

**NETZSCH**

Proven Excellence.



## Multi-Modul-Kalorimeter MMC 274 *Nexus*®

ARC-, Scanning- und Knopfzellenmodul

Analyzing & Testing

# Multi-Modul-Kalorimeter

## *Synergie bewährter Methoden*

Wissenschaftler und Ingenieure setzen gezielt mehrere Methoden ein, um verlässliche Produkt- und Prozessinformationen zu erhalten. Für die tägliche Anwendung sollte die Technik zuverlässig, schnell und anwenderfreundlich sein.

Das NETZSCH Multi-Modul-Kalorimeter MMC 274 *Nexus*<sup>®</sup> ist eine Apparatur, die mit unterschiedlichen Modulen zur Untersuchung von energetischen Materialien und Akkus (Knopfzellen) betrieben werden kann. Es findet Einsatz in der kommerziellen Forschung & Entwicklung, an Universitäten und Forschungszentren sowie in der Qualitätskontrolle/-sicherung für unterschiedliche Industrien. Das MMC kann die folgenden Aufgaben an Proben im Grammbereich erfüllen:

- Untersuchung von chemischen Reaktionen
- Untersuchung von Phasenänderungen
- Analyse der Prozesssicherheit
- Charakterisierung von Knopfzellen

Dies ermöglicht die Analyse von organischen/anorganischen Mehrphasensystemen und Mischungen. Für diese Tests kann das MMC 274 *Nexus*<sup>®</sup> mit drei unterschiedlichen Kalorimetermodulen ausgestattet werden: ARC, Scanning und Knopfzellenmodul.

*Das MMC 274 Nexus<sup>®</sup> besteht aus zwei Einheiten: dem Basisgerät mit Elektronik und den austauschbaren Kalorimeter-modulen für maximale Flexibilität.*



MMC 274 *Nexus*<sup>®</sup>-Basisinheit mit Statusanzeige (links) für drei austauschbare Messmodule (mitte bis rechts)

# Vorteile und Hauptmerkmale des MMC 274 Nexus®

- Mehrere Testmodi in einer Apparatur für eine Vielzahl von Applikationen:
  - Scanning-Modus (konstante Leistung, konstante Heizrate)
  - Isothermer Modus (einschl. isothermes Laden/Entladen)
  - Adiabatischer Modus mit Heat-Wait-Search für Untersuchungen zur Prozesssicherheit
- Großer Temperaturbereich
- Großer Druckbereich
- Unterschiedliche Probenbehälter in verschiedenen Materialien und Volumina
- *Proteus*®-Software zur vollständigen Auswertung der thermoanalytischen Daten in einem Plot



## ARC-Modul – Prozesssicherheit

Um sichere und zuverlässige Prozesse zu ermöglichen, muss die durch eine chemische Reaktion freigesetzte Energiemenge bekannt sein. Mit dem ARC (Accelerating Rate Calorimetry)-Modul lassen sich Worst-Case-Szenarien selbst bei erhöhten Temperaturen ohne Wärmeverlust an die Umgebung untersuchen.

ARC-Systeme gemäß ASTM E1981 finden seit Jahrzehnten häufigen Einsatz, um das Verhalten realer Großreaktoren zu simulieren. Im Gegensatz zu herkömmlichen ARC-Apparaturen ist das MMC 274 Nexus® mit ARC-Modul ein platzsparendes Tischgerät.

### Typische ARC-Applikationen

- Chemische Prozesssicherheit
- Thermal Runaway (Heat-Wait-Search)
- Lagerungs- und Transportstudien
- Prüfung energetischer Materialien
- Effekt von Autokatalyse und Inhibitoren bei extremen Bedingungen

## Scanning-Modul – Screening hochreaktiver Substanzen

Für anspruchsvollere Applikationen ist das Scanning-Modul erste Wahl. Damit lassen sich exo- oder endotherme Reaktionen energiereicher Proben untersuchen. Es kann sowohl für Festkörper als auch für Flüssigkeiten eingesetzt werden.

### Typische Scanning Applikationen

- Probenscreening
- Isotherme Tests
- Temperaturrampentests



## Knopfzellen-Modul – Batterietest

Das Knopfzellen-Modul ist speziell für die Untersuchung von kleinen Batterien konzipiert. Die vom MMC-Test generierten Daten werden mit dem vom Cylcer/Analysator erzeugten Daten zusammengeführt, sodass Batterie- und thermischen Daten in einer Darstellung verglichen werden können.

### Typische Knopfzellen-Applikationen

- Charakterisierung ganzer Knopfzellen zur Nachstellung der Zellenleistung in realer Umgebung
- Während chemischer Reaktionen freigesetzte oder absorbierte Wärmemengen
- Laden/Entladen
- Energieänderungsrate
- Leistungsfähigkeit



Bei der Untersuchung chemischer Reaktionen und deren Bewertung hinsichtlich der Prozesssicherheit stellen sich Fragen, die besonders gut durch Untersuchungen unter adiabatischen Bedingungen beantwortet werden können.

# Prozesssicherheit

Der Betrieb eines chemischen Reaktors gilt als sicher, solange die maximale Wärmeabfuhrleistung größer ist als die maximale Reaktionsleistung.

Wie ist das thermische Verhalten des Materials?

Wie groß ist das thermische Gefährdungspotential des Materials?

Bei welcher Temperatur beginnt die Reaktion (Onset)?

Wie groß ist die Reaktionsenthalpie?

Was ist die Time-to-Maximum Rate (TMR)?

Wie groß sind Temperatur- und Druckänderungsrate?

Wie verhält sich das Material innerhalb eines gegebenen Zeitraums; z. B. 24 h?

Welche maximale Temperatur kann unter adiabatischen Bedingungen erwartet werden?

Bei welcher Temperatur wird die Reaktion unumkehrbar (temperature of no return)?

Was sind die kinetischen Parameter?

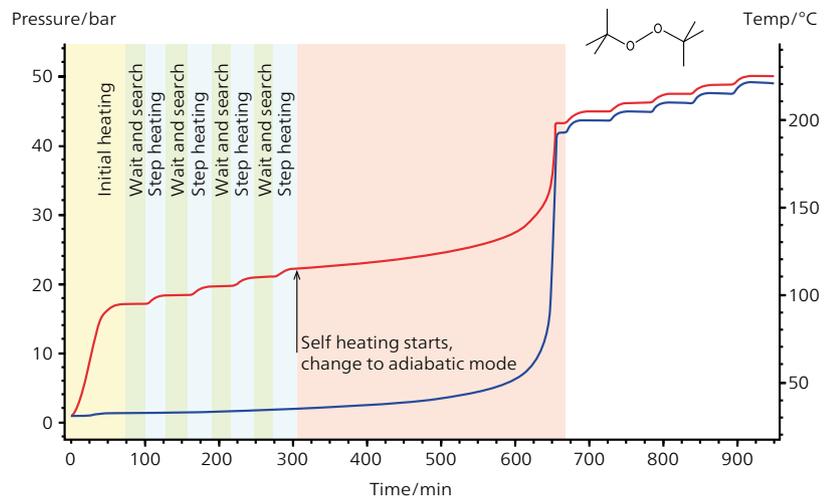
# Das ARC-Modul

## Heat-Wait-Search Test

Während eines Heat-Wait-Search-Tests (HSW) wird die Probe bis zu einer bestimmten Temperatur aufgeheizt (HEAT), bei der im Anschluss die Probe äquilibriert wird (WAIT). Im folgenden Detektionsschritt (SEARCH) wird gemessen, ob die Probe eine Selbsterwärmung aufzeigt. Wird diese nicht festgestellt, beginnt der HWS-Zyklus von Neuem.

Sobald die Selbsterwärmung der Probe eine vorher definierte Rate übersteigt (meist 0,02 K/min) wechselt das Messprogramm vom HWS-Modus in den adiabatischen Modus. Alle Umgebungsheizer des Kalorimeters folgen jetzt der Proben temperatur (tracking) und vermeiden so, dass Reaktionswärme nach außen abgeführt werden kann.

Nach Beendigung der exothermen Reaktion kehrt das System in den HWS-Betrieb zurück, bis entweder der nächste exotherme Effekt detektiert wird oder die Messung durch Erreichen der maximalen Temperatur (in der Software vordefiniert) abgeschlossen ist.



Ergebnis eines HWS-Tests einer Probe 20% di-tert-Butylperoxid (DTBP) in Toluol

### Technische Daten für das ARC-Modul

Temperaturbereich	RT ... 500 °C
Temperaturablesbarkeit	0,01 K
Heizrate	0 bis 5 K/min 0 bis 2 K/min mit VariPhi®
Drucklimit	150 bar
Druckablesbarkeit	0,01 bar
Volumen der Behälter	0,1 bis 8,5 ml
Behälter	Edelstahl, Inconel, Glas, Hastelloy
Trackingrate	Bis zu 50 K/min



# Das ARC-Modul – Simulation von Worst-Case-Szenarien

Der beste Weg, Worst-Case-Szenarien zu verstehen, ist die Untersuchung von thermischen chemischen Reaktionen unter adiabatischen Bedingungen, d.h. es findet kein Wärmeaustausch mit der Probenumgebung statt.

Das ARC-Modul kann Wärmeverluste des Probenbehälters minimieren, indem es die Umgebungstemperatur auf der gleichen Temperatur wie die der Probe hält.

Ein definiertes Probenvolumen von bis zu einigen Millilitern wird in einen zylindrischen oder kugelförmigen Behälter eingebracht, der von einem ausgeklügelten Heizsystem umgeben ist.

Gibt es zwischen den umgebenden Heizern und der Probe keinen Temperaturunterschied, dann gibt es auch keinen Wärmefluss und die von der Probe generierte Wärme bleibt vollständig in der Probe.

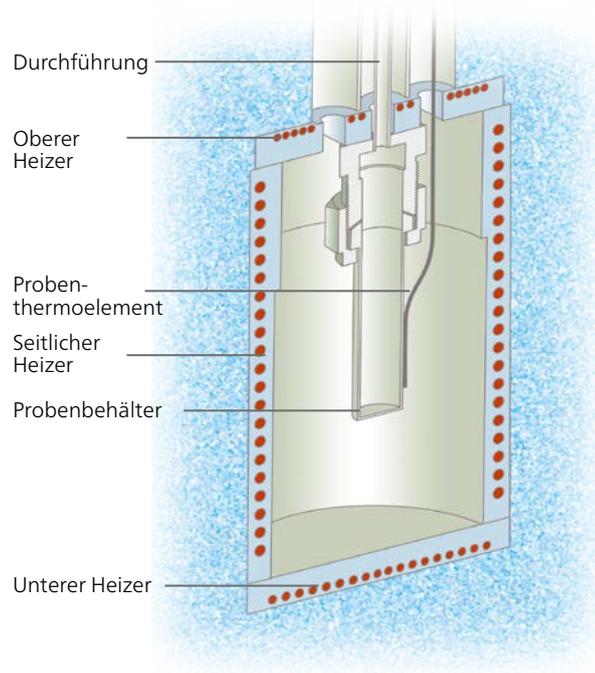
In der Regel hat der Probenbehälter ein Volumen zwischen 0,1 ml und 8,5 ml. Die Trackingrate darf bis zu 50 K/min betragen. Drücke von bis zu 150 bar können detektiert werden.

## Isothermes Altern

Die Untersuchung des Probenverhaltens bei konstanter Temperatur lässt sich mittels Iso-Fixed- oder Iso-Track-Modus realisieren.

## ARC-Module – Hauptmerkmale

- HWS-Tests für adiabatische Reaktionsführung (thermal runaway)
- Druckmessung
- *VariPhi*® (optional erweiterbar, siehe Seite 7)
- Feste und flüssige Probenkörper
- Isothermes Altern



ARC-Modul

# ARC-Modul mit VariPhi® – Bestimmung von Reaktionsenthalpien

VariPhi® ist ein zusätzlicher, separat geregelter Gleichstromheizer, der in Kontakt mit dem Probenmaterial ist (interner Heizer). Er ermöglicht die Kompensation der thermischen Trägheit, indem er den Wärmeverlust von der Probe zum Behälter ausgleicht.

Da sich sowohl die Probe als auch der Behälter unter adiabatischen Bedingungen befinden, hat die von der Probe generierte Wärme nicht nur einen Anstieg der Eigentemperatur, sondern auch einen Anstieg der Behältertemperatur zur Folge.

In Abhängigkeit von Masse und spezifischer Wärmekapazität absorbiert der Probenbehälter einen Teil der Reaktionsenthalpie der Probe.

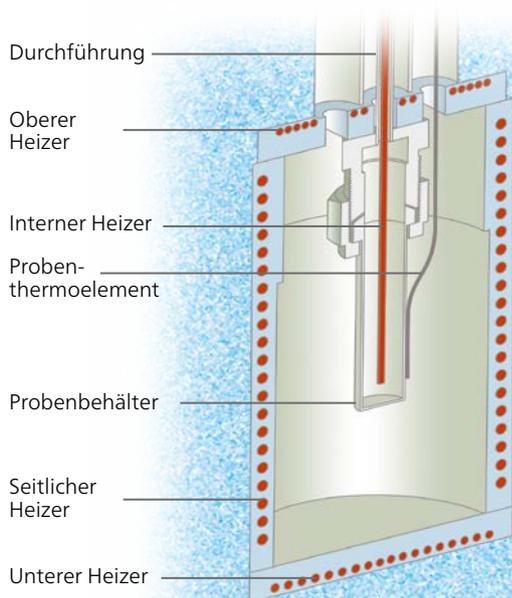
Dies wird durch die Summe der Wärmekapazitäten der Probe und des Behälters, geteilt durch die Wärmekapazität der Probe berücksichtigt, was zu dem sogenannten  $\Phi$ -Faktor führt:

Der  $\Phi$ -Faktor gibt das Verhältnis von Masse und spezifischer Wärmekapazität des Behälters zur Probe wieder.

$$\Phi = \frac{T_{ad}}{T_{obs}} = 1 + \frac{m_v \cdot c_{p,v}}{m_s \cdot c_{p,s}}$$

$T_{ad}$  Temperatur adiabatisch  
 $T_{obs}$  Temperatur beobachtet  
 $m_v$  Masse des Behälters  
 $m_s$  Masse der Probe  
 $c_{p,s}$  spezifische Wärmekapazität der Probe  
 $c_{p,v}$  spezifische Wärmekapazität des Behälters

Idealerweise beträgt der  $\Phi$ -Faktor 1. In der Realität ist der  $\Phi$ -Faktor immer größer als 1.



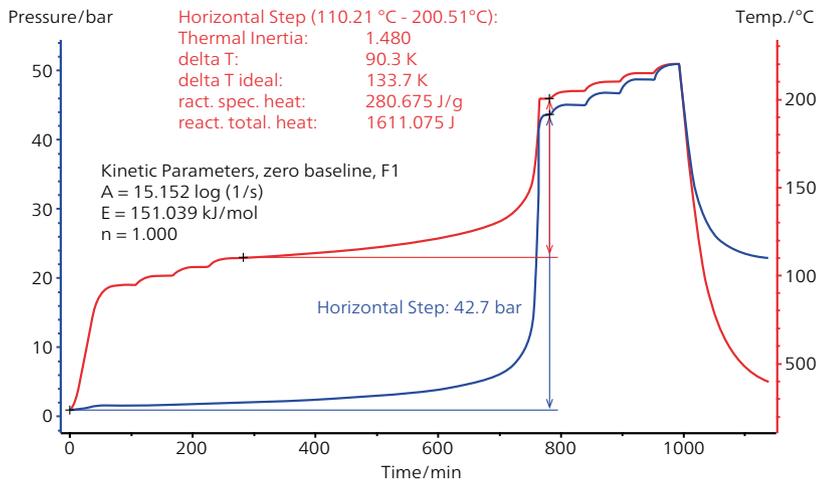
ARC-Modul mit optionalem VariPhi® (internem Heizer)

## Hauptmerkmale des ARC-Moduls mit VariPhi®

Zusätzlich zu den Hauptmerkmalen des ARC-Moduls:

- Kompensation der Wärmeverluste zum Probenbehälter während des Tests
- Einfluss der thermischen Trägheit oder  $\Phi$ -Faktor: Scanning- und isotherme Modi erlauben die Detektion exo- und endothermer Effekte
- Scanning-Modus: Screening reduziert die Testzeit um bis zu 75 %
- Brandsimulationsmodus: Simulation von zusätzlicher Wärmezufuhr zur Probe

## Selbstzersetzungsverhalten von DTBP in Toluol



Ergebnisse eines HWS-Tests einer Probe (5,74 g) 20% di-tert-Butylperoxid (DTBP) in Toluol in einem kugelförmigen Titanbehälter (Masse: 10,028 g); exothermer Schwellwert: 0,02 K/min, thermische Trägheit: 1,48

Dieses Beispiel zeigt die Untersuchung des Selbstzersetzungsverhaltens von DTBP in Toluol. Bei 110 °C übersteigt die Wärmeentwicklung der Selbstzerersetzung der Probe den exothermen Schwellwert von 0,02 K/min. Aus diesem Grund wurde vom HWS-Modus auf den adiabatischen Modus umgestellt.

Dann verfolgen die Kalorimeterheizer die Probertemperatur. Infolgedessen waren Probertemperatur und Temperatur des umgebenden Kalorimeters identisch und Wärmefluss, als auch und Wärmeverlust konnten vermieden werden. Der beobachtete Temperaturanstieg der Selbstzerersetzung wurde mit 90,3 K ausgewertet. Unter Berücksichtigung der thermischen Trägheit wurde der adiabatische Temperaturanstieg mit 133,7 K berechnet.

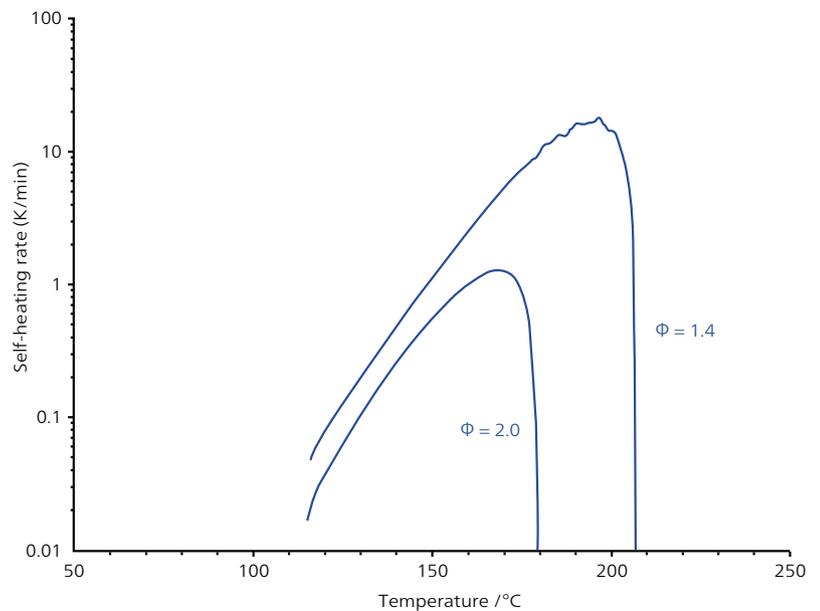
Die Kenntnis der spezifischen Wärmekapazität all dieser Komponenten ermöglicht die Bestimmung der Reaktionswärme.

Der mit der Zersetzungsreaktion verbundene Druck wurde mit 42,7 bar gemessen. Durch einen einstufigen Zersetzungsmechanismus 1. Ordnung können sowohl Präexponentialfaktor als auch die Aktivierungsenergie berechnet werden.

## Kompensierter $\Phi$ -Faktor

Die Masse des Behälters kann bei Verwendung von *VariPhi*® vollständig kompensiert werden. Dies ermöglicht entweder einen angepassten  $\Phi$ -Faktor – ähnlich dem realen Reaktionsbehälter in einer Anlage – oder einen idealen  $\Phi$ -Faktor nahe dem Wert 1.

Die nebenstehende Abbildung zeigt Messungen an 1,25 g 20% DTBP in Toluol mit zwei unterschiedlichen  $\Phi$ -Faktoren. Bei einem  $\Phi$ -Faktor von 1,4 stieg die Eigenerwärmungsrate um mehr als eine Größenordnung gegenüber dem, was bei einem  $\Phi$ -Faktor von 2,0 zu beobachten ist, an.



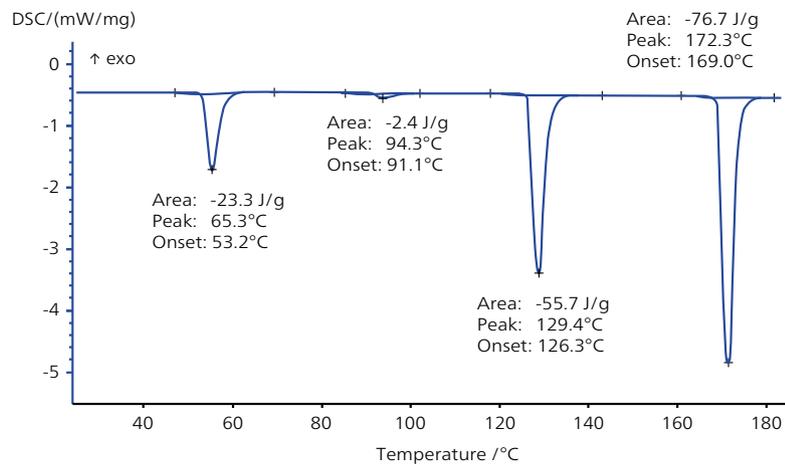
Anpassung des  $\Phi$ -Faktors

# MMC mit ARC-Modul im Vergleich zu einem herkömmlichen Dynamischen Differenz-Kalorimetrie (DSC)-Test

## Ammoniumnitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )

### DSC-Untersuchung

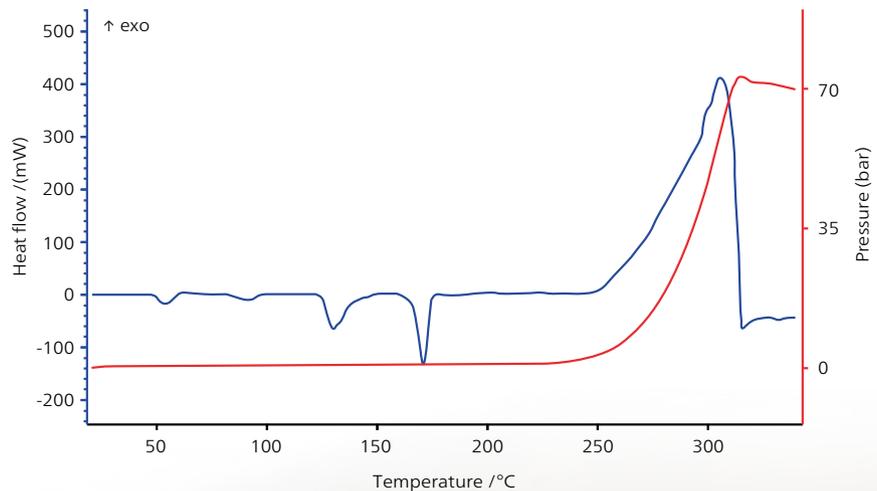
Mit Standard-DSC-Messungen werden endo- und exotherme Effekte unter isothermer oder ansteigender Temperatur bei Atmosphärendruck aufgezeichnet. In der Regel wird die Messung bis zum Schmelzpunkt des Materials durchgeführt und ausgewertet. Die Probe wird in einen offenen Tiegel oder einen verschlossenen Aluminiumtiegel mit gelochtem Deckel platziert.



DSC 204 F1 Phoenix®-Messung an  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  bis 200 °C. Die Probe zeigt drei endotherme Fest-Fest-Phasenübergänge, gefolgt vom Schmelzen bei 169 °C (Onset). Mit steigender Temperatur nach dem Schmelzen findet die thermische Zersetzung des Materials statt.

### Typische MMC-Messung mit ARC-Modul

Mittels MMC-Messungen kann das Probenverhalten einschließlich der Zersetzung aufgezeichnet werden. Im Gegensatz zu DSC-Tests werden diese Messungen in geschlossenen Behältern durchgeführt. Die Zersetzung tritt als exotherme Reaktion auf. Auch dies unterscheidet sich von der DSC, bei der für die gleiche Reaktion ein endothermes Signal für die Zersetzung detektiert wird.



Darstellung der Messergebnisse von Ammoniumnitrat mittels MMC. Neben dem Wärmestrom kann zusätzlich die Druckentwicklung im Probenbehälter registriert werden.

*Das Verständnis exothermer Reaktionen ist unerlässlich für die sichere Verarbeitung, Lagerung und den Transport von Chemikalien.*



# Das Scanning-Modul

## Screening von Festkörpern und Flüssigkeiten – sogar in isothermen Tests

Das Scanning-Modul hat einen zusätzlichen Heizer, der an der Außenseite des Probenbehälters positioniert ist. Dies erlaubt eine definierte Leistungsaufnahme, um endo- und exotherme Effekte detektieren zu können.

Das Scanning-Modul ist geeignet für isotherme und konstante Temperaturrampentests, insbesondere bei Experimenten mit höheren Reaktionsenergien.

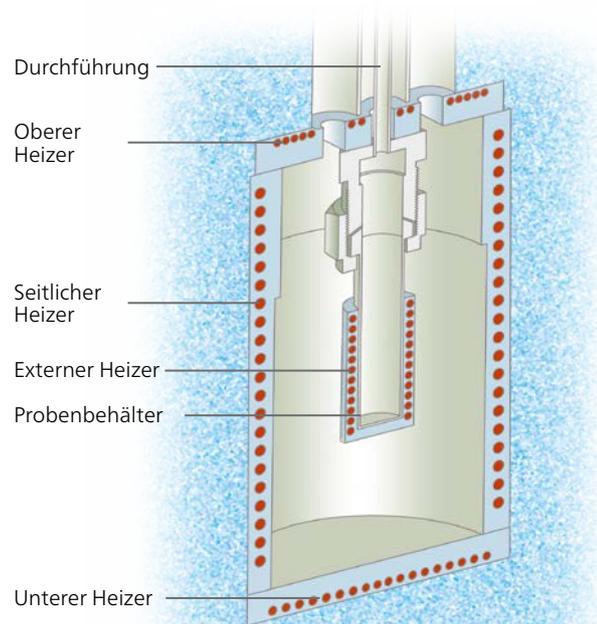
Das Scanning-Modul eignet sich speziell für kleine Massen hochenergetischer Proben.

### Technische Daten für das Scanning-Module

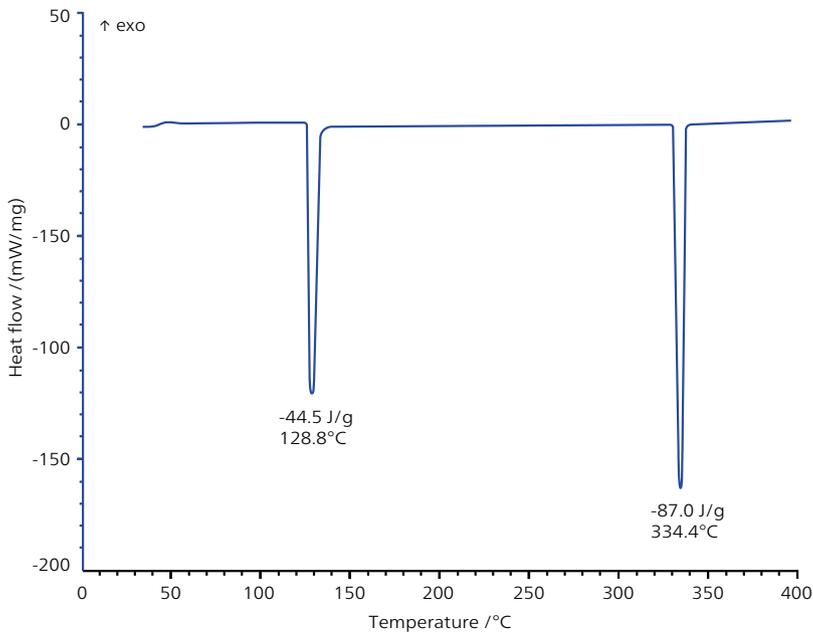
Temperaturbereich	RT ... 500 °C
Temperaturablesbarkeit	0,01 K
Heizrate	0 bis 5 K/min
Drucklimit	150 bar
Druckablesbarkeit	0,01 bar
Volumen der Behälter	2,6 ml
Behälter	Edelstahl, Inconel, Hastelloy, Glas
Trackingrate	Bis 50 K/min

## Scanning-Modul – Hauptmerkmale

- Scanningmodus durch konstante Heizrate oder konstante Leistung
- Isothermer Modus
- Bestimmung von endothermen und exothermen Enthalpien
- Druckmessung
- Für Flüssigkeiten und Festkörper
- Inhomogene Proben aufgrund von höheren Probenmassen und hochenergetische Proben in kleinen Probenmassen
- Kürzere Testzeiten als bei HWS-Tests



Scanning-Modul mit externem Heizer



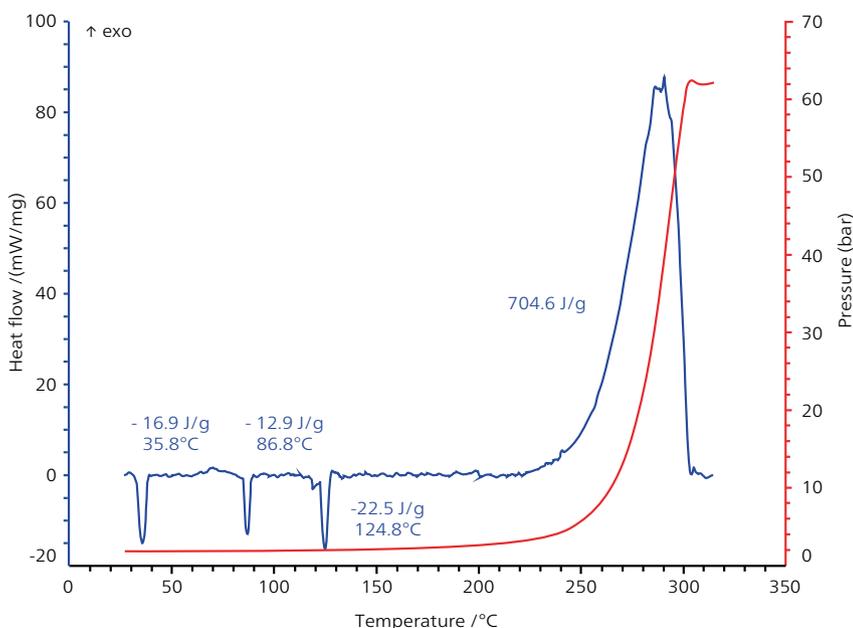
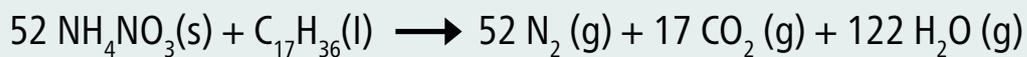
Messung an Kaliumnitrat mittels Scanning Modul

## Kaliumnitrat (KNO<sub>3</sub>)

Neben Schwefel und Holzkohle wird KNO<sub>3</sub> für die Synthese von Schießpulver verwendet. Es wird auch bei der Konservierung von Lebensmitteln (E252) und als wichtiger kalium- und stickstoffhaltiger Dünger eingesetzt.

Diese Messung wurde im Scanning-Modus mit konstanter Leistungsaufnahme von 200 mW durchgeführt. Die zwei bei 129 °C (Peakfläche von -45 J/g) und 334 °C (-87 J/g) detektierten Peaks sind mit Phasenübergängen verbunden.

*Redoxreaktionen, bei denen große Mengen Gase spontan gebildet werden, können explosiv sein.*



Messung mit Scanning-Modul an einer ANC-Probe

## NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> Mineralöl (ANC)

ANC ist eine Mischung aus festem Ammoniumnitrat (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) und Mineralöl. Es dient zur sicheren Verwendung im Bergbau, in Steinbrüchen und im Tunnelbau. Die Grundreaktion während der Detonation ist die Zersetzung von Kohlenwasserstoff und H<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> in CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O.

Für diesen Test wurde eine Mischung aus NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> und Toluol verwendet. Bis 150 °C wurden drei endotherme Phasenübergänge beobachtet. Für die große exotherme Zersetzung wurde eine Energiefreisetzung von 705 J/g ab ca. 235 °C detektiert.

# Knopfzellenmodul



## Vorteile des Knopfzellenmoduls

- Keine spezielle Probenvorbereitung erforderlich
- Analyse des Verhaltens der gesamten Knopfzelle anstatt einzelner Komponenten
- Zusammenführung von Wärmeentwicklungsdaten und Batteriedaten (Strom, Spannung, Leistung)
- Laden und Entladen der Knopfzelle
- Schnittstelle zu einer Cycler-Einheit

## Wärmesignatur als Schlüsselinformation für die Entwicklung und Prüfung von Batterien

Das Verständnis der Wärmeentwicklung während der Lade-/Entladezyklen ist besonders entscheidend für eine Verbesserung der Zelleneffizienz, Leistung und Lebensdauer von Batterien.

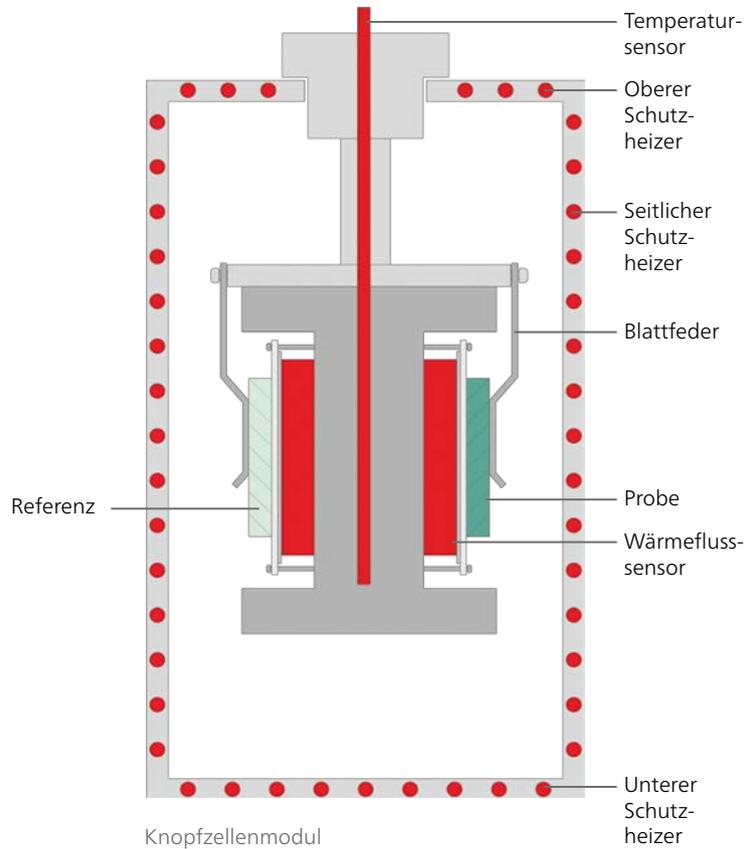
Die Messung der Wärmesignatur von Knopfzellen während der Zyklen gibt Einblick in die zugrundeliegenden Prozesse und bietet eine quantitative Möglichkeit, Änderungen in der Zellchemie über Strom- und Spannungsmessungen hinaus zu vergleichen.

Einige dieser Vorgänge sind reversibel, manche treten in den ersten Zyklen auf und andere laufen über einen Zeitraum von Wochen, Monaten oder sogar Jahren ab. Die während dieser physikalisch-chemischen Änderungen freigesetzte und absorbierte Energiemenge sowie die Energieänderungsrate innerhalb der Knopfzelle liefern weitere Teile des Puzzles und können den Entwicklungsprozess beschleunigen.

## Das Knopfzellenmodul

Das Knopfzellenmodul ist speziell für die Untersuchung von Knopfzellen ausgelegt. Es kann mit einem umfassend ausgestatteten Batterieanalysator gekoppelt werden. Die vom Cycler/Analytator generierten Daten werden mit den Daten des MMC zusammengeführt und können in der gleichen Abbildung dargestellt werden.

Der Anwender kann Lade-/Entladetests durchführen, um den Batteriezustand auszuwerten, Batterien zu zyklisieren, um die Leistung zu verbessern und so Einblicke in den Gesamtzustand der Batterie im isothermen oder Temperatur-Scanmodus zu gewinnen.



## Knopfzellenmodul – Überlegene Leistungsfähigkeit durch höchstes Qualitätsmanagement

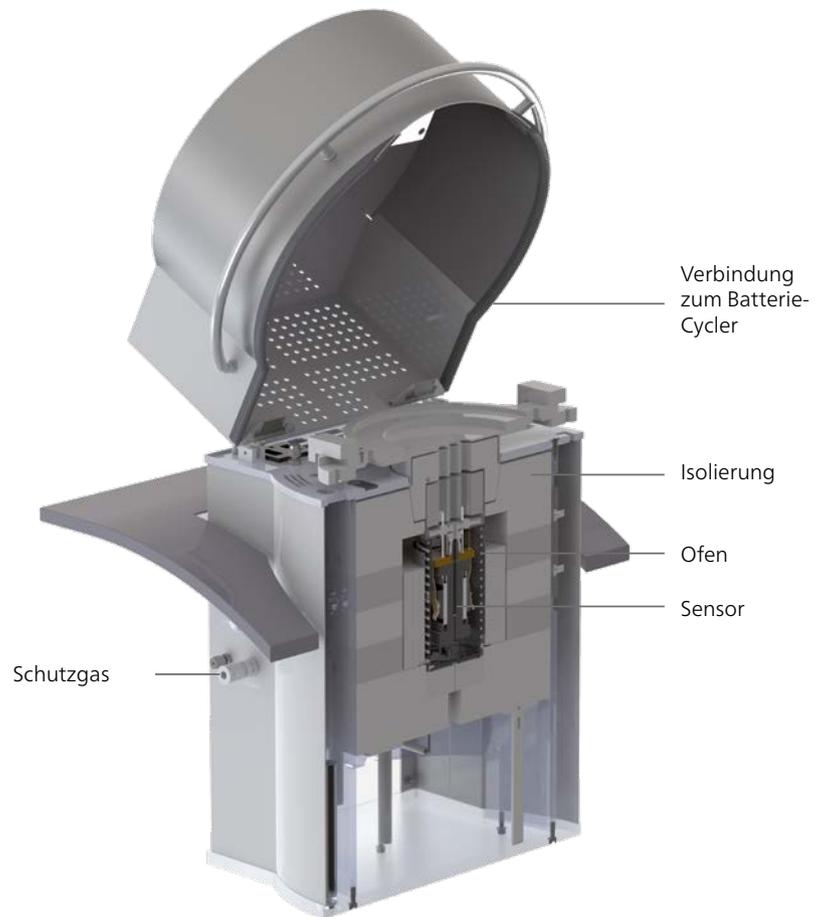
### Technische Daten für das Knopfzellenmodul

Temperaturbereich	RT ... 300 °C
Temperaturablesbarkeit	0,01 K
Heizrate	0 bis 5 K/min
Größe der Knopfzelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Typisch CR2032</li> <li>■ Durchmesser: 5 bis 25 mm</li> <li>■ Dicke: 1 bis 5 mm</li> </ul>
Betriebsarten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Isotherm</li> <li>■ Konstante Heizrate</li> </ul>
Anzahl der Proben-/Referenzzellen	1/1

# Innovative und robustes Knopfzellenmodul für qualitativ hochwertige Untersuchungen

## Wertvolles Knopfzellenmodul

- Einzigartiges Kalorimeter – speziell konzipiert für Knopfzellenmessungen
- Differenz-Messprinzip für verbesserte Stabilität und Empfindlichkeit – erfasst selbst schwache Signale von der Knopfzelle
- Charakterisierung ganzer Knopfzellen zur Simulation der Leistungsfähigkeit unter realen Umgebungsbedingungen
- Anwenderfreundlich
- Charakterisierung der gesamten Knopfzelle durch:
  - Isotherme Lade-/Entladezyklen
  - Scanningtests



Schnittbild des Knopfzellenmoduls



## Einfacher Anschluss an einen externen Cycler

Das Knopfzellenmodul für das MMC 274 Nexus® kann über einen LEMO-Stecker, der sich rechts an der Abdeckhaube der Apparatur befindet, an den Batterie-Cycler angeschlossen werden.

Zum Laden und Entladen der Knopfzelle werden vier Drähte verwendet; zwei für die Stromversorgung und zwei zur Messung der exakten Spannung an der Knopfzelle. Laden/Entladen kann auf beiden Seiten des Sensors durchgeführt werden; die Daten des Batterieladegeräts lassen sich dann für eine kombinierte Analyse problemlos in die Proteus®-Software importieren.

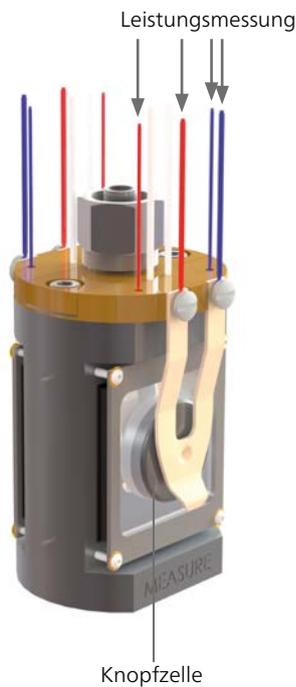
## Knopfzellensensor

Schlüsselkomponente dieses Moduls ist der Sensor. Er zeichnet sich durch eine innovative Differenz-Messanordnung, basierend auf Thermosäulen, für eine verbesserte Empfindlichkeit und Stabilität bei Wärmestrommessungen aus. Der Kalorimeterblock ist mit einem Resistance Temperature Device (RTD) zur genauen Aufzeichnung und Regelung der Temperatur durch den Umgebungssofen ausgestattet.

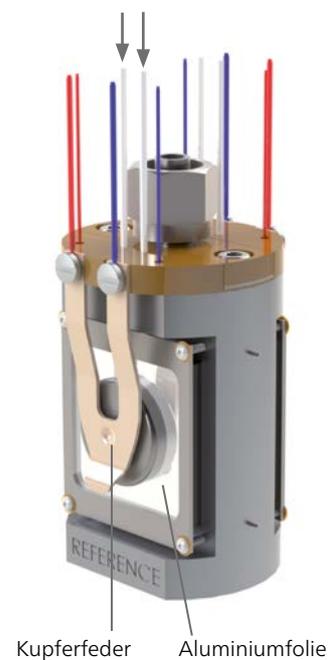
Die von der Knopfzelle aufgrund von Lade-/Entladezyklen oder internen physikalischen Änderungen abgegebene oder absorbierte Wärme wird vom Sensor detektiert. Zur Vermeidung externer Störeinflüsse wird das vom Referenz-Wärmeflussmesser detektierte Signal vom Signal der Probe abgezogen – eine echte Differenzmessung und somit eine viel genauere und empfindlichere Technik im Vergleich zu einem System mit einem einzelnen Sensor.



Das Modul zum  
Zyklisieren von Knopfzellen.



Wärmeflussmessung



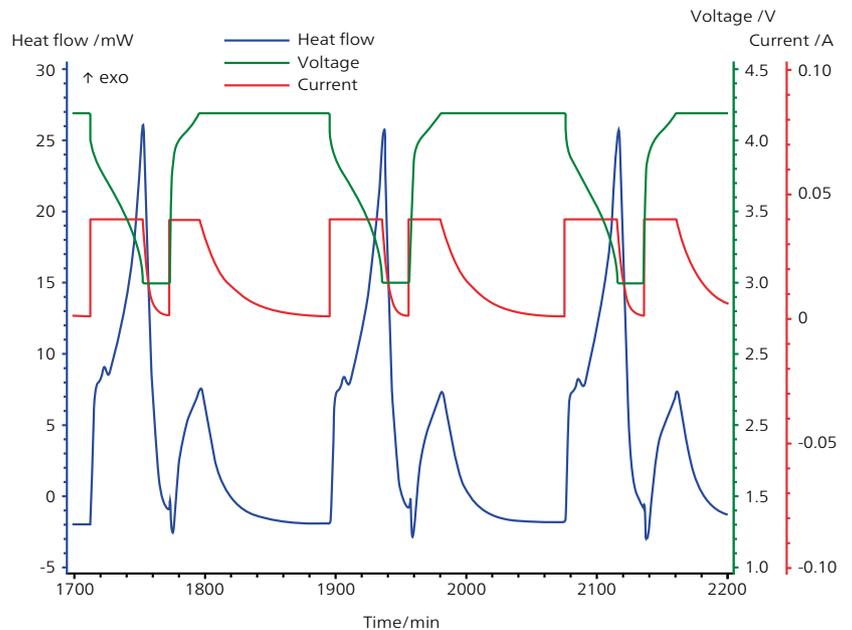
## Lithium-Knopfzelle

Testparameter der Messung an der Li-Knopfzelle:

- Probe: LiR2032-Knopfzelle
- Isothermer Modus mit voreingestellter Temperatur bei 40 °C
- Entlade-/Ladezyklus; konstanter Strom – konstante Spannung (CC-CV) – 40 mA von 4,2 V bis 3,0 V

Die Messkurven (oberer Plot) zeigen den Wärmehaushalt der LiR2032-Knopfzelle während der drei Lade- und Entladezyklen.

Die Leistung wird berechnet, indem die elektrische Energie durch die Gesamtenergie (elektrische Energie + Wärmestrom) während des Ladens und Entladens (unterer Plot) geteilt wird.

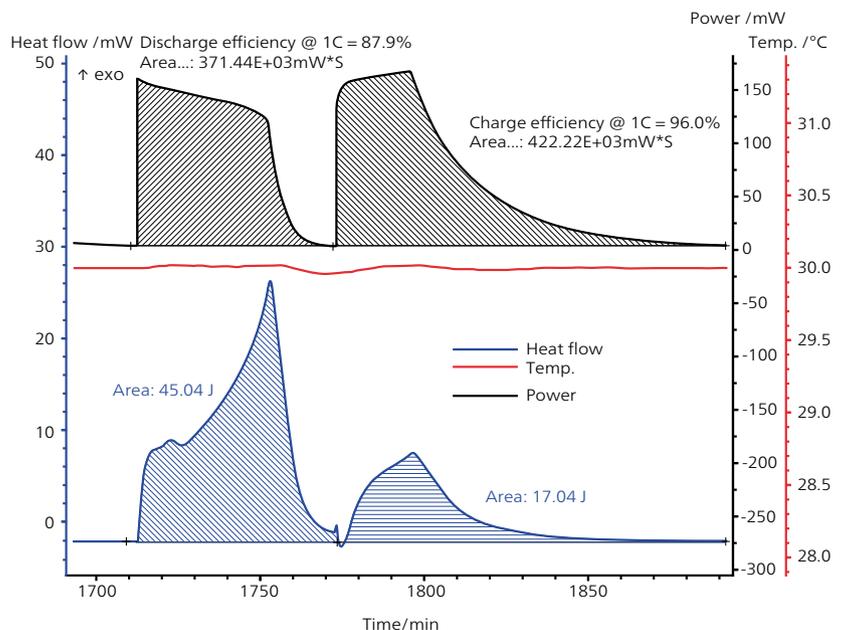


Drei isotherme Entlade- und Ladezyklen einer LiR2032-Knopfzelle

**Berechnung  
der Effizienz**



Leere Knopfzellenbehälter für das Knopfzellenmodul



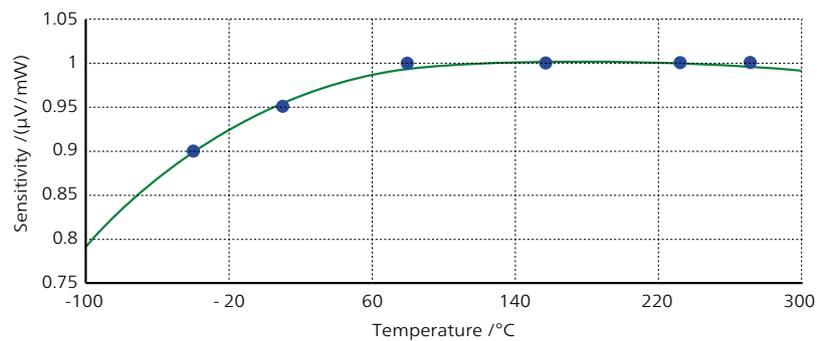
Dieselben Daten wurden zur Berechnung der Zellenleistung während des Ladens und Entladens herangezogen



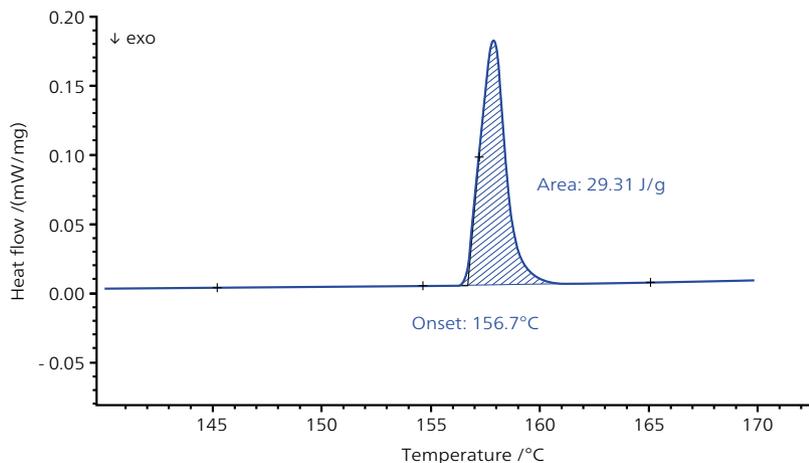
## Kalibrierung des Knopfzellenmoduls

### Temperatur- und Enthalpiekalibrierung über den gesamten Temperaturbereich

Zur Kalibrierung des Knopfzellenmoduls bietet NETZSCH ein Kalibriereset mit Referenzmaterialien an. Der untere Plot zeigt eine Messung an Indium. Peakfläche und Onsettemperatur stimmen gut mit den Literaturdaten überein. Die Enthalpie- und Temperaturkalibrierung wird durch Auswertung aller Messdateien für die Referenzmaterialien realisiert – die Software erstellt ein Kalibrierpolynom.



Kalibrierpolynom für die Enthalpie



Schmelzverhalten von Indium zwischen 140 °C und 170 °C



# Expertise in Service

## Unsere Kompetenz – Service

Der Name NETZSCH steht weltweit für umfassende Betreuung und kompetenten, zuverlässigen Service – vor und nach dem Gerätekauf. Unsere qualifizierten Mitarbeiter aus den Bereichen Applikation, Technischer Service und Beratung freuen sich darauf, Ihre Fragen im direkten Gespräch persönlich zu beantworten. In speziellen, auf Sie und Ihre Mitarbeiter zugeschnittenen Trainingsprogrammen lernen Sie, die Möglichkeiten Ihres Gerätes auszuschöpfen.

Zur Erhaltung Ihrer Investition begleitet Sie unser sachverständiges Serviceteam während des gesamten Lebenszyklus' Ihres Analysengerätes.

## Unsere Kompetenz – Applikationslabore

Die Applikationslabore von NETZSCH Analysieren & Prüfen sind ein kompetenter Partner bei annähernd allen Fragestellungen in der thermischen Analyse. Das beinhaltet sorgfältigste Probenvorbereitung sowie die Prüfung und Interpretation Ihrer Messergebnisse. Unsere Messmethoden entsprechen dem neuesten Stand der Technik.

Zu den Kunden unserer Labordienstleistungen gehören eine Vielzahl von Großunternehmen aus den Bereichen Chemie, Automobil, Elektronik, Luft- und Raumfahrt, Rennsport sowie Polymer und Keramik.

## Übersicht unserer Dienstleistungen

- Aufstellung und Inbetriebnahme
- Hotline-Service
- Präventivwartung
- Vor-Ort-Reparaturen mit Notfall-Service für NETZSCH-Komponenten
- Umzugs-/Austausch-Service
- Technischer Informationsservice
- Ersatzteil-Service

## Auftragsmessungen

Im Rahmen der thermischen Analyse und der Messung thermophysikalischer Eigenschaften bieten wir Ihnen ein umfassendes Programm von verschiedensten Analyseverfahren zur Charakterisierung von Werkstoffen (Festkörper, Pulver und Flüssigkeiten). Messungen sind an unterschiedlichsten Geometrien und Konfigurationen möglich.

Dabei können Sie mit Experten der Applikationslabor die am besten geeignete Messmethode für Ihre konkreten Fragestellungen wählen.

Sie arbeiten nur mit Wissenschaftlern (Physiker, Chemiker, Materialwissenschaftler) zusammen, die ein fundiertes Wissen über die verschiedenen Messmethoden und Werkstoffspektren mitbringen.

Die inhabergeführte NETZSCH Gruppe ist ein weltweit führendes Technologieunternehmen, das sich auf den Maschinen-, Anlagen- und Gerätebau spezialisiert hat.

Unter der Führung der Erich NETZSCH B.V. & Co. Holding KG besteht das Unternehmen aus den drei Geschäftsbereichen Analysieren & Prüfen, Mahlen & Dispergieren sowie Pumpen & Systeme, die branchen- und produktorientiert ausgerichtet sind. Mit über 4.600 Mitarbeitern in über 200 globalen Produktions-, Vertriebs- und Servicegesellschaften bietet die NETZSCH Gruppe seit über 150 Jahren ihren Kunden Nähe und kompetenten Service.

NETZSCH Technologie ist weltweit führend im Bereich der Thermischen Charakterisierung von annähernd allen Werkstoffen. Wir bieten Komplettlösungen für die Thermische Analyse, die Kalorimetrie (adiabatische und Reaktionskalorimetrie), die Bestimmung thermophysikalischer Eigenschaften, die Rheologie und die Brandprüfung. Basierend auf mehr als 60 Jahren Applikationserfahrung, einer breiten Produktpalette auf dem neuesten Stand der Technik und umfassenden Serviceleistungen erarbeiten wir für Sie Lösungen und Gerätekonfigurationen, die Ihren täglichen Anforderungen mehr als gerecht werden.

# Proven Excellence. ■

NETZSCH-Gerätebau GmbH  
Wittelsbacherstraße 42  
95100 Selb, Deutschland  
Tel.: +49 9287 881-0  
Fax: +49 9287 881-505  
at@netzsch.com  
www.analyzing-testing.netzsch.com



**NETZSCH®**

[www.netzsch.com](http://www.netzsch.com)