

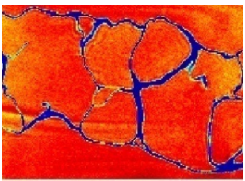

Magnetresonanzverfahren zur Prozess- und Produktanalyse

Am NMR-Gerätezentrum Pro²NMR am KIT steht ein universell einsetzbarer Bruker Avance III HD 200 MHz NMR-Gerät mit Imaging-Ausstattung zur Verfügung, mit dem Produkte und Prozesse aus verschiedenen verfahrenstechnischen Bereichen anhand unterschiedlicher NMR-Methoden charakterisiert werden können.

Bildgebende NMR-Verfahren, d. h. MRI, bieten die Möglichkeit zur nichtinvasiven und zerstörungsfreien Untersuchung innerer Strukturen auch von optisch opaken Medien. Die Methode erlaubt einen direkten Einblick in Produkte bzw. Prozesse und deren Eigenschaften. Neben der klassischen bildgebenden MRI zur Erfassung von Strukturen können mit speziellen Pulssequenzen Strömungen orts aufgelöst gemessen werden. Dies eröffnet vielfältige Möglichkeiten in der Grundlagenforschung sowie in angewandten Untersuchungen der Strömungsmechanik. Neben den makroskopischen korrelierten Bewegungen können auch molekulare Transportvorgänge und Diffusion studiert und quantifiziert werden.

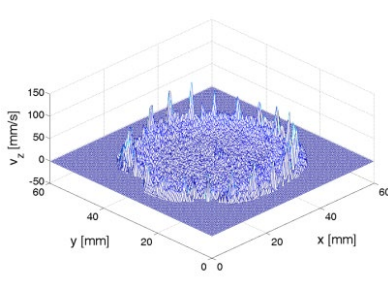


„Magnetic Resonance Imaging“ (MRI)

| | Technische Möglichkeiten | Exemplarische Anwendungsmöglichkeiten |
|--|---|--|
|   | <ul style="list-style-type: none"> • x-,y-,z- Gradienten (jeweils bis 1,5 T/m) • Ortsauflösung (bis minimal 20 µm) • Max. Probendurchmesser 60 mm • Temperaturen unter 50°C | <ul style="list-style-type: none"> • Trocknungsvorgänge bei Lebensmitteln • Abbildung von Strukturen, beispielsweise von Biofilmen und Schäumen • 3D-Abbildung von makroskopischen Poren zur Bestimmung von Porositäten und anderen Strukturparametern • Ablagerungen bei Filtrationsvorgängen • Wasserrückhalten in Biofilmstrukturen • Strömungsfelder in diskreten Geometrien |

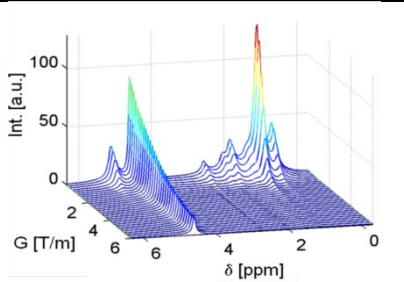
Mit Hilfe von Feldgradienten und selektiven Hochfrequenzpulsen wird die örtliche Auflösung realisiert, die die Grundlage des MR-Imaging bildet. Über diese orts aufgelöste Messung der NMR-Amplitude können inhärente Strukturen von auch opaken Objekten abgebildet werden. Zusätzlich können über eine Wichtung mit Relaxations- oder Diffusionseigenschaften Kontraste in Multiphasensystemen generiert werden, die beispielsweise bei der Trocknung oder bei der Filtration einen detaillierten Einblick in die mikroskopischen Prozesse bieten. Dabei werden beim MRI oft 2D Images gemessen, wobei auch eine 3D Ortsauflösung möglich ist. Am Gerätezentrum stehen zudem Bildbearbeitungstools zur Verfügung, mit denen die Bilder bis hin zur Quantifizierung bearbeitet werden können.

Flussbildgebung (Flow-MRI) zur Prozesscharakterisierung

|  | Techn. Möglichkeiten | Exemplarische Anwendungsmöglichkeiten |
|---|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Ortsaufgelöste Time-of-Flight (TOF) Methode • Flussbildgebung über Gradientenecho und Spinecho-Verfahren • Technische Parameter siehe MRI | <ul style="list-style-type: none"> • Strömungsverhalten in technischen Apparaten • Untersuchung von Filtrationsprozessen • Abwasserreinigungsprozessen mit lebenden Biokulturen |

Strömungsmessung mittels NMR können Informationen über Time-of-Flight Experimente (TOF) realisiert werden, was selbst in kleinstrukturierten Objekten möglich ist. Aber auch eine direkte Abbildung der Strömung ist mit flusskodierenden Pulssequenzen möglich. Über Phasenänderung des NMR-Signals können dann Ortsänderungen von Spin-Ensembles und somit Geschwindigkeitsfelder (v_x, v_y, v_z) auch 3D ortsaufgelöst bestimmt werden. Mikroströmungen durch poröse Medien wie bspw. bei Filtrationsprozessen können ebenso wie makroskopische Strömungen, z. B. innerhalb von Rohrreaktoren und in Biofilmstrukturen, abgebildet werden.

Spektral aufgelöste Diffusometrie und Relaxometrie

|  | Techn. Möglichkeiten | Anwendungsmöglichkeiten |
|--|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Feldgradienten bis ca. 17 T/m bei max. Proben-durchmesser von 10 mm • ^1H- und ^7Li-NMR Inserts für den Diff30 Probenkopf | <ul style="list-style-type: none"> • Charakterisierung von (Doppel-) Emulsionen • Relaxationsuntersuchung an Polymeren und Kontrastagentien • Cryoporometrie • Ionendiffusion |

Relaxationseigenschaften können spektral aufgelöst gemessen werden und geben so Aufschluss über mikroskopische Strukturierungen. Über die gepulste Feldgradienten-NMR (PFG-NMR) werden Diffusionseigenschaften auch in komplexen Strukturen bestimmt, die über das Phänomen der geometrisch eingeschränkten Diffusion zugänglich und quantifiziert werden. Beispielsweise können Tropfengrößenverteilungen und Dispersphasenanteile in Emulsionen über diese Methoden zerstörungsfrei und nichtinvasiv ermittelt werden. Molekulare Austauschphänomene werden mittels PFG-NMR und paramagnetischer Relaxometrie direkt im thermodynamischen Gleichgewicht beobachtbar. Im Kontext der Relaxationsdispersion vor allem von paramagnetischen Relaxationsagentien wird das Gerät mit seiner ^1H -Larmorfrequenz von 200 MHz ebenfalls eingesetzt.