



- ▶ **WISSEN SCHAFFT FORTSCHRITT®**
- ▶ **GWP WHITE PAPER UWS 002**
- ▶ **AUTOREN**

Dr. Julius Nickl
Dipl. Chemiker
Geschäftsführer
Senior-Experte für
Industrielle Prozesse und Produkte
julius.nickl@gwp.eu

1 ZUSAMMENFASSUNG

Airbag-Treibstoffe sind angewandte Chemie – und reaktive Mischungen als Pressling können altern. Der „TAKATA-Rückruf“ von Ammoniumnitrat-basierenden Treibstoffen zeigt die Notwendigkeit einer sicheren, praxisnahen Methode zur gerafften Alterung und damit zur Lebensdauerprüfung. Kennt man erst die Alterungsmechanismen – ermittelt durch umfangreiche Versuchsarten – so kann man systematisch eine Zeitraffung der Alterung entwickeln. Hier wird der Temperaturhub und das -niveau, der Wassergehalt des Treibstoffes, die relative Feuchte der Umgebungsluft, die eingesetzte Menge der Pyrotechnik, der „Atmungsraum“ sowie geeignete Gefäße und deren Abdichtung derart kombiniert, dass in optimal verkürzter Zeit die Alterung gerafft erfolgt. Aus diesen Daten resultieren

Lebensdauermodelle und es sind Vorhersagen der voraussichtlichen Einsatzzeit in einer Klimazone möglich.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	1
2	Einführung	2
3	Experimentelles.....	4
4	Durchführung und Diskussion.....	5
5	Zusammenfassung	5
	Danksagung	6
6	Anhang.....	6
	Literaturverzeichnis.....	6
	Abbildungen	7
	Versionskontrolle.....	7

2 EINFÜHRUNG

Die wesentliche Leistung einer Treibladung besteht darin, eine bestimmte Gasmenge in einer definierten und kurzen Zeitspanne freizusetzen – bei Airbags in rund 20 msec, nicht mal ein Wimpernschlag. Das pyrotechnische Verhalten einer Treibladung hängt dabei nicht nur vom chemischen „Rezept“ ab – die Ladungs-geometrien der Pressling-Formen spielen eine wesentliche Rolle. Für Anwendungen in Airbag-Systemen ist dabei entscheidend, dass die Gasentwicklung weder das Gehäuse des Gasgenerators beschädigt, noch zu zaghaft verläuft. Beide Abweichungen vom vorgesehenen pyrotechnischen Verhalten würden die Wirksamkeit des Airbags senken bzw. den Fahrzeuginsassen einer Gefahr aussetzen. Airbag-Gasgeneratoren weisen zudem die Eigenart auf, dass sie betriebsbereit in ein Fahrzeug verbaut werden und in diesem Zustand über eine (je nach Fahrverhalten) längere Zeit betriebsbereit bewegt werden. Die Tatsache, dass sie dabei ein normales Autoleben mitmachen, trägt neben der funktionsbedingenden Bauweise dazu bei, dass die Treibladung mitunter drastischen Umwelteinflüssen ausgesetzt ist. Unerwünschte Änderungen des pyrotechnischen Verhaltens des Gas-generators und letztlich der Übergang von Deflagration zu Detonation (deflagration to detonation transition – DDT) können resultieren (Abbildung 1).

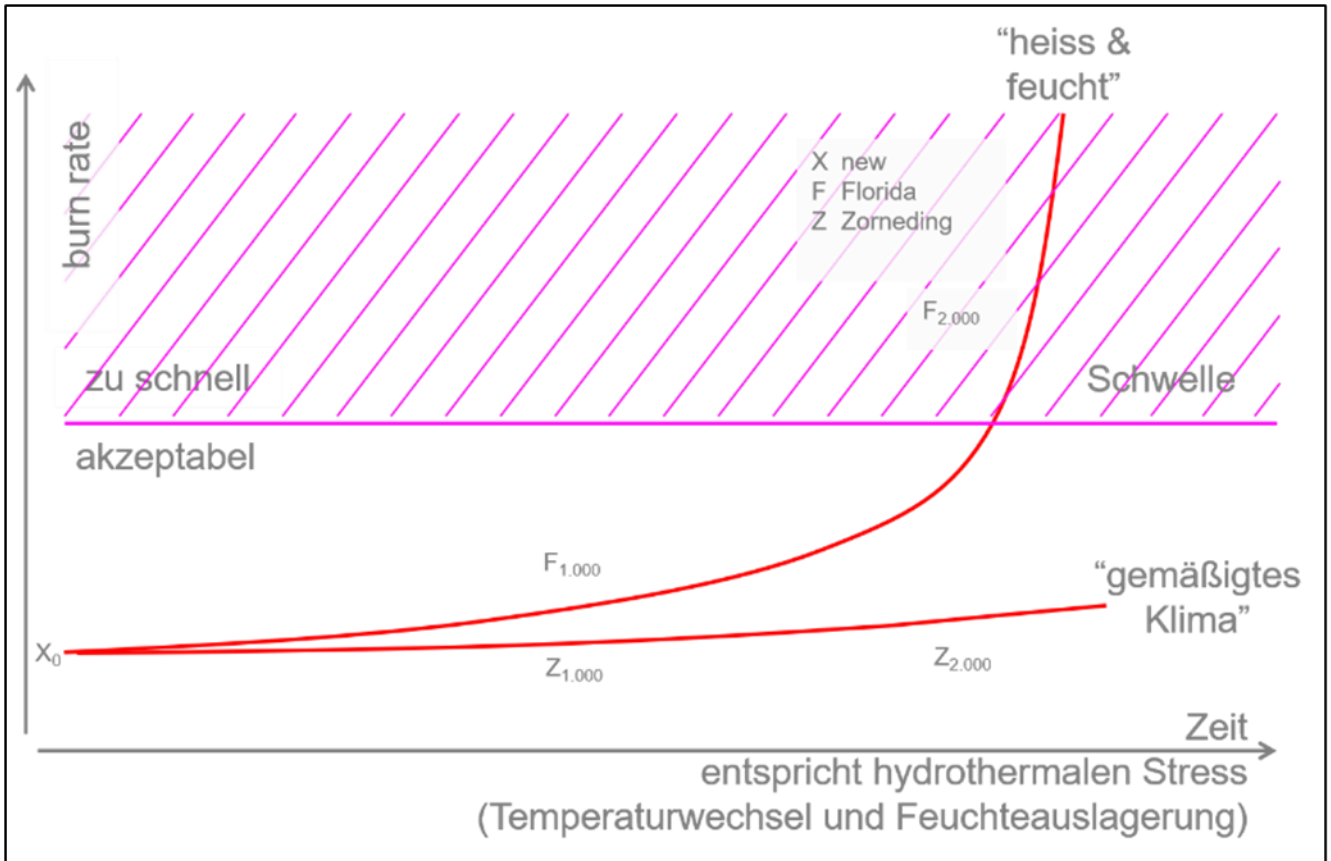


Abbildung 1: Korrelation von Abbrandgeschwindigkeit und dem Alter einer Triebladung in verschiedenen Klimazonen

Im Jahr 2014 wurden fünf Todesfälle (4 in den USA, 1 in Malaysia) durch Schrapnell-verletzungen infolge herumfliegender Metallsplitter nach regulärer und Fehl-auslösung von Fahrerairbags beobachtet. Deshalb forderte die amerikanische Verkehrssicherheitsbehörde NHTSA in der Folge die Airbag-Herstellerfirma Takata zum Rückruf aller eingebauten Frontairbags in den feuchteren Südstaaten der Vereinigten Staaten auf. [1] Ein Grund für die Fehlauslösung der Airbags war die Verwendung von Ammoniumnitrat in der Airbag-Treibladung. Ammoniumnitrat ist empfindlich gegenüber Temperatur- und Feuchtigkeitsänderungen und zersetzt sich im Lauf der Zeit, wobei explosions-anfälligere Verbindungen mit höherer Reaktionsgeschwindigkeit entstehen und so zu einer stärkeren Airbag-Auslösung führen können. [2] Auch konnte Kristallwachstum der Ammoniumnitrat-Partikel im Treibladungspressling beobachtet werden. Die durch Takata 2015 auf Forderung der NHTSA gestartete Rückrufaktion der USA wuchs sich zur weltgrößten derartigen Rückrufaktion aus. Betroffen waren erneut japanische Automarken weltweit sowie Autobauer mit Produktionsstandort in den USA [3]. Elf Todesfälle werden mit diesem Defekt in Zusammenhang gebracht [4].

Um die Sicherheit gegenwärtig im Feld genutzter Airbag-Treibladungen beurteilen zu können, und um eine Wiederholung ähnlicher Geschehnisse künftig zu vermeiden, wurden durch die Gesellschaft für Werkstoffprüfung (GWP) seit 2015 Treibladungen von ammoniumnitrathaltigen Airbag-Gasgeneratoren untersucht.

Besonderes Augenmerk der Untersuchungen lag dabei auf den Auswirkungen der Umwelteinflüsse auf die Treibladungen.

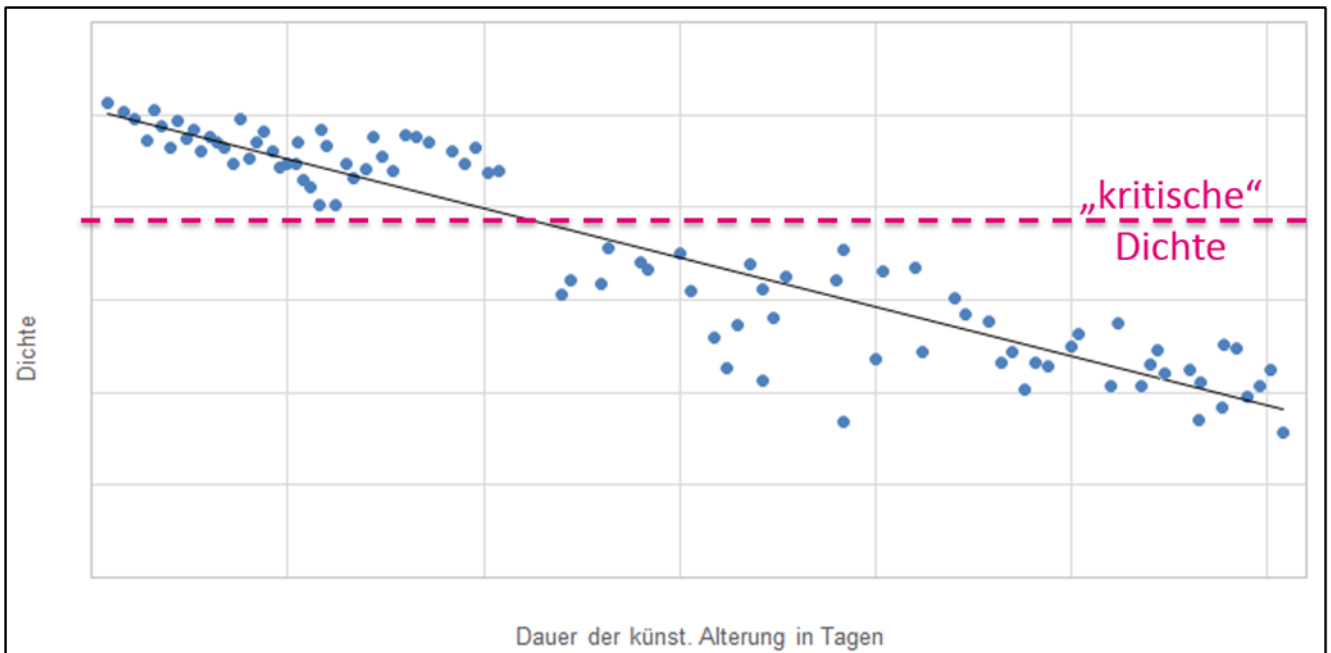


Abbildung 2: Typische Entwicklung der Dichteabnahme eines Airbag-Treibstoffes über die Tage unter der Umweltsimulation mit Temperatur- und Feuchtezyklen

3 EXPERIMENTELLES

Um die Umweltauswirkungen auf kraftfahrzeugverbaute Airbag-Gasgeneratoren zu untersuchen, wurden Umweltsimulationen angewendet, in denen sowohl Feuchte als auch Temperatur zyklisch variiert wurden. Gasgeneratoren wurden dabei im Zustand nach Produktion und nach definierter Befeuchtung künstlich gealtert. Treibladungen wurden hinsichtlich der makroskopisch erkennbaren Änderung ihrer Morphologie und ihrer chemischen wie pyrotechnischen Veränderung in Folge der Umweltsimulation untersucht. Dazu fanden Beprobungen nach einer jeweils vorher festgelegten Anzahl von Simulationszyklen statt.

Die Studie wurde durch Untersuchungen an Airbag-Gasgeneratoren aus dem Feld ergänzt und erlaubte so den Abgleich zwischen Labor- und Feldbedingungen.



Abbildung 3: Umweltsimulation in der Klimakammer: die Treibladungspresslinge befinden sich in metallisch dichten Gefäßen mit vordefiniertem Feuchteniveau.

4 DURCHFÜHRUNG UND DISKUSSION

Alterungsversuchen der z. B. für die Beurteilung der Langzeitlagerfähigkeit von Medikamenten verwendeten Art einer beschleunigten Alterung bei erhöhter Temperatur [5] liegt der Effekt zugrunde, dass eine chemische Reaktion durch Temperaturerhöhung beschleunigt werden kann. Bei bekannter Aktivierungsenthalpie der Reaktion kann sogar die Beschleunigung der chemischen Reaktion für die jeweils herrschende Temperatur mit Hilfe der Arrhenius-Gleichung [6] berechnet werden. Diese Verfahren zeigen jedoch damit auch grundsätzliche Schwächen, die ihre Anwendbarkeit auf die besondere Problemstellung der Umwelteinflüsse auf Airbag-Gasgeneratoren einschränkt. Im Falle der untersuchten Ammoniumnitratbasierten Treibladungen konnte ein deutlicher Einfluss des Kristallwachstums des Ammoniumnitrats auf die Morphologie der Treibladungspresslinge und damit letztendlich auf das pyrotechnische Abbrandverhalten nachgewiesen werden.

Kristallwachstum wird durch das Phänomen der Ostwald-Reifung erklärt [7]. Dabei werden kleinere Kristalle gelöst bzw. wachsen größere Kristalle im Kolloid. Die zugrunde liegenden Lösungsvorgänge sind dabei offensichtlich von der Anwesenheit von Lösemitteln abhängig. Da auch die Löslichkeit eines Stoffs temperaturabhängig ist und von der Korn- bzw. Kristallgröße abhängt, sind Feuchte- und Temperaturschwankungen von herausragender Bedeutung.

Die Anwendung zyklischer Klimasimulation zeigte sich als adäquates Verfahren der Umweltsimulation an Airbag-Gasgeneratoren und deren Treibladungen.

Die Korrelation pyrotechnischer und morphologischer Charakteristika erlaubte die Ableitung eines morphologischen Grenzwerts, anhand dessen auf eine gefährliche Veränderung der Treibladung infolge von Umwelteinflüssen bzw. der Alterung geschlossen werden konnte. Dies konnte durch Abgleich der Ergebnisse der Umweltsimulation im Labor mit den Ergebnissen der Untersuchungen real gealterter Feld-Airbag-Gasgeneratoren bestätigt werden.

Obgleich nicht alle der Änderung des pyrotechnischen Verhaltens der Airbag-Gasgeneratoren zugrunde liegenden Mechanismen und Prozesse restlos aufgeklärt sind, konnte mit der Umweltsimulation ein wesentlicher Teil abgedeckt und unter beschleunigenden Laborbedingungen simuliert werden.

Die kontinuierliche Adaption des Studien-Designs unter Einbeziehung der Daten aus dem Feld und neuer Erkenntnisse, z. B. aus Root-Cause-Analysen, erlaubt eine Verfeinerung der Simulation und eröffnet somit schließlich mit einem verfeinerten Lebensdauermodell eine Vorhersage-möglichkeit zur Abschätzung des „Mindesthaltbarkeitsdatums“ für einen Gasgeneratortyp. Offensichtlich sind dabei jedoch Fahrzeug- und verbauspezifische Details von maßgeblicher Bedeutung für das Lebensdauermodell, weshalb ein genaues und allgemein gültiges Vorhersagemodell für einen Gasgeneratoren-Typ bislang noch in der Ferne liegt.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Alterung in Folge von Umwelteinflüssen ist für Treibladungen in Airbag-Gasgeneratoren ein reales Problem mit erheblicher Sicherheitsrelevanz für den Kraftfahrer.

Beschleunigte Alterung der Treibladung bei erhöhter Temperatur erlaubte keine adäquate Abbildung der im Feld erfahrenen Umwelteinflüsse und war nicht geeignet, Effekte durch wiederholte Temperatur- und Feuchteschwankungen auf die Treibladung zu simulieren. Die Anwendung von Klimazyklen führte zu einer realistischen Umweltsimulation an Airbag-Gasgeneratoren und Treibladungen. Die planvolle Untersuchung gealterter Proben erbrachte eine Korrelation zwischen makroskopischen Merkmalen der Treibladung und Änderungen in ihrem pyrotechnischen Verhalten.

Die stete Anpassung der Umweltsimulation an Felddaten und neue Erkenntnisse führte zu einer kontinuierlichen Verbesserung des Lebensdauermodells.

DANKSAGUNG

Fallspezifische Umweltsimulationen dienen der Aufklärung unerwarteter Fehlfunktionen im Feld und letztlich der Risikobewertung von Massenbauteilen. Dazu müssen viele Kompetenzen zusammenwirken; die GWP dankt ihren über 2.000 Auftraggebern für die Ermöglichung der gewachsenen Experten- & Laborlandschaft der GWP.

- ▶ Dr. Julius Nickl
Berichtsersteller und
Interne Prüfung

6 ANHANG

Literaturverzeichnis

- Gough, N., Soble, J., Tabuchi, H. Defective Takata Airbag Grows Into Global Problem for Manufacturer. In: New York Times online. 18. November 2014, abgerufen am 20. November 2014 (englisch)
- Tabuchi, H. Takata's Switch to Cheaper Airbag Propellant Is at Center of Crisis. In: New York Times online. 19. November 2014, abgerufen am 20. November 2014 (englisch)
- Dpa. (2015). Defekte Airbags aus Japan lösen erneut Massenrückruf aus. In: Focus Online. 13. Mai 2015, abgerufen am 15. Mai 2015
- Riesen-Rückruf bei Takata: Zulieferer zieht weitere 35 Millionen Airbags aus dem Verkehr. In: Focus Online. 4. Mai 2016, abgerufen am 4. Mai 2016
- WHO, WHO Techn. Rept. Ser. 2009, 953
- Arrhenius, S. (1889). Z. Phys. Chem., 4, 226-248
- Ostwald, W. (1900). Über die vermeintliche Isomerie des roten und gelben Quecksilberoxyds und die Oberflächenspannung fester Körper. Z. Phys. Chem., 34, 495-503

Abbildungen

Abbildung 1: Korrelation von Abbrandgeschwindigkeit und dem Alter einer Triebladung in verschiedenen Klimazonen 3

Abbildung 2: Typische Entwicklung der Dichteabnahme eines Airbag-Treibstoffes über die Tage unter der Umweltsimulation mit Temperatur- und Feuchtezyklen 4

Abbildung 3: Umweltsimulation in der Klimakammer: die Triebladungspresslinge befinden sich in metallisch dichten Gefäßen mit vordefiniertem Feuchteniveau. 4

VERSIONSKONTROLLE

Revision Datum	Autor	REV	Bemerkung
2019-07-15	JAN LoS	06	Erstellung
2022-02-09	Be0	07	Überarbeitung neues Format



WISSEN SCHAFFT FORTSCHRITT®

- ▶ Qualität sichern
- ▶ Entwicklungen begleiten
- ▶ Schäden analysieren
- ▶ Wissen weitergeben

LABOR-SERVICES

- ▶ Analytik
- ▶ Werkstoffprüfung
- ▶ Metallografie
- ▶ Mikroskopie
- ▶ Airbag-Labor
- ▶ Zerstörungsfreie Prüfung
- ▶ Physikalische Prüfung
- ▶ Brandprüfungen
- ▶ Werkstatt
- ▶ ParticleCheck
- ▶ Kunststoff-Labor
- ▶ Umweltsimulation
- ▶ Sprengstofflabor

SCHADENSANALYSE & ENTWICKLUNGSBEGLEITUNG

- ▶ Airbag
- ▶ Automotive
- ▶ Kunststoffe
- ▶ Katalyse
- ▶ Batterien
- ▶ Bauwirtschaft
- ▶ Chemie
- ▶ Elektrotechnik
- ▶ Maschinenbau
- ▶ Luftfahrt
- ▶ Medizintechnik

