



KATALYSATOREN-ANALYSATOR

BELCAT II

**Erschließen Sie modernste Katalysatorcharakterisierung mit dem BELCAT II. Die Leistungsfähigkeit fester Katalysatoren wird durch spezifische Oberflächeneigenschaften bestimmt; Faktoren wie Art und Verteilung aktiver Zentren, Acidität, Basizität, Redoxverhalten, elektronische Struktur und Oberflächenmorphologie spielen dabei eine entscheidende Rolle für katalytische Aktivität, Selektivität und Stabilität.**

Der BELCAT II liefert präzise Analysen des Metalldispersionsgrads, der Metalloberflächen und der mittleren Partikelgröße geträgerter Edelmetallkatalysatoren und unterstützt Forschende so dabei, die Katalysatorleistung zu verbessern und gleichzeitig die Kosten zu senken. Neben der Bestimmung spezifischer Oberflächen (BET) und der Adsorptionskinetik ermittelt der BELCAT II die Adsorptionskapazität über Durchbruchkurvenanalysen. Diese Daten sind essenziell für die Entwicklung innovativer Adsorbentien. Als umfassendes Katalysatoranalysegerät vereint er alle Funktionen in einem einzigen System und bietet eine breite Anwendbarkeit sowie umfangreiche Konfigurationsmöglichkeiten zur Unterstützung unterschiedlichster Forschungs- und Entwicklungsziele.



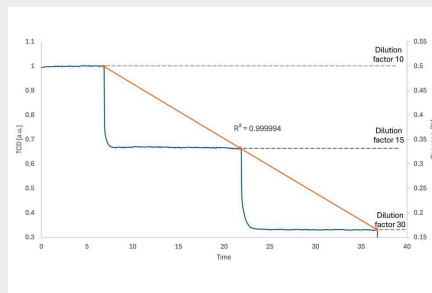
ALL-IN-ONE, VOLLAUTOMATISCHER MEHRZWECKANALYSATOR

## WARUM BELCAT II?

Entdecken Sie die herausragenden Fähigkeiten des BELCAT-II-Instruments. Nachfolgend finden Sie eine Übersicht seiner wichtigsten Merkmale, die für eine umfassende und zuverlässige Katalysatoranalyse ausgelegt sind und gleichzeitig die Flexibilität bieten, unterschiedlichste Anforderungen in Forschung und Entwicklung zu erfüllen.

### Multifunktionales Gasdosierdesign

Der integrierte mehrlinige Gasverteiler ermöglicht den gleichzeitigen Anschluss von bis zu acht verschiedenen Gasen – darunter zwei korrosive – die intern im System verteilt werden. Dieses intelligente Design unterstützt eine softwaregesteuerte Gasgemischbildung und erlaubt die präzise Erzeugung kundenspezifischer Gasgemische direkt im Gerät. Diese Gemische können während der Probenvorbehandlung, Analyse, bei Pulse-Loop-Operationen und der automatisierten Kalibrierung eingesetzt werden. Durch den Wegfall vorgemischter Gase und die Minimierung externer Anschlüsse steigert das System die Workflow-Effizienz, senkt die Betriebskosten und reduziert das Leckagerisiko deutlich.



Präparationsgase

1. He,

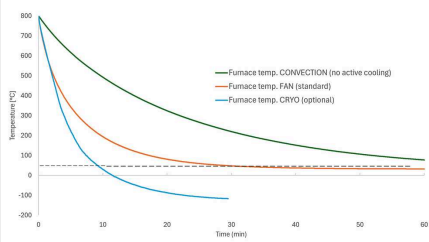
Analysegase  
(Loop)

5. CO

Trärgase

1. H

Total



## Überlegene Temperaturkontrolle

Erleben Sie schnelles Aufheizen und Abkühlen mit einem kompakten Splitofen, der auf hohe Leistung ausgelegt ist. Die Heizraten erreichen bis zu 110 °C/min von 50 bis 500 °C bzw. 80 °C/min von 50 bis 1000 °C, bei einer maximalen Betriebstemperatur von 1100 °C. Die integrierte, ventilatorunterstützte Kühlung verkürzt die Wechselzeiten, indem die Temperatur in nur 30 Minuten von 400 auf 50 °C abgesenkt wird. Dies erhöht den Probendurchsatz und minimiert Stillstandszeiten.

Für anspruchsvolle Anwendungen unterhalb der Umgebungstemperatur bietet die kryogene Option CATCryo II eine herausragende Kühlleistung bis auf -120 °C. Sie setzt neue Maßstäbe und kühlt von 800 auf 30 °C in nur 10 Minuten – und eröffnet damit neue Möglichkeiten in der Adsorptionsforschung, Materialcharakterisierung und in präzise gesteuerten Experimenten.

## Herausragende Sicherheitsmaßnahmen

Verfügt über eine selbstverriegelnde Sicherheitstür, Überhitzungsschutz, automatische Abschaltung, integrierte Alarmer und eine optionale Gasdetektion für ein Höchstmaß an Betriebssicherheit. Die mitgelieferte Zeolith-Falle – zur Entfernung von Feuchtigkeit während TPR-Experimenten – macht den Einsatz von flüssigem Stickstoff überflüssig.

## Dreifach-Probenzell-Design

Das hochmoderne Design gewährleistet ein effizientes Vorheizen des Gases und maximiert den Durchsatz für anspruchsvolle Workflows. Die zylindrische Ausführung des Rohres verbessert die Handhabung und erhöht die Sicherheit, da sie spannungsfrei und weniger bruchanfällig ist.



## **Modulares Design mit Aufrüstungsmöglichkeit**

Das zukunftssichere Design ermöglicht bedarfsorientierte Upgrades direkt vor Ort. Die erweiterbare Architektur unterstützt die nahtlose Integration einer Dampfdosiereinheit, eines externen Gasmischmoduls und einer kryogenen Option für erweiterte Adsorptionsstudien und beschleunigte Kühlung.



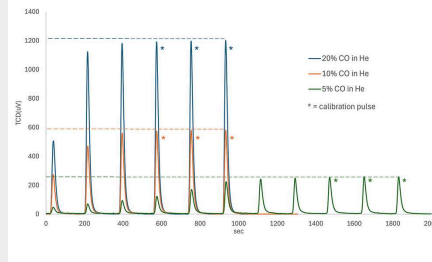
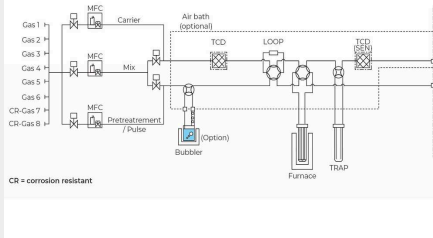
## **Vielseitige Einstellmöglichkeiten der Messbedingungen**

Der sequentielle Messmodus ermöglicht die nahtlose Kombination thermochemischer Methoden und Schritte der Katalysatorprüfung in einem einzigen Workflow.



## **Kompaktes Gerätedesign mit geringer Stellfläche**

Das kompakte und effiziente Design (B 500 × T 500 mm) passt sich mühelos in jedes Labor ein.



## Für höchste Präzision entwickelt

Spezialisiertes Instrument, das speziell für Pulschemisorptionsanalysen und temperaturprogrammierte Methoden ausgelegt ist und durch minimiertes Totvolumen eine außergewöhnliche Genauigkeit bietet. Ausgestattet mit einem temperaturgeregelten, leistungsstarken Wärmeleitfähigkeitsdetektor (TCD) und hochentwickelter Elektronik liefert es ein unerreichtes Signal-Rausch-Verhältnis für die empfindlichsten Messungen.

## Pulschemisorption mit höchster Zuverlässigkeit

Mit kalibriertem Volumen sowie dedizierten Druck- und Temperatursensoren übertrifft jede Dosierung die Erwartungen. Maßgeschneiderte Gasmischungen werden bei Bedarf vom integrierten Gasmischsystem bereitgestellt, wodurch zusätzliche Injektionsschleifen entfallen und ein reibungsloser, effizienter Arbeitsablauf gewährleistet wird.

KATALYSATOREN-ANALYSATOR BELCAT II

**OPTIONEN**



Dampfdosiereinheit

Besteht aus einer Luftthermostateinheit, einem Bubbler, einem Heizer und einem Kondensator. Der Kondensator entfernt überschüssigen Dampf. Der zweistufige Prozess gewährleistet eine präzise Dampfdosierung bei stabilen Konzentrationen.

Externes Gasmischmodul

Ermöglicht das Mischen von drei oder mehr Gasen. In einem Gerät können bis zu sechs Leitungen installiert werden. Korrosive Gase werden unterstützt.

Niedertemperatur-Elektroofen /  
CATCryo II

Durch die Zufuhr des Flüssigstickstoffsprays kann die Proben temperatur kontinuierlich ab  $-120\text{ °C}$  geregelt werden. Die

Kühlleistung wird durch die optimierte interne Struktur verbessert und der Flüssigstickstoffverbrauch drastisch reduziert.

Online-Gasanalysegerät /  
BELMASS II

Das Quadrupol-Massenspektrometer BELMASS II kann mit dem BELCAT II verbunden werden. Gasgemische können in Verbindung mit der BELCAT-II-Software mit hoher quantitativer Genauigkeit gemessen werden. Ideal für anspruchsvolle Experimente, einschließlich katalytischer Reaktionen.

AIRGUARD-Messsystem

Funktionale Materialien können mit der in der Luft enthaltenen Feuchtigkeit und dem Sauerstoff reagieren, was zu Strukturveränderungen führen und möglicherweise korrosive Gase erzeugen kann. Die neue AIRGUARD-Lösung – entwickelt von Microtrac – ermöglicht eine sichere Probenhandhabung ohne Luftkontakt.

Bewertung der Trennleistung  
eines Gasgemisches

Für DAC-, CCUS- und CCS-Anwendungen ermöglicht das System Durchbruchkurvenmessungen mit mehreren gasförmigen Komponenten wie CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O, die mit speziell dafür ausgelegten, hochstabilen und reproduzierbaren Sensordetektoren analysiert werden können.

Optionen:

- CO<sub>2</sub>-Sonden
- CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O-Sonden

KATALYSATOREN-ANALYSATOR BELCAT II  
**TYPISCHE APPLIKATIONEN**



*Katalysatoren*



*Batteriematerialien*



*Zement*

- | Batteriematerialien
- | CCUS
- | Kohlenstoff
- | Zeolithe

- | Zement
- | Keramik
- | Brennstoffzellen
- | Gastrennung

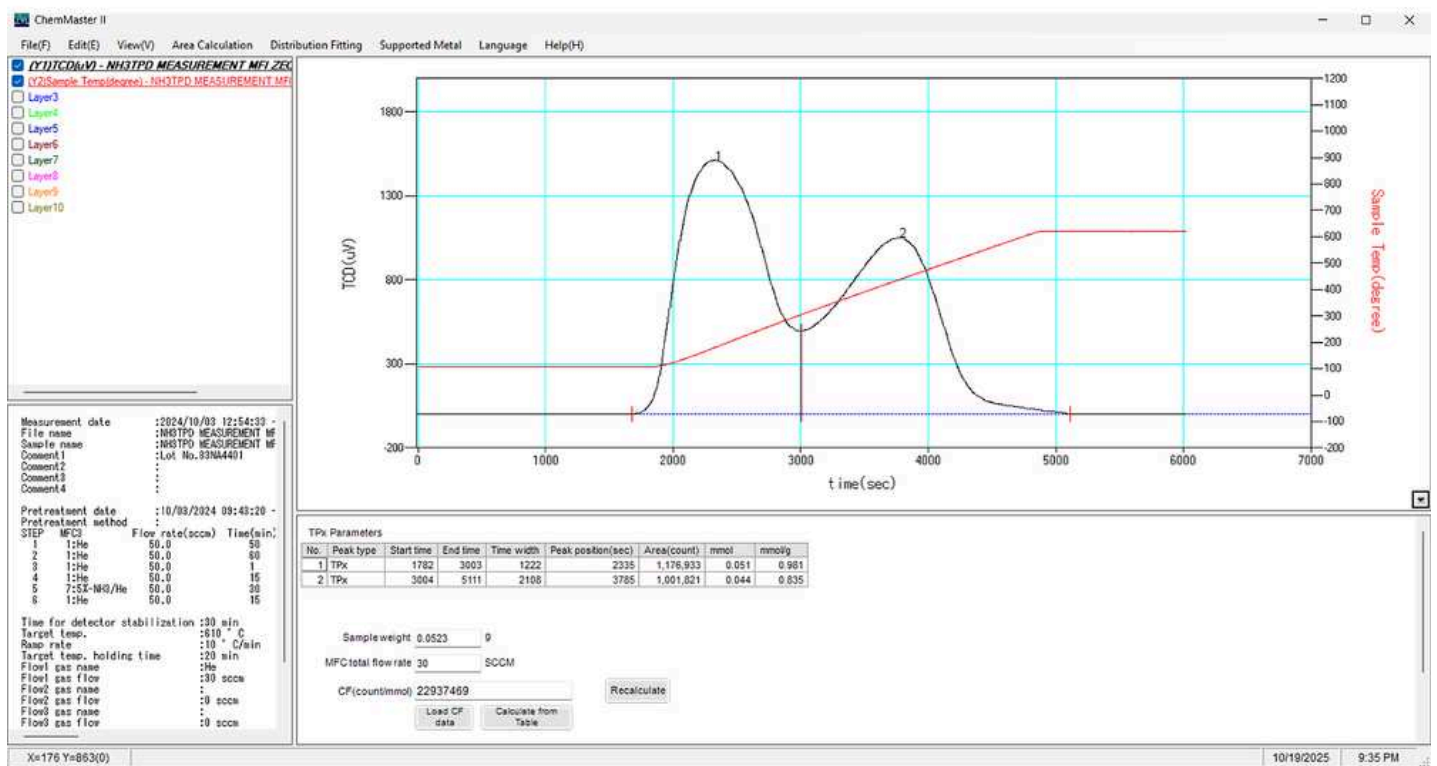
- | MOF / PCP
- | Petrochemie

... und viele mehr!

KATALYSATOREN-ANALYSATOR BELCAT II

**MESSBEISPIELE**

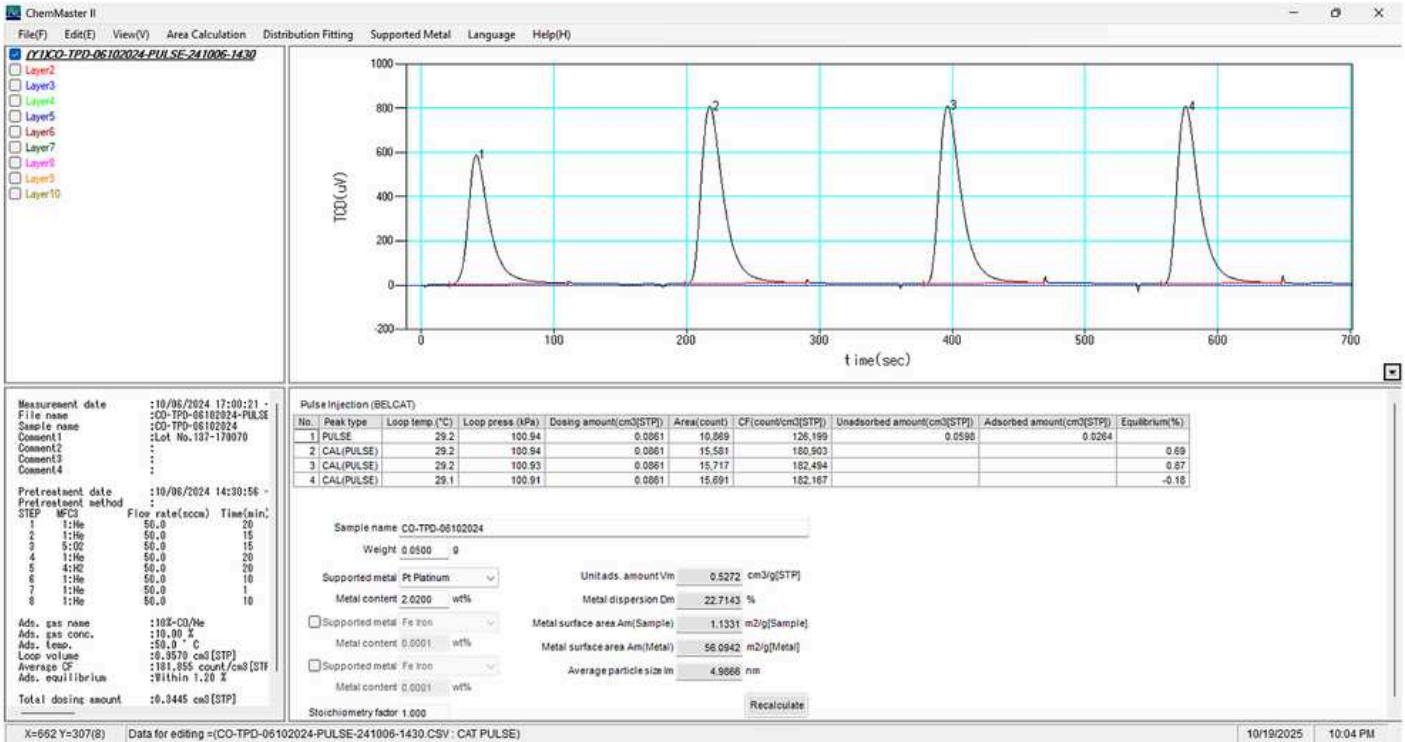
NH<sub>3</sub>-TPD-Messergebnis eines Zeoliths vom Typ MFI



Desorptionsmenge 0,835 mmol/g (2 = H-Peakwert); Peaktemperatur 440 °C

NH<sub>3</sub>-TPD-Messergebnis eines MFI-Zeoliths





Desorptionsmenge: 0,527 cm<sup>3</sup>/g, Metalldispersionsgrad: 22,7 %, Metalloberfläche: 1,13 m<sup>2</sup>/g, Metallpartikelgröße: 4,99 nm. Vollautomatische Basislinienkorrektur und Integration der Pulse für eine mühelose Datenauswertung.

## Messung der CO<sub>2</sub>-Adsorptions-Durchbruchskurve



Adsorbierte CO<sub>2</sub>-Menge: 3,18 mmol/g. Blankmessung (schwarz), Durchbruch-Adsorptionsexperiment (rot) und die berechnete Differenz als adsorbierte Menge (blau). Die Kombination mit dem BELMASS II ermöglicht eine Mehrkomponenten-Durchbruchsanalyse.

KATALYSATOREN-ANALYSATOR BELCAT II

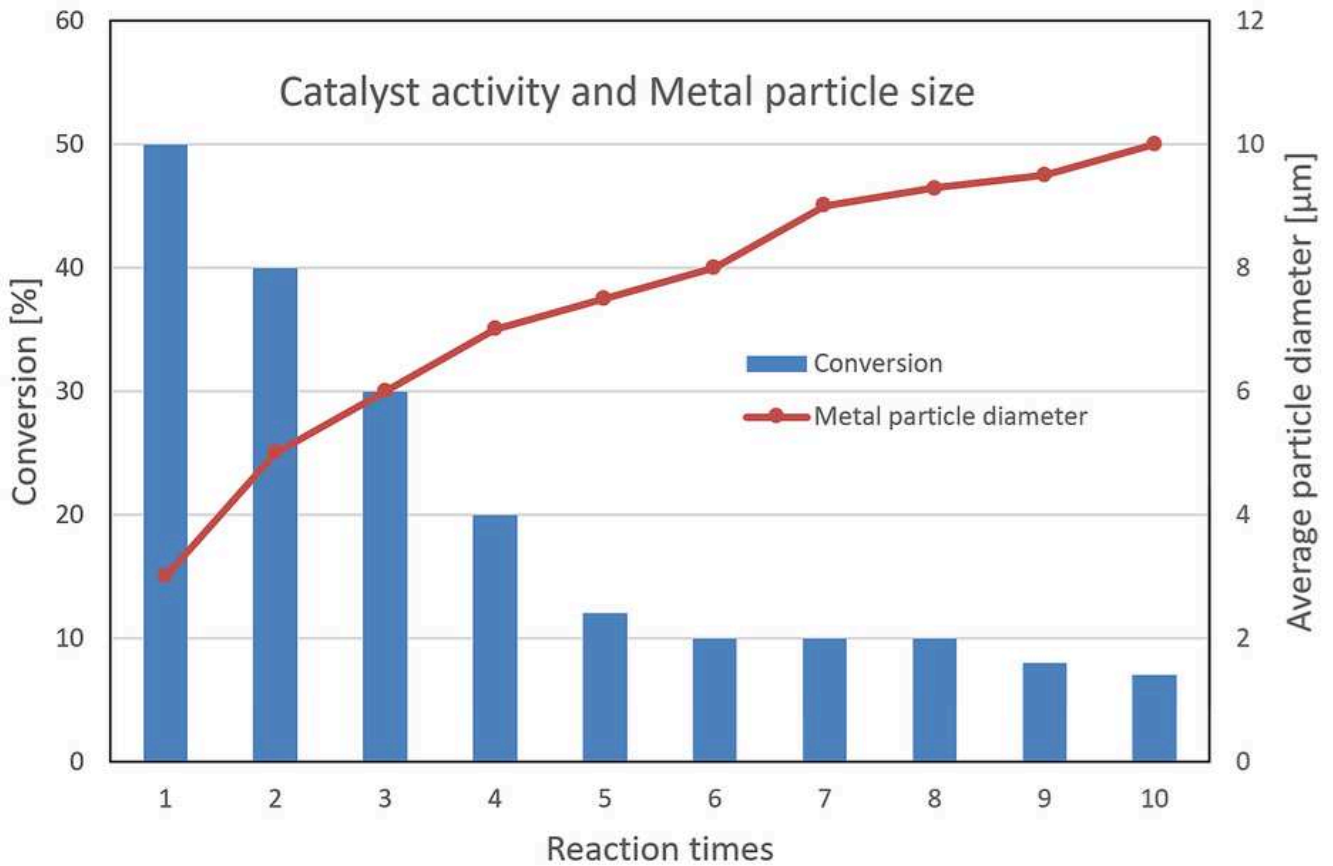
**SOFTWARE**

Die intuitiv bedienbare Software ist mit leistungsstarken Funktionen ausgestattet, die die Produktivität der Anwender steigern. Die über viele Jahre weiterentwickelte BELCAT-II-Plattform ermöglicht die einfache Durchführung komplexer Messungen und gewährleistet durch eine Vielzahl ausgefeilter Funktionen zuverlässige und reproduzierbare Ergebnisse.

- | Einfache Mess- und Bediensoftware
- | Automatische Nullpunktkorrektur
- | Sequentieller Messmodus
- | Hohe Zuverlässigkeit durch programmierbare Mehrpunktkalibrierung
- | Software zur Peak Separation
- | BELMASS-II-Link-Software (Option)
- | Pulschemisorptions-Analysefunktion



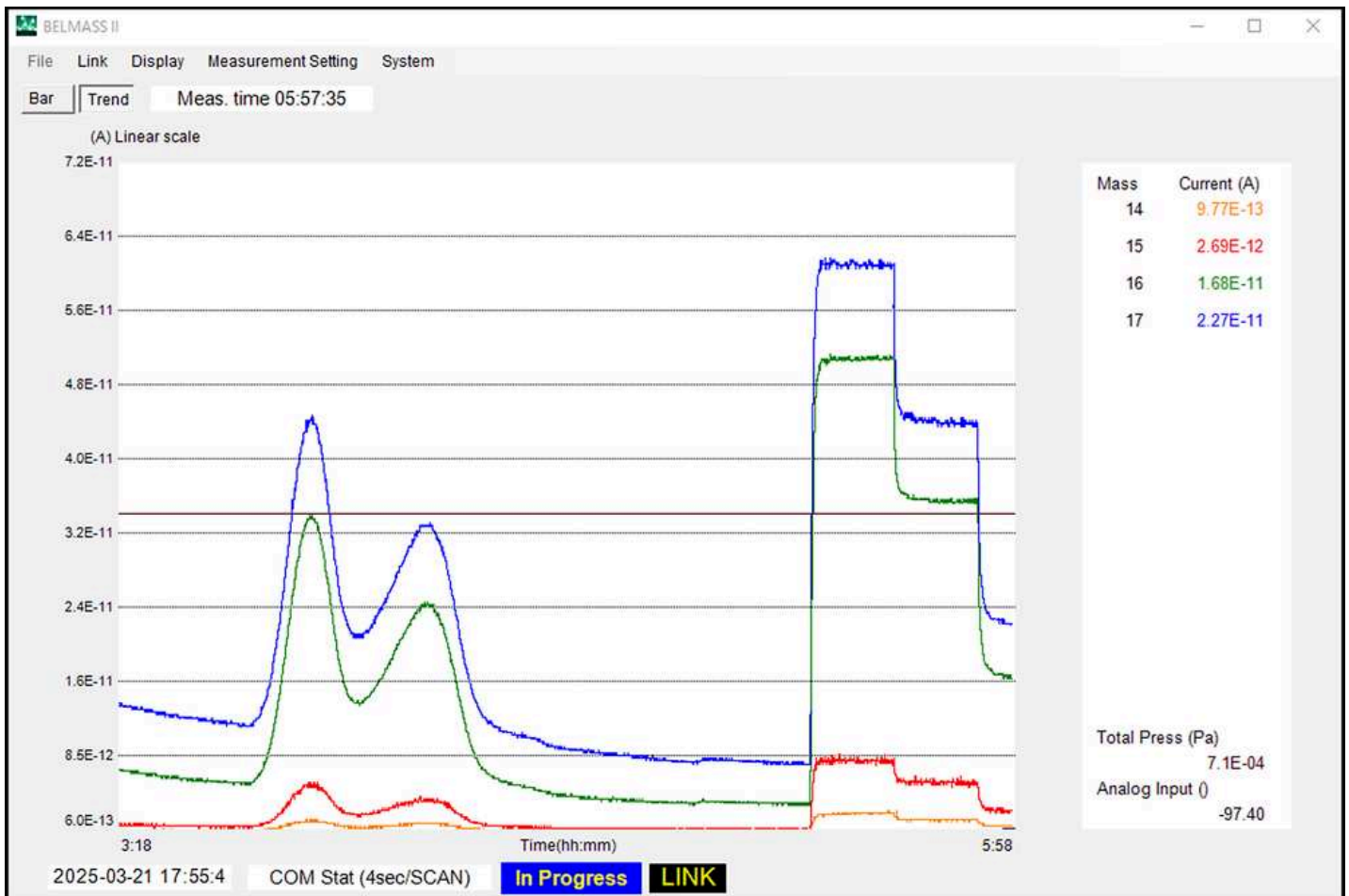
BELCAT-II-Messansicht



Ergebnis sequentieller Messungen



Wellenform-Dekonvolutionsansicht



BELMASS-II-Messansicht

KATALYSATOREN-ANALYSATOR BELCAT II

**SOFTWARE SPECIFICATIONS**

Funktion für einfache Messdurchführung

Dedizierte Reiter für Standardanalysen (TPR, TPD, TPO und BET) ermöglichen eine einfache Programmierung sowie die Echtzeitüberwachung von Betriebsstatus, TCD-Diagrammen, Temperatur und Durchflussraten.

Automatische Nullpunktkorrektur des TCD

Die automatische TCD-Nullpunktkorrektur sorgt für konsistente Basislinien, ermöglicht einen zuverlässigen

Datenvergleich und gewährleistet präzise kontinuierliche Messungen mit unterschiedlichen Trägergasen.

## Sequentieller Messmodus

Der sequentielle Messmodus automatisiert die Katalysatorcharakterisierung, indem eine Reihe unabhängiger Messungen in festgelegter Reihenfolge durchgeführt wird und so eine systematische Analyse ohne Benutzereingriff ermöglicht.

## Hochzuverlässige automatische Mehrpunktkalibrierung

Die automatische Mehrpunktkalibrierung wird nach TPD- oder TPR-Messungen durchgeführt, indem die MFCs des Geräts zur Erzeugung verschiedener Gaskonzentrationen eingesetzt werden.

## Software zur Wellenformanalyse

Die Analysesoftware ermöglicht eine einfache Datenauswertung mit automatischer Peakflächenberechnung, Spektrenüberlagerung zum Vergleich, Peak Separation sowie zusätzlichen Analysetools für eine komfortable Weiterverarbeitung.

KATALYSATOREN-ANALYSATOR BELCAT II

## **GRUNDLAGEN DER KATALYSATORCHARAKTERISIERUNG**

### **Pulschemisorption**

Der Dispersionsgrad des Metalls (Metalldispersion) ist ein entscheidender Parameter in der heterogenen Katalyse. Er beschreibt den Anteil der Metallatome, die auf der Oberfläche eines Katalysators exponiert sind, im Verhältnis zur Gesamtzahl der vorhandenen Metallatome (häufig in Prozent angegeben).

Die Metalldispersion kann über Pulschemisorption mit Gasen wie CO oder H<sub>2</sub> bestimmt werden, die selektiv an der Metalloberfläche chemisorbieren. Dies wird erreicht, indem wiederholt eine definierte Gasmenge in die Probe eingepulst wird, bis die Sättigung erreicht ist.

Die Pulsmessung bestimmt die chemisorbierte Menge, indem die gesättigten Peaks als Referenz genutzt werden. Die Differenz der Peakflächen zwischen ungesättigtem und gesättigtem Zustand entspricht der adsorbierten Menge.

Der Dispersionsgrad des Metalls ist wesentlich für die Beurteilung, Optimierung und das Verständnis der Leistungsfähigkeit und Lebensdauer metallbasierter Katalysatoren.

### **Temperaturprogrammierte Desorptionsmessung (TPD)**

Diese Methode dient der Untersuchung der chemischen Adsorptionseigenschaften auf festen Oberflächen und wird in der Regel durch ein Spektrum dargestellt, bei dem die Konzentration des desorbierten Gases auf der y-Achse und die

Temperatur auf der x-Achse aufgetragen ist. Durch kontinuierliche Erhöhung der Proben temperatur und Detektion des desorbierten Gases lassen sich Menge und Stärke energetisch unterschiedlicher Adsorptionsstellen bestimmen. Typischerweise wird  $\text{NH}_3$ -TPD zur Bewertung fester Säure-Katalysatoren eingesetzt, wohingegen  $\text{CO}_2$ -TPD häufig zur Beurteilung fester Base-Katalysatoren verwendet wird; darüber hinaus werden CO-TPD und häufig auch  $\text{H}_2$ -TPD zur Charakterisierung aktiver Metallzentren eingesetzt.

## **TPOxidation (TPO) / TPReduction (TPR) und TPReaction (TPX)**

TPR, TPO, TPX und TPSR (Surface Reactions) sind leistungsfähige Methoden zur Analyse der Reaktivität fester Katalysatoren. Diese Verfahren beinhalten eine schrittweise Erhöhung der Proben temperatur bei gleichzeitiger Überwachung des Eduktverbrauchs oder der Produktbildung – typischerweise als Funktion von Temperatur (x-Achse) und Signalintensität (y-Achse) dargestellt. Dieser Ansatz ermöglicht die kontinuierliche Beobachtung von Redoxverhalten und Reaktionsdynamik und offenbart wichtige Eigenschaften wie Reduktionstemperatur, Oxidationsverhalten und Reaktionsschritte. TPSR ermöglicht insbesondere die direkte Untersuchung von Oberflächenreaktionen unter reaktiven Gasgemischen und liefert Einblicke in Reaktionsmechanismen und Zwischenprodukte. Zu den typischen Anwendungen dieser Techniken gehören Oxidations-/Hydrierungsreaktionen, Shift-Chemie und Reformingprozesse.

### **| Temperaturprogrammierte Techniken**

- | Temperaturprogrammierte Reduktion (TPR): Charakterisierung der Reduzierbarkeit und der Wechselwirkung von Metalloxiden und geträgerten Katalysatoren unter Temperaturprogrammen mit reduzierenden Gasen.
- | Temperaturprogrammierte Oxidation (TPO): Bewertung von Oxidationszuständen, Koksablagerung und Reaktivität durch programmierte Beaufschlagung mit oxidierenden Gasen.
- | Temperaturprogrammierte Reaktion (TPX): Untersuchung katalytischer Reaktionen unter variierenden Temperaturprogrammen zur Simulation von Betriebsbedingungen.
- | Temperaturprogrammierte Oberflächenreaktionen (TPSR): Ermöglicht die präzise Beobachtung katalytischer Oberflächenreaktionen in Abhängigkeit von der Temperatur und liefert durch integrierte Gasanalytik in Echtzeit wertvolle Einblicke in Reaktionsmechanismen, Katalysatoraktivität und Selektivität.

Temperaturprogrammierte  
Reduktion (TPR)

Temperaturprogrammierte  
Oxidation (TPO)

### **Messung der Adsorptions-Durchbruchskurve**

Die Durchbruchskurve beschreibt die Konzentration eines Adsorptivs, das eine Adsorptionssäule im Zeitverlauf passiert. Sie ist ein wesentliches Werkzeug, um zu verstehen, wie ein Adsorbens eine oder mehrere Komponenten aus einem Gasgemisch beim Durchströmen der Säule zurückhält.

1. Anfangsphase: Das Adsorbens nimmt das Adsorptiv effektiv auf, und die Konzentration des verbleibenden Adsorptivs im Ablauf ist gering.
2. Durchbruchpunkt: Die Adsorptivkonzentration im Ablauf beginnt deutlich anzusteigen, was darauf hinweist, dass sich das Adsorbens sättigt und weniger wirksam bei der Aufnahme des Adsorptivs wird.
3. Gleichgewichtsphase: Die Adsorptivkonzentration im Ablauf entspricht der Zulaufkonzentration, da das Adsorbens vollständig gesättigt ist.

### **BET-Analyse der spezifischen Oberfläche**

Die spezifische Oberfläche, definiert als die Gesamtoberfläche pro Masseneinheit der trockenen Substanz, ist ein wichtiger Parameter für die Charakterisierung von Katalysatoren. Sie kann mit der BET-Methode bestimmt werden, indem die Menge eines Gases (z. B. Stickstoff) gemessen wird, das desorbiert, nachdem die Probe bei Flüssigstickstofftemperatur unter einem mit Helium verdünnten Adsorptivgasstrom abgekühlt und anschließend wieder auf Raumtemperatur gebracht wurde.

Diese Methode ist nicht nur für feste Katalysatoren von Bedeutung, sondern auch für verschiedene pulverförmige Proben, wie etwa Adsorbentien.

KATALYSATOREN-ANALYSATOR BELCAT II

**TECHNISCHE DATEN**

<b>Messmethode</b>	Dynamische Durchflussmethode
<b>Detektor</b>	4-Element-Wärmeleitfähigkeitsdetektor (TCD)
<b>Mess- / Vorbehandlungspoints</b>	1
<b>Adsorptionsgase</b>	He, Ar, N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, NO, etc.
<b>Gasanschlüsse: Gesamt</b>	8
<b>Gasanschlüsse: Carrier gas line</b>	3 von 8 (nicht korrosionsbeständige Gasanschlüsse)
<b>Gasanschlüsse: Mix line</b>	8 von 8 (inklusive 2 korrosionsbeständige Gasanschlüsse)
<b>Gasanschlüsse: Pretreatment /pulse line</b>	8 von 8 (inklusive 2 korrosionsbeständige Gasanschlüsse)
<b>Massendurchflussregler: Carrier gas line</b>	F.S. 100 sccm
<b>Massendurchflussregler: Mix line</b>	F.S. 30 sccm
<b>Massendurchflussregler: Pretreatment / pulse line</b>	F.S. 100 sccm
<b>Elektrischer Ofen</b>	Maximale Temperatur: 1.200 °C (1.100°C für die Standardnutzung) Quick Cooling: 30 Min. (400→50 °C) Cryo Cooling: 10 Min. (800→30 °C) CATCryo II: bis zu -120 °C Heizraten: bis zu 110 °C/Min. (50 - 500 °C) / bis zu 80 °C/Min. (50 - 1000 °C)
<b>Adsorptionsdämpfe (Option)</b>	H <sub>2</sub> O, CH <sub>3</sub> OH, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH, Toluol, Benzol, etc.
<b>Abmessungen (B x H x T), Gewicht</b>	500 x 750 x 500 mm, 80 kg
<b>Voraussetzungen: Gas</b>	Messgas: 0,1 MPa (Überdruck) Druckluft: 0,45 bis 0,55 MPa (Überdruck); Anschluss: 1/8" Swagelok-Verbindung
<b>Voraussetzung: Stromversorgung</b>	Einphasig, AC110 / 220V
<b>CE-Zertifizierung</b>	Ja
<b>Dampf (optional): Temperaturbereich</b>	Bubbling bottle: Pyrex, 100 cc, 3 to 100 °C, temperature control via Peltier element
<b>CATCryo II (optional): Verfahren zur Temperaturregelung</b>	LN <sub>2</sub> -Spray + Heizelement

<b>CATCryo II (optional): Temperaturbereich</b>	Temperaturbereich: -120 ~ 1200 °C (1.100 °C für die Standardnutzung)
<b>CATCryo II (optional): LN<sub>2</sub> Dewar- Volumen</b>	10 L
<b>Externe Gasmischeinheit (optional): Gasanschluss</b>	1 bis 3 (auf maximal 3x Massendurchflussregler aufrüstbar) Anschluss: 1/8-inch Swagelok-Verbindung
<b>Externe Gasmischeinheit (optional): Massendurchflussregler</b>	F.S.: 30 sccm (0,6 ~ 30 sccm (N <sub>2</sub> )) Korrosionsbeständige Massendurchflussregler.

[www.microtrac.de/belcat-ii](http://www.microtrac.de/belcat-ii)