

# Innovatives Sicherheitskonzept für Endogas-Generatoren zur Einhaltung gesetzlicher Auflagen

Innovative security concept for endogas generators guarantees compliance with legal regulations

Von Ingolf Matt, Tammo Redeker, Guido Plicht, Harald Schillak, Edgar Weiler

Das Werk Gaggenau betreibt im Gebäude 131 des Werkteils Rastatt sieben Endogas-Generatoren zur Erzeugung einer Trägergas-Atmosphäre für Aufkohlungs- und Härteöfen. Um die Anlagen den aktuellen europäischen Gesetzesvorgaben des Explosionsschutzes anzupassen, beauftragte das Unternehmen das Institut IBExU und die Firma Air Products GmbH, ein neues Explosionsschutz- und Verfahrenskonzept für den Betrieb der Generatoren zu erstellen. Durch eine Kombination technischer Verbesserungen und entsprechend angepasster Verfahrensvorschriften erfüllt die Anlage nun in vollem Umfang sämtliche rechtliche Auflagen. Darüber hinaus erzielt Mercedes-Benz-Werk Gaggenau durch das neue Konzept auch betriebswirtschaftliche Vorteile.

In its plant Gaggenau, building 131 of the site in Rastatt Mercedes Benz operates seven endogas generators to supply the carburising- and hardening furnace with a protective gas atmosphere. To adjust the facilities to the current european statutory provisions of explosion safety, the company charged the institute IBExU and Air Products to develop a new explosion safety and engineering concept for the generators. Through a combination of technical innovation and accordingly adjusted process regulations the facility now complies with all legal requirements. In addition Mercedes Benz Werk Gaggenau yields economical advantages by the new concept too.

Das Mercedes-Benz-Werk Gaggenau betreibt in seinem Werkteil Rastatt markt- und handelsübliche Endogas-Generatoren zur Versorgung der Aufkohlungs- und Härteöfen mit einer Trägergas-Atmosphäre, bestehend aus ca. 18,5 bis 20 Vol.-% Kohlenmonoxid (CO), ca. 37,5 bis 39 Vol.-% Wasserstoff (H<sub>2</sub>), geringen Anteilen an Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasser (H<sub>2</sub>O) sowie einem entsprechend hohen Restanteil von nahezu 40 Vol.-% an Stickstoff (N<sub>2</sub>). Im Zuge der überarbeiteten Gesetzgebung im Bereich des Explosionsschutzes und der damit verbundenen erhöhten Betreiberverantwortung für Industrieprozesse hat sich das Mercedes-Benz-Werk Gaggenau auferlegt, die Endogas-Generato-

ren auf Betriebssicherheit zu prüfen, sowie die Ausführung nach dem heutigen Stand der Technik zu überarbeiten. Zur Realisierung dieses Projektes beauftragte Mercedes Benz das Institut IBExU für die Erstellung des Explosionsschutzdokumentes sowie die Firma Air Products für das Anlagen-Engineering und die Anlagen-Ausführung. Die Zielsetzung hierbei war, die bestehenden Anlagen unter Berücksichtigung des geringstmöglichen Kostenaufwandes zu modernisieren.

## Verfahrensbeschreibung

Mercedes-Benz-Werk Gaggenau betreibt im Gebäude 131 des Werkteils Ra-

statt sieben Endogas-Generatoren zur Erzeugung der Trägergasatmosphäre zum Aufkohlen und Härten von Kohlenstoffstahlbauteilen. Die sieben Generatoren speisen das produzierte Trägergas in eine Ringleitung zu den Verbrauchern ein. Zwei Generatoren werden im Gebäude 311 des Werkteils Rastatt und vier weitere in Gaggenau betrieben.

Die einzelnen Generatoren sind nahezu baugleich. Das Prinzip der Endogas-Erzeugung ist technischer Standard und soll hier lediglich zum besseren Verständnis der im Sicherheitskonzept dargestellten Maßnahmen kurz erläutert werden.

Aus einem vorgemischten Erdgas-/Luft-Volumenstrom wird mittels eines Retortenofens (Katalyseofen) durch Umsetzung bei ca. 1030 °C und ca. 0,3 bar (ü) ein sogenanntes „Endothermes Gasgemisch“ erzeugt. Dieses Gasgemisch wird anschließend über Wärmetauscher auf ca. 40 °C heruntergekühlt und mit einem maximalen Überdruck von 0,05 bar (ü) in eine Sammelringleitung eingespeist. Bei bestimmungsgemäßem Betrieb sind sowohl das zugeführte Erdgas/Luft-Gemisch als auch das erzeugte Trägergas nicht im explosionsfähigen Konzentrationsbereich. Dennoch weisen die bisher betriebenen Endogas-Generatoren bei nicht bestimmungsgemäßen Betriebszuständen explosionschutztechnische Mängel auf. Die zur Beseitigung dieser Mängel nötigen explosionsschutztechnischen Änderungen wurden unter Beachtung der Sicherheitsanforderungen nach der neuen Gesetzgebung durch Air Products in Abstimmung mit Mercedes Benz und dem Institut für

Sicherheitstechnik IBExU im Einzelnen abgestimmt und technisch umgesetzt (Bild 1).

## Sicherheitsanforderungen nach der neuen Gesetzgebung

Spätestens seit Ablauf der Übergangsfristen im Juli 2003 gilt innerhalb der Europäischen Union ein einheitliches Explosionsschutzrecht, das in den Richtlinien 94/9/EG (ATEX 95) und 99/92/EG (ATEX 137) festgelegt ist. Die ATEX 95 ersetzt die nationalen Bestimmungen durch einen europaweiten einheitlichen Sicherheitsstandard für explosionsgeschützte Geräte und Schutzsysteme und legt hierfür das Sicherheitsziel fest.

Die Umsetzung und Details werden nunmehr durch Europeanormen behandelt, die den neuesten technischen Erkenntnissen schnell angepasst werden können. Die ATEX 137 beinhaltet die Mindestanforderungen, die beim Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre zur Vermeidung von Explosionen einzuhalten sind. Sie beinhaltet die Maßstäbe für die Beurteilung der Explosionsrisiken, die Einteilung und Festlegung der explosionsgefährdeten Bereiche sowie die Festlegung der Schutzmaßnahmen gegen Explosionen.

Als wesentliche Neuerung gilt die Auflage, ein aktuelles Explosionsschutzdokument zu führen. Seit Ablauf der Übergangsfristen am 1. Juli 2003 müssen alle Neuanlagen den Auflagen beider Richtli-

nien entsprechen. Altanlagen müssen spätestens seit dem 1. Juli 2006 vom Betreiber auf die Mindestanforderungen nach ATEX 137, die in Deutschland in der Betriebssicherheitsverordnung aufgeführt, überprüft worden sein.

## Umsetzung der Anforderungen in ein neues Sicherheitskonzept

Gemäß den neuen Anforderungen und den vor Ort gegebenen technischen Ausführungen der Endogas-Generatoren wurden folgende notwendigen sicherheitstechnischen Änderungen an den bestehenden Anlagen vorgenommen:

- 1) Die gasführenden Strecken nach der Erdgas/Luft-Zusammenführung bis zur Einspeisung in die Ringsammelleitung werden im Inneren als Explosionsgefährdungszone 1 eingestuft. Bei bestimmungsgemäßem Betrieb des Generators liegt keine explosionsfähige Atmosphäre vor. Bei Betriebsstörungen und beim An- und Abfahren kann die Bildung von explosionsfähiger Atmosphäre in der Anlage jedoch nicht sicher ausgeschlossen werden.
- 2) Alle Verbindungen von Rohrleitungen innerhalb des Endogas-Generators, die nicht durch rein konstruktive Maßnahmen als „auf Dauer technisch dicht“ eingestuft werden können, werden mit einem geprüften Dicht- und Sicherungsmaterial eingeklebt und in regelmäßigen Abständen – basierend auf zukünftigen Erfahrungs-

werten – auf Dichtheit überprüft. Dadurch kann – bis auf eine Ausnahme – der Bereich außerhalb der Rohrleitungen als „zonenfrei“ eingestuft werden. In diesem äußeren Bereich des Endogas-Generators ist somit der Einsatz explosionsgeschützter Geräte nicht notwendig. Als Ausnahme gelten die Flanschverbindungen zwischen Retortenofen und Wärmetauscher, die aufgrund der thermischen Belastung nicht als „auf Dauer technisch dicht“ eingestuft werden kann. Um diese Flanschverbindungen werden im äußeren Bereich die Zone 1 mit einem Radius von 50 cm und die Zone 2 mit einem Radius von 1 m festgelegt. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten sind an den beschriebenen Anlagen keine weiteren Maßnahmen erforderlich (es befinden sich keine Betriebsmittel in diesem Schutzbereich). Diese Zonen sind in der Benutzerinformation dokumentiert und vor Ort in der Anlage gekennzeichnet.

- 3) Der Endogas-Generator wird mit einer automatischen Stickstoff-Notspülung ausgerüstet, die bei sicherheitskritischen Zuständen stromlos offen eingeschaltet wird. In diesem Fall wird gleichzeitig automatisch über stromlos geschlossene Magnetventile die Luft- und Erdgaszufuhr abgesperrt, die gesamte Anlage mit Stickstoff gespült in und einen sicheren Zustand gebracht.
- 4) Das Mischverhältnis Erdgas/Luft wird über eine fest verrohrte mechanische Mischregelung und über eine Messblende in der Luftleitung, sowie einem Regelventil in der Erdgasleitung zuverlässig während des Normalbetriebes eingestellt und ausreichend sicher oberhalb der OEG von Erdgas (min. auf 25 Volumenprozent Erdgas) gehalten.

Um bei der In- bzw. Außerbetriebnahme der Anlage die Bildung explosionsfähiger Gemische im Innern sicher zu verhindern, wird

- a) bei der Inbetriebnahme die Anlage mit einer angemessenen Menge an Stickstoff über eine ausreichende Zeit inertisiert, bevor das Betriebsmischgas Erdgas/Luft zugeführt wird

und

- b) bei der Außerbetriebnahme die Anlage ebenfalls mit Stickstoff nachgespült.

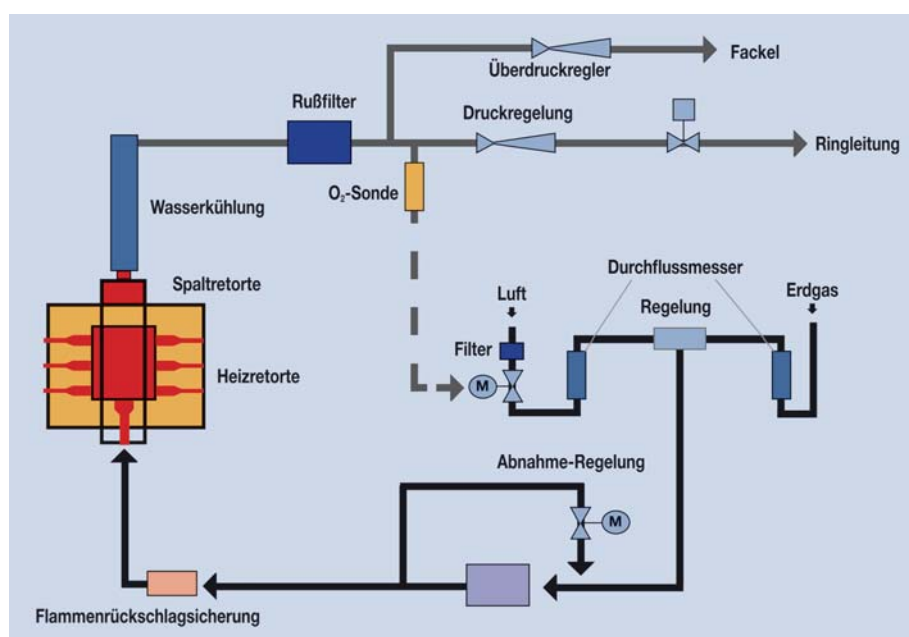


Bild 1: Funktionsschema eines Endogas-Generators

Fig. 1: Functional diagram of an endogas generator

5) Die ausreichende Spülung ist abhängig vom freien Volumen aller Bauteile im Generator und wurde durch eine CO/H<sub>2</sub>- Messung bei der Inbetriebnahme der Endogas-Generatoren eingestellt und dokumentiert. Als Zielsetzung galt hier, die komplette Endogas-Schutzgasanlage in spätestens zehn Minuten CO- und H<sub>2</sub>-frei, und damit auch frei von CH<sub>4</sub>, gespült zu haben.

6) Um die Zone 1 in der Erdgas/Luft-Mischgasstrecke zu gewährleisten, wurden die vorhandenen, in seinem inneren Bereich nicht explosionsgeschützten Verdichter durch einen Verdichter mit Zulassung für Zone 1 (innerer Bereich) ersetzt.

7) Zwischen dem Verdichter mit Zulassung für Zone 1 und dem Retortenofen, bzw. der bisher eingebauten Temperaturüberwachung mit Rückschlagklappe, wurden bidirektionale, baumustergeprüfte Flammensperren mit beidseitiger Temperaturüberwachung eingebaut (**Bild 2**). Der eingesetzte Verdichter der Kategorie 2(i) (Zone 1 innerer Bereich) hat keine integrierten Flammensperren. Sollte trotz der Auslegung der Kategorie 2(i) ein Zündfunke vom Verdichter ausgelöst werden, wird eine Explosionsübertragung aufgrund der Flammensperre in den Retortenofen nicht stattfinden. Als weitere potenzielle Zündquelle wird der Retortenofen angesehen. Bei Zündung eines explosionsfähigen Gasgemisches im Retortenofen wird durch die Flammensperre ein Eindringen der Explosion in den Verdichter verhindert. In beiden Fällen wird die Flammenbeaufschlagung der Flammensperren von den Temperatursensoren erfasst, angezeigt und eine Sicherheits-Notspülung mit Stickstoff wird eingeleitet.

8) Es konnte nicht geklärt werden, ob die vorhandenen Retortenöfen explo-

**Bild 2:**  
Bidirektionale, baumustergeprüfte Flammensperren

**Fig. 2:**  
Bidirectional, type-tested flame arresters



sionsdruckstoßfest ausgeführt sind. Eine Übertragung einer Explosion durch Zündung vom Verdichter ist durch die Verdichterausführung Kategorie 2(i) sowie die nachgerüsteten Flammensperren nicht zu befürchten. Der Retortenofen ist aufgrund seiner Umsetzungstemperatur (> 900 °C) als permanente Zündquelle (heiße Oberflächen) einzustufen. Deshalb muss im Retortenofen sichergestellt sein, dass zum erzeugten Endogas kein Sauerstoffzutritt unter Explosionsgefährdung erfolgt.

9) Die Erdgas/Luft-Zuführung und die Endogasleitung stehen unter Überdruck. Somit ist die Möglichkeit eines Eindringens von größeren Mengen Luft von außen in diese Leitungen praktisch auszuschließen. Sollten jedoch aufgrund nicht vorhersehbarer Umstände (z. B. nicht vollständige Umsetzung der Luft im Reaktor) oder undichter Verbindungen unzulässige Sauerstoffgehalte in das erzeugte Trägergas eindringen, wird dies über eine indirekte O<sub>2</sub>-Messung durch die vorhandene „Lambdasonde“ erfasst. In die Lambdasonde eindringender Sauerstoff reagiert bei den vorhandenen

Temperaturen der Sonde mit H<sub>2</sub> zu H<sub>2</sub>O bzw. mit CO zu CO<sub>2</sub>. Beide Reaktionen beeinflussen das mV Ausgangssignal der Lambdasonde.

In der **Tabelle 1** wurden die theoretisch berechneten Sauerstoffwerte bei vollständiger Einstellung des Gleichgewichtszustandes in der Messzelle betrachtet, unter Vernachlässigung von Taupunktveränderungen durch schwankende Erdgas/Luft-Verhältnisse im Retortenofeneingang. Hierbei wurde als Ausgangszustand eine trockene Endogaszusammensetzung mit einer Kohlenstoffaktivität von 1, bei einer Retortenausgangstemperatur von 950 °C und als maximaler maximaler Sauerstoffeintrag, der Gleichgewichtszustand bei einer Sauerstoffsonden-Temperatur von ca. 650 °C und einem maximalen Taupunkt von +18 °C betrachtet.

Danach tritt im ungünstigsten Fall, bei Erzeugung eines Endogases im Retortenofen mit einem Taupunkt (Tp) von ca. – 15 °C und Einstellung eines sicherheitskritischen maximalen Taupunktes von +18 °C, ein Sauerstoffgehalt von 2,74 Vol.-% auf. Bei diesem Betrieb würde der Endogas-Generator jedoch stark

**Tabelle 1:** Theoretisch berechnete Sauerstoffgehalte

**Table 1:** Theoretically calculated oxygen contents

	Bemerkung	Analyse					Berechnungen			
		Summe O <sub>2</sub> /%	CO/%	CO <sub>2</sub> /%	H <sub>2</sub> /%	T/C	ac ber.	Cp ber.	H <sub>2</sub> O/% ber	Tp/C ber
Extremfall, nicht Produktionsbetrieb	trockene stark rußende Endogaseinstellung aus Retorte		20	0,055	40	950	1,00	1,30	0,16	15 °C
	Tp-Max Grenzwerteinstellung 18°C		17,3	2,7	37	650	3,35	1,14	3,00	+18 °C
	O <sub>2</sub> Regelbereich / %	2,74		1,32					1,42	



**Bild 3:** Modifizierter Endogasgenerator

**Fig. 3:** Modified endogas generator

rußen. Im normalen Regelbereich berechnen sich die Differenzen zwischen dem minimalen Taupunkt und dem oberen Taupunktgrenzwert mit bis zu 2,5 Vol.-% Sauerstoff. Sollte der maximale Taupunkt der Tp-Messung nach oben überschritten werden, wird die Stickstoff-Notspülung eingeleitet. Die obere Explosionsgrenze (OEG) von Wasserstoff in Luft beträgt 75 Vol.-%, was einem O<sub>2</sub>-Gehalt von ca. 5,2 Vol.-% entspricht. Die OEG von Kohlenmonoxid beträgt 74 Vol.-%, was wiederum einem O<sub>2</sub>-Gehalt von ca. 5,4 Vol.-% entspricht. Die bei der Betrachtung der Taupunkte berech-

neten theoretisch vorliegenden Sauerstoffwerte betragen damit im Mittel 50 Prozent der „maximal zulässigen O<sub>2</sub>-Grenzkonzentration“ (**Bild 3**).

Da angenommen wird, dass in der Sauerstoffsonde der Gleichgewichtszustand der Reaktionen nicht erreicht wird, wurde in einem Test diese Sicherheitsfunktion der O<sub>2</sub>-Überwachung mit der Lambdasonde überprüft. Bei laufendem Erdgas-Generator mit einem Taupunkt-Regelwert von +13 °C wurde dem gemessenen Endogas-Gemisch in Stufen freier Sauerstoff beigemischt. Die Lambdasonde reagierte sofort und zeigte einen Anstieg des Taupunktes an, wie im **Bild 4** dargestellt.

Der als Grenzwert festgelegte maximale Taupunkt von +18 °C wurde bei ca. 0,65 Volumenprozent freiem Sauerstoff im Endogas erreicht. Dieser Test bestätigt, dass die Lambdasonde für die Überwachung von freiem Sauerstoff im Erdgas geeignet ist. Damit wird ebenfalls der EN 746-3 entsprochen, nach der der Sauerstoffgehalt in brennbaren Schutzgasatmosphären 1 Prozent nicht überschreiten darf. Da durch Überwachung des O<sub>2</sub>-Gehaltes die Bildung eines explosionsfähigen Endogas-Gemisches vermieden wird, kann auf eine explosionsdruckstoßfeste Ausführung des Retortenofens verzichtet werden.

## Prozesserfahrungen

Die ersten modernisierten Endogas-Generatoren sind in Rastatt seit Ende 2007 ohne Störungen im Betrieb. Im Rahmen der sicherheitstechnischen Änderungen wurden ebenfalls prozesstechnische Optimierungen durchgeführt. Um die in der Vergangenheit durch zu langsame Abkühlung des erzeugten Endogas aufgetretenen Konzentrationsveränderungen der Gaszusammensetzung hinter der Retorte mit der damit verbundenen Rußbildung zu eliminieren und das erzeugte Endogas einzufrieren, wurden neue

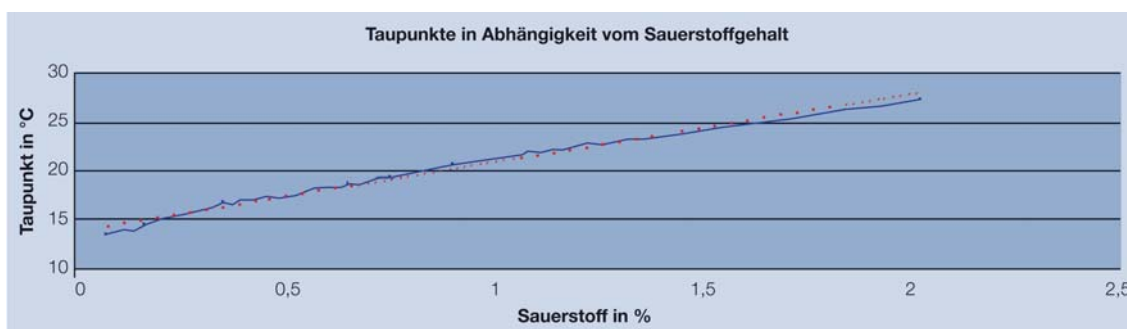
Wärmetauscher mit einer intern gekühlten Prallplatte direkt auf die Retorte gesetzt.

Des Weiteren wurde der Übergang von der Retorte zum Wärmetauscher isoliert. Die vorher vorhandene Rußablagerungen in der Leitung zwischen Retorte und Wärmetauscher und im Wärmetauscher selbst konnte damit vermieden werden. Bei gleichem Sollwert der Taupunkt-Regelung von +13 °C, musste der vorher alle zwei Wochen notwendige Regenerationszyklus des Katalysators, im ersten Betriebszeitraum der modernisierten Generatoren, bisher erst insgesamt einmal durchgeführt werden. Bei einer Kontrolle des Rußanfalles nach einem Jahr zeigt sich lediglich ein sehr geringer Belag von losen Rußpartikeln auf der inneren Oberfläche des Wärmetauschers. Der frühere, durchschnittliche Reinigungsaufwand durch Verrußung der Wärmetauscher lag zwischen vier bis sechs Wochen.

Eine Optimierung der Taupunktregelung durch Änderungen der Regelgrößen für die mechanische Proportionalregelung erlaubt jetzt ein Betreiben des Generators im Durchflussbereich von 50 bis 100 Prozent ohne wesentliche Taupunktschwankungen, die zuvor noch auftraten. Dies erlaubt eine flexiblere Anpassung der erzeugten Trägergasmenge an den wirklichen Bedarf und reduziert damit die Abfackelverluste (**Bild 5**).

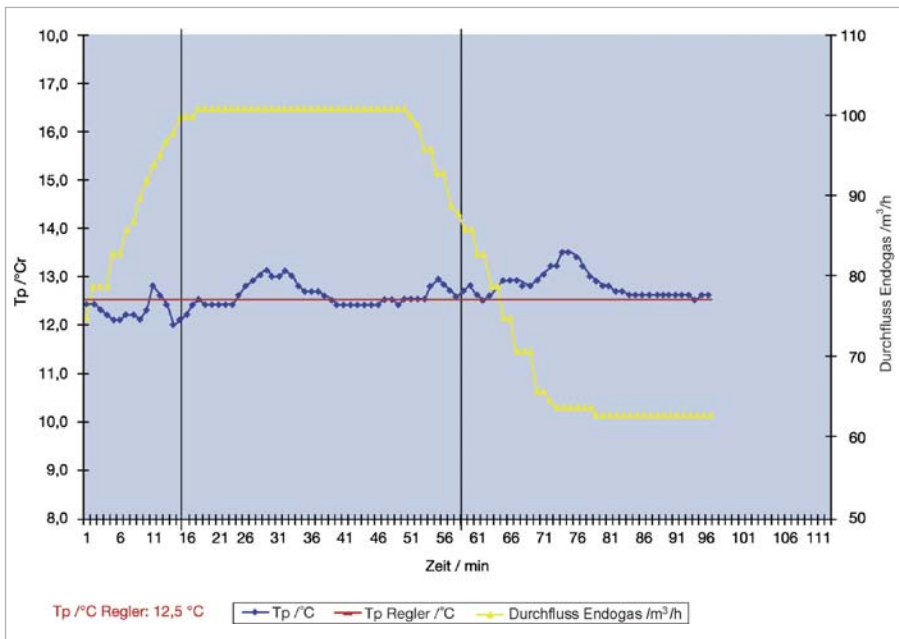
## Zusammenfassung

Das in Kooperation der Firmen Mercedes-Benz-Werk Gaggenau, IBExU und Air Products durchgeführte Projekt zeigt exemplarisch, wie herkömmliche Endogas-Generatoren sicherheitstechnisch der aktuellen Gesetzgebung angepasst und prozesstechnisch optimiert werden können. Kern des neuen Sicherheitskonzeptes ist die Kombination von technischen Vorrichtungen und entsprechend angepassten Verfahrensvorschriften. Dadurch erfüllt der Betreiber nicht nur sämtliche Auflagen zum Schutz der Be-



**Bild 4:** Taupunktanstieg bei Sauerstoffeintrag

**Fig. 4:** Rise in dewpoint upon ingress of oxygen



**Bild 5:** Taupunktregelung bei Änderung der Durchflussmenge

**Fig. 5:** Regulation of dewpoint upon change in flow rate

legschaft, sondern erzielt auch betriebswirtschaftliche Vorteile. Mercedes Benz konnte im Werk Rastatt die Wartungskosten sowie den Personalaufwand deutlich reduzieren und die Abfackelver-

luste verringern. Auf Grundlage des vorliegenden Konzeptes werden nun weitere Modernisierungen im Werk Rastatt im Bau 311 und im Werk Gaggenau durchgeführt.

**Ingolf Matt**  
 Mercedes-Benz-Werk Gaggenau  
 Tel. 0 72 25/61 66 34  
 E-Mail:  
 ingolf.matt@daimler.com

**Prof. Dr. Tammo Redeker**  
 IBExU Institut für Sicherheitstechnik GmbH  
 Tel. 0 37 31/2 36 50  
 E-Mail:  
 redeker@ibexu.de

**Guido Plicht**  
 Air Products GmbH  
 Tel. 0 24 24/68 93 42  
 E-Mail:  
 plichtg@airproducts.com

**Harald Schillak**  
 Air Products GmbH  
 Tel. 0 23 24/68 92 46  
 E-Mail:  
 schillh@airproducts.com

**Edgar Weiler**  
 Weiler Projektentwicklung  
 Tel. 0 72 24/65 55 53  
 E-Mail:  
 edgar.weiler@weiler-pro.de



## Ihr Gaslieferant – und noch viel mehr

Air Products GmbH  
 Hüttenstraße 50  
 45527 Hattingen  
 Deutschland  
 Tel 02324/689-125  
 Fax 02324/689-100  
 E-Mail apginfo@airproducts.com

**tell me more**  
[www.airproducts.de](http://www.airproducts.de)