eisbildung durch Feuchteinschlüsse</p>	<p> Temperatur: -20°C Dauer: 6 Stunden (Fahrzeug abgestellt)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Kompressor läuft an ▶ Lufttrocknung funktioniert im definierten Bereich

Komponente	Störung	Klimabedingung	Anforderung
Stromabnehmer 	Stromabnehmer lässt sich aufgrund von Eisansatz nicht anheben	 Vereisung Eisdicke: ca. 3 mm Temperatur: -10°C 10 min Aushärtezeit	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Stromabnehmer hebt und senkt sich im definierten Bereich ▶ Kontaktkraft am Fahrdrabt innerhalb der vorgesehenen Toleranz
	Stromabnehmer lässt sich aufgrund von Schneean-sammlung nicht anheben	 Beschneien mit Nassschnee Schneedicke: ca. 3 cm Temperatur: -10°C	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Stromabnehmer hebt und senkt sich im definierten Bereich ▶ Kontaktkraft am Fahrdrabt innerhalb der vorgesehenen Toleranz
Kupplung 	Kupplungsvorgang durch Eisbelag beeinträchtigt	 Vereisung Eisdicke: ca. 2 mm Temperatur: -20°C	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mechanischer und elektrischer Kupplungsvorgang uneingeschränkt möglich
	Kupplungsvorgang durch Schneean-sammlung beeinträchtigt	 Beschneien mit Nassschnee Temperatur: -10°C Dauer: 30 min Beschneien mit Trockenschnee Temperatur: -20°C Dauer: 30 min.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mechanischer und elektrischer Kupplungsvorgang uneingeschränkt möglich ▶ Keine behindernden Schnee- und Wassereinschlüsse während des Kupplungsvorganges
Klimaanlage	Funktionseinschränkung durch angesaugten oder eindringenden Trockenschnee	 Beschneien mit Trockenschnee Temperatur: -20°C Fahrtwind: bis 30 km/h Dauer: 30 min (Fahrzeug im Regelbetrieb).	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Keine Funktionseinschränkung (z.B. Reduktion der Frischluftmenge) der Klimaanlage ▶ Eindringener Schnee (Wasser) verursacht keine Störung und liegt innerhalb der Toleranzen
	Abschaltung der Klimaanlage bei extrem hohen Außentemperaturen	 Extreme Temperaturen / rel. Luftfeuchtigkeit 5 K (10 K) über dem Einsatzbereich	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Keine Funktionseinschränkung der Klimaanlage
Sanitär-anlage	Wasserschäden durch aufgefrorene Sanitäranlage	 Temperatur: -10°C Dauer: 12 Stunden (Fahrzeug abgestellt)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Keine sichtbaren Schäden ▶ Funktion der Sanitäreinrichtung gegeben.

Komponente	Störung	Klimabedingung	Anforderung
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Scheibenheizung, Scheibenwischer, Seitenspiegel (Kamera)</p>	<p>Sicht des Fahrers bei Regen eingeschränkt</p>	 <p>Beregnung der Frontscheibe Temperatur: ca. +20°C Unterschiedliche Fahrgeschwindigkeiten</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Schlierenfreie Entfernung des Wasserfilms bei allen Fahrgeschwindigkeiten ▶ Kein Beschlagen der Innenseite
	<p>Sicht des Fahrers bei Schnee eingeschränkt</p>	 <p>Beschneieung Frontscheibe und Seitenspiegel mit Nassschnee Temperatur: 0°C bis -10°C Unterschiedliche Fahrgeschwindigkeiten</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Schlierenfreie Schneentfernung im Wischerbereich der Frontscheibe ▶ Keine Funktionseinschränkung durch Schneean Sammlung am Wischerarm ▶ Seitenspiegelfunktionen (z.B. Ein- und Ausklappen) und Sicht gegeben
	<p>Abtauvorgang bei Eisbildung an Frontscheibe und Seitenspiegel eingeschränkt</p>	 <p>Vereisung Eisdicke: ca. 2 mm Temperatur: -10°C bis -20°C Aushärtezeit: 10 min (Fahrzeug abgestellt).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Entfernung der Eisschicht an der Frontscheibe und am Seitenspiegel in der geforderten Zeit ▶ Scheibenwischerfunktion nach Abtauvorgang gegeben ▶ Seitenspiegelfunktionen (z.B. Ein- und Ausklappen) und Sicht gegeben
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Traction</p>	<p>Dieselmotor startet nicht bei tiefen Temperaturen</p>	 <p>Abkühlung des Fahrzeugs auf -20°C</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Startprozedur (Vorwärmen, Anlassen etc) erfolgreich ▶ Keine Auffälligkeiten im Leerlauf ▶ Nach Erreichen der Betriebstemperatur keine Leistungseinschränkung auf dem Rollenprüfstand
	<p>Überhitzung des Antriebskühlsystems bei hohen Außentemperaturen führt zur Leistungsreduktion bzw. Ausfall des Motors</p>	 <p>Unterschiedliche Belastung des Kühlsystems bei den extremen Klimabedingungen des Einsatzbereichs auf dem Rollenprüfstand (unterschiedliche Motor- bzw. Retarderleistungen)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Einhaltung der maximal zulässigen Kühlkreislauftemperaturen ▶ Leistungseinschränkung des Motors / Retarder im zulässigen Toleranzbereich
	<p>Funktionseinschränkung der Motorkühlung durch Eindringen von Trockenschnee</p>	 <p>Beschneien mit Trockenschnee Temperatur: -20°C Fahrtwind: bis 30 km/h Dauer: 30 min (Fahrzeug im Regelbetrieb).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Keine Funktionseinschränkung ▶ Eindringener Schnee (Wasser) verursacht keine Störung und liegt innerhalb der Toleranzen



Literatur

[1] **B. Bertsche, G. Lechner:** Zuverlässigkeit im Fahrzeug- und Maschinenbau, Springer-Verlag, 2004

[2] **G. Richter:** Entwicklung und Bewertung neuer Funktionstests im Klima-Wind-Kanal Wien zur Erhöhung der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit von Schienenfahrzeugen, Technische Hochschule in Aachen, 2005

[3] **G. Haller:** Climatic tests to increase reliability of rail vehicles; Proceedings of RTA Workshop Vienna, 2005

[4] **H. Ferschitz:** Bremsversuche unter extremen klimatischen Bedingungen, Dresden Rad-Schiene Tagung 2003

[5] **H. Seidel:** Klima- und Systemprüfungen am Triebzug DH4 „Paradise“ im neuen Wiener Klima-Wind-Kanal, Eisenbahn-Revue 2/2006

[6] **O. Bucek:** Tests auf dem Rollenprüfstand im Klima-Wind-Kanal Wien, Dresden Rad-Schiene Tagung 2005

Impressum

RTA Rail Tec Arsenal Fahrzeugversuchsanlage GmbH

1210 Wien
Paukerwerkstrasse 3
Österreich
Tel: +43 1 256 80 81
Fax: +43 1 256 80 81-600
contact@rta.co.at
www.rta.co.at

Für den Inhalt verantwortlich: Dipl.-Ing. Gabriel Haller
Grafische Gestaltung: www.gruenberg4.at
Druck: Druckerei Robitschek

Fachpublikation September 2006



RTA Rail Tec Arsenal Fahrzeugversuchsanlage GmbH
1210 Wien | Paukerwerkstrasse 3 | Österreich
Tel: +43 1 256 80 81 | contact@rta.co.at | www.rta.co.at

rta
RAIL TEC ARSENAL