

Projekttitle: Trocknungsuntersuchungen von Keramik-Katalysatorelementen  
nach einer in-situ-Wäsche

Projektvolumen: 8.000 Euro

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Bernhard Winter, Studienort Wilhelmshaven

Projektmitarbeiter: Dipl.-Ing. Richard Liesegang,  
Thomas Steenken, B. Eng.  
Ihno Neumann, B. Eng.

Projektlaufzeit: Teil 1: 01.10.2010 – 28.02.2011  
Teil 2: 01.08.2011 – 28.02.2012

Kooperationspartner/  
Auftraggeber: swb Erzeugung GmbH & Co. KG (Stadtwerke Bremen)

---

## Einleitung

Bei der Entstickung von Kraftwerksrauchgasen wird vielfach eine **Selektive Katalytische Reduktion (SCR)** mittels Ammoniak in einem SCR-Reaktor vorgenommen. Durch Flugstaubablagerungen kann es während des Betriebes am Keramik-Wabenkatalysator zu Aktivitätsverlusten kommen, die während der regelmäßigen Stillstandzeiten des Kraftwerkes durch eine in-situ-Wäsche wieder beseitigt werden sollen. Nach solch einer Wäsche muss der Katalysator getrocknet werden, ehe das Kraftwerk wieder in Betrieb gehen kann.

## Projektbeschreibung

Der Katalysator im SCR-Reaktor besteht aus ca. **18.100** Einzelementen der Abmessung **0,15 m x 0,15 m x 0,9 m**, die in drei Lagen übereinander angeordnet sind. Der Auftraggeber stellte zur Aufgabe, in einer zweiteiligen Projektarbeit das Trocknungsverhalten von Katalysatorelementen zu erforschen, um Voraussagen zur Trocknungszeit für diese Katalysatorelemente im SCR-Reaktor nach einer in-situ-Wäsche unter verschiedenen Trocknungsbedingungen zu erhalten.

Diese verschiedenen Bedingungen sind:

- Katalysatortyp
- Trocknungslufttemperatur
- Trocknungsluftgeschwindigkeit
- Katalysatorstücklänge

Solche Aufgabenstellungen zur Entwicklung von verfahrenstechnischen Prozessen (hier: Konvektionstrocknung) und zur Vorausberechnung der dazugehörigen Systeme (hier: SCR-Reaktor als Trockner) beinhalten stets kinetische Untersuchungen in Laboranlagen und der Maßstabsübertragung der erhaltenen Ergebnisse auf den technischen Anwendungsfall. Eingeleitet wurden die Untersuchungen u.a. mit Messungen zur Feuchtaufnahme der Katalysatorelemente.

Im 1. Teil der Projektarbeit wurde beim Katalysatortyp 1 festgestellt, dass die maximale Wasseraufnahme für alle Katalysatorelemente im SCR-Reaktor nach einer Wäsche **51 t** betragen kann. Im 2. Teil der Projektarbeit wurde der neue Katalysatortyp 2 untersucht, der einen vergleichbaren Wert von nur **41,9 t** erbringen würde. Demnach ist der neue Katalysatortyp 2 für Wasser nicht so aufnahmefähig, wie der Typ 1, was mit einer etwas geringeren Keramikmasse je Element erklärt werden kann.

Weiterhin konnte ermittelt werden, dass der Gleichgewichtswassergehalt für beide Katalysatortypen ca. **2 Mass-%** beträgt. Dieser Wert stellt einen theoretischen Grenzwert für die Trocknung dar, der nicht weiter unterschritten werden kann.

Im Bild 1 sind Katalysatorstücke verschiedener Länge zu sehen, an denen die kinetischen Messungen durchgeführt wurden. Das rechte Element zeigt die Originalgröße eines Elementes.

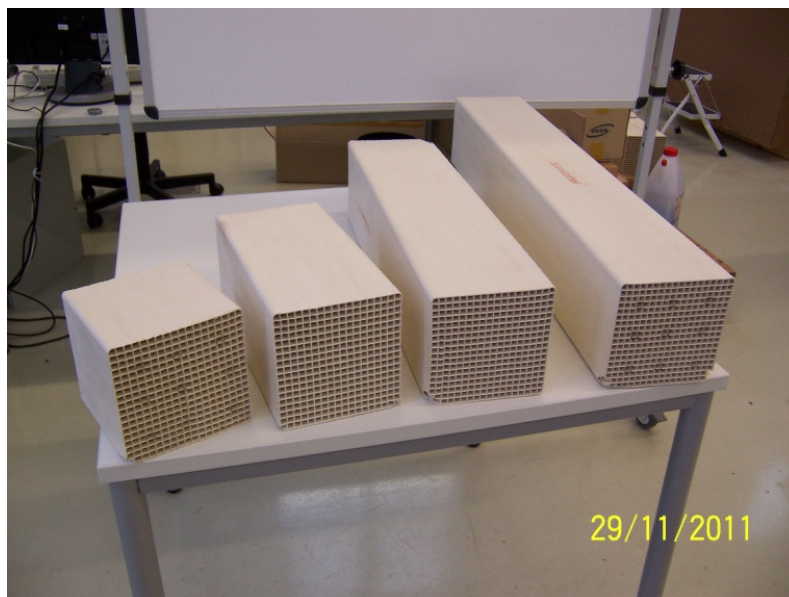


Bild 1 Keramik-Katalysatorstücke des Typs 2 der Längen **150, 300, 600** und **900 mm**

Als Trocknungsapparatur kam ein Konvektionstrockner des Labors Verfahrenstechnik im Institut für Energie-, Verfahrens- und Umwelttechnik (EVU) zum Einsatz, siehe Bild 2. In diesem Trockner wird die Frischluft durch einen Lüfter angesaugt und in einem regelbaren Heizregister vorgewärmt.



Bild 2 Laborkonvektionstrockner, Institut Energie- Verfahrens- und Umwelttechnik (EVU), Studienort Wilhelmshaven

Danach schließt sich die Anströmstrecke an, um den Luftstrom auf den Querschnitt des Katalysatorstückes zu reduzieren. Das Katalysatorstück liegt auf einem Waagetisch. Die durch das Katalysatorstück strömende Warmluft nimmt die Feuchtigkeit auf und mittels der Waage unterhalb des Trockners kann die Massereduktion gemessen werden. Die Trocknungsversuche lieferten für die unterschiedlichen Versuchsparmeter wie die Trocknungslufttemperatur, die Trocknungsluftgeschwindigkeit und die Katalysatorstücklänge verschiedene Trocknungsverlaufskurven. Das Bild 3 zeigt als Ergebnisbeispiel die Trocknungsverlaufskurven bei Variation der Trocknungslufttemperatur. Diese Trocknungsverlaufskurven weisen zunächst nahezu lineare Funktionsabfälle auf, die grundsätzlich bei oberflächenfeuchten Gütern auftreten und als 1. Trocknungsabschnitte bezeichnet werden. Die sich anschließenden abfallenden exponentiellen Teile der Kurven stellen den 2. Trocknungsabschnitt dar und sie sind für Güter typisch, in denen sich die Feuchtigkeit in Mikrokapillaren befindet. Somit weisen die Katalysatorelemente eine sehr weit verbreitete kolloid-kapillarporöser Struktur auf, was auf ein günstiges Trocknungsverhalten schließen lässt.

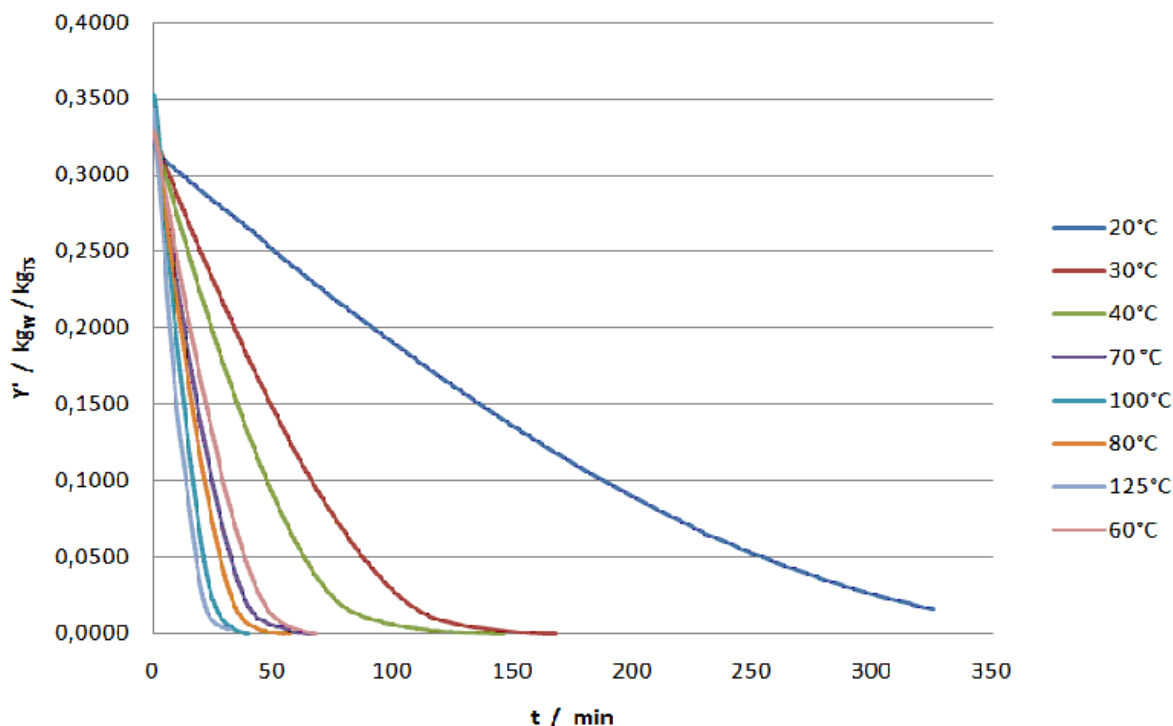


Bild 3 Trocknungsverlaufskurven bei verschiedenen Trocknungslufttemperaturen  
Wasserbeladung  $Y'$  als Funktion der Zeit  $t$ , Katalysatorstücklänge **300 mm**,  
Trocknungsluftgeschwindigkeit **3,2 m/s**

Mittels eines mathematisch-verfahrenstechnischen Modells wurden die Trocknungsverlaufskurven ausgewertet, um die kinetischen Konstanten zu erhalten. Diese so erhaltene Kinetik wurde auf die Bedingungen im SCR-Reaktor maßstabsübertragen und auf dieser Grundlage die zu erwartende Trocknungszeit vorausberechnet. Im 1. Teil der Projektarbeit wurde für den Katalysatortyp 1 bei einer optimierten Trocknungslufttemperatur von **40 °C** und bei der gewählten Luftgeschwindigkeit von **3,2 m/s** die Trocknungszeit von **9,1 h** ermittelt. Im 2. Teil ist bei Vorgabe der Trocknungslufttemperatur von **20 °C** für den Katalysatortyp 2 bei einer optimalen Luftgeschwindigkeit von **2,8 m/s** die Trocknungszeit von **11,5 h** vorausberechnet worden. Demnach liegen zu erwartenden Trocknungszeiten für beide Katalysatortypen in der gleichen Größenordnung. Nach diesem Ergebnis ist es für den Auftraggeber nicht zwingend notwendig, auch beim neuen Katalysatortyp 2 die Trocknungstemperatur bei der Trocknung durch eine Luftvorwärmung anzuheben.

Mit Berechnungen zur Prozessstatik wurden die Frischluftmasse berechnet, die zur Aufnahme der bei der Trocknung freiwerdender Wassermasse unbedingt gebraucht wird. Sie beträgt  **$6,156 \cdot 10^6 \text{ kg}$** . Es konnte festgestellt werden, dass der vom Auftraggeber vorgesehene Frischluftvolumenstrom während der vorausberechneten Trocknungszeit hoch genug ist, um diese Wassermasse aufzunehmen.