

## 6.4 EU-Projekt MICADO



Dr. Guido Bracke

→ Zahlreiche europäische Staaten beabsichtigen, hochradioaktive abgebrannte Brennelemente direkt in Endlagern zu entsorgen. Diese direkte Endlagerung bedeutet, dass die Brennelemente nach einer Abklinglagerung ohne weitere Bearbeitung in speziellen Behältern in das Endlager verbracht werden. Bei der sicherheitstechnischen Bewertung dieser Form der Endlagerung ist zu berücksichtigen, dass es theoretisch nach einem Ausfall der Behälter zu einem Kontakt der Brennelemente mit Wasser kommen könnte, das sich im Wirtsgestein des Endlagers befindet. In einem solchen Fall bestünde die Möglichkeit, dass sich die radioaktiven Stoffe in dem Wasser lösen und die so entstandene Lösung langfristig das Grundwasser in oberen Erdschichten erreicht. Deshalb werden international seit mehreren Jahrzehnten Methoden und theoretische Modelle zur Beschreibung der möglichen Auflösungsprozesse der Brennelemente entwickelt. Die Grundlage für diese Entwicklungen bilden Daten, die in Experimenten gewonnen wurden. In dem von der EU finanzierten Projekt MICADO (Model uncertainty for the mechanism of dissolution of spent fuel in a nuclear waste repository) wird in internationaler Zusammenarbeit untersucht, ob hinreichend zuverlässige Modelle zur Beurteilung der Korrosionsbeständigkeit von abgebrannten Brennelementen für die Sicherheitsanalyse bereit stehen. Die GRS ist seit 2006 zusammen mit Partnern aus Frankreich (IRSN) und Belgien (Bel V) an den Forschungsarbeiten von MICADO beteiligt.

### Projekt MICADO

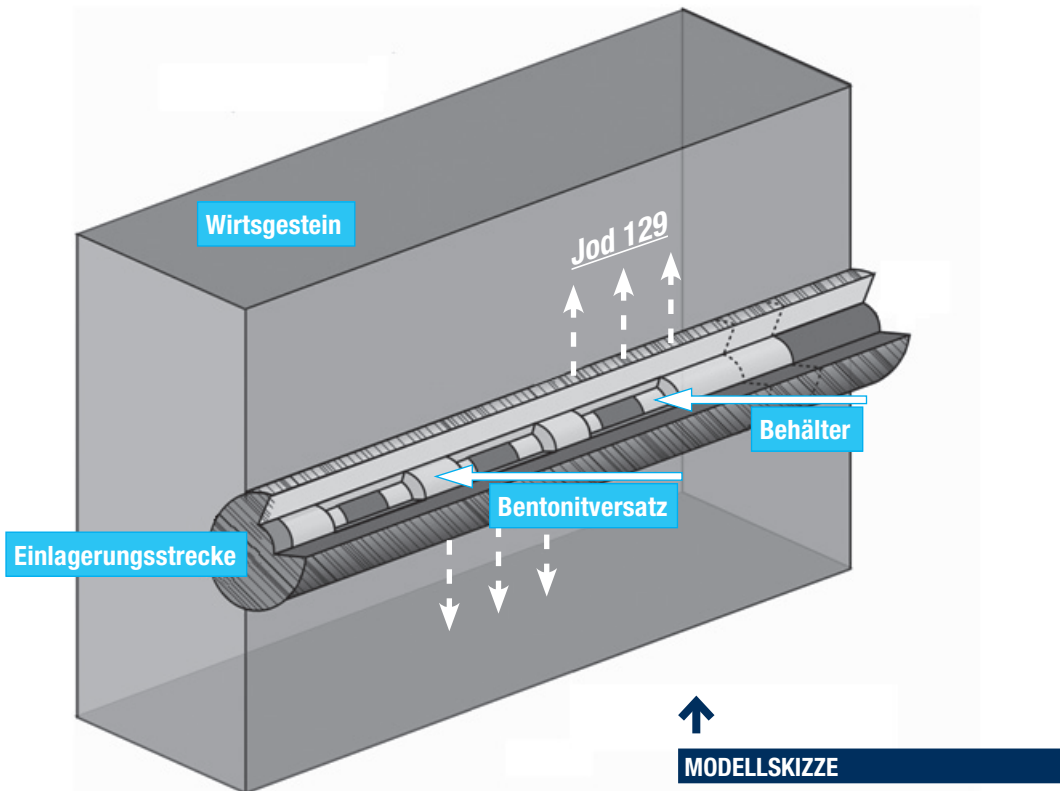
**Beteiligte Kooperationspartner.** An MICADO sind über 20 Organisationen aus sieben Ländern beteiligt. Im Rahmen von MICADO werten Experten aus den Gebieten Elektrochemie, Geochemie und Radiochemie die verschiedenen Ansätze zur Vorhersage von langfristigen Prozessen an abgebrannten Brennelementen und Behältern hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit für die Erstellung von Sicherheitsanalysen für Endlager aus. Der Vergleich der Ansätze ist sowohl aus Sicht von Betreibern als auch von Behörden von besonderem Interesse.

**Aufgaben und Ziele.** Die Schlüsselaufgabe ist dabei die Einschätzung der Unsicherheiten in der experimentellen Datenbasis und in den zugrundegelegten Modellen. Eine Extrapolation von empirischen Daten, die innerhalb weniger Jahre gemessen worden sind, auf Zeiträume von Hunderttausenden von Jahren stellt eine Herausforderung dar. Auch die mechanistischen Modelle, die die experimentellen Beobachtungen auf lange Zeiträume übertragen, weisen Unsicherheiten auf. MICADO zielt daher vorrangig darauf ab, durch einen Vergleich der verschiedenen Ansätze und zugrundeliegenden Annahmen die Qualität der experimentellen Daten und Ansätze zu bewerten. In diesem Zusammenhang werden zwei Formen von Unsicherheiten betrachtet: Unsicherheiten, die aus experimentellen Daten resultieren und Unsicherheiten, die aus den unterschiedlichen Vorhersagen der Modelle resultieren. Die beteiligten Institutionen führen hierfür detaillierte Untersuchungen an Brennstoffen und Modellierungen durch, um einerseits die experimentelle Datenbasis zu verbessern und andererseits die Unsicherheiten in der Modellierung zu verringern. Darüber hinaus dient das Projekt MICADO den beteiligten Organisationen dazu, ihre Erkenntnisse über die bestehenden Ansätze und Methoden in der Analyse des langfristigen Korrosionsverhaltens von Behältern

und Brennelementen auszutauschen. Schließlich soll MICADO auch dazu beitragen, die Fragestellungen für künftige Forschungen zu identifizieren, durch deren Beantwortung bestehende Unsicherheiten weiter verringert werden können.

### Beiträge der GRS und ihrer Partner

**Untersuchungen zur Freisetzung des Radionuklids Jod-129.** In Kooperation mit ihren Partnern Bel V (Belgien) und IRSN (Frankreich) untersucht die GRS die Unsicherheiten bei der modelltechnischen Freisetzung des Radionuklids Jod-129 auf der Grundlage des französischen Endlagerkonzepts. Das Konzept sieht Einlagerungsbehälter mit den abgebrannten Brennelementen in Streckenlagerung vor, die mit Bentonit gegen einen Grundwasserzutritt abgedichtet werden (s. **Bild 70 »MODELLSKIZZE«**).



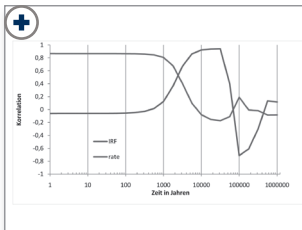
**Bild 70**  
Schematische Darstellung einer Einlagerungsstrecke mit Freisetzung (Pfeile) des Jod-129 aus den Behältern in das umgebende Wirtsgestein

### Programme MELODIE und SUSANA

Die Modellierung der Radionuklidfreisetzung und des -transports des französischen Konzepts erfolgt mit dem Programm MELODIE der IRSN. Die GRS bringt dabei ihre Expertise mit dem GRS-eigenen Probabilistik-Tool SUSANA zur Analyse von Unsicherheiten der Modellierung ein.

**MELODIE.** Die vereinfachte Modellierung der Freisetzung des Radionuklids Jod-129 mit dem Programm MELODIE berücksichtigt als Eingangsparameter das Inventar, einen sogenannten »instantan freigesetzter Anteil« (IRF) sowie eine langfristige Auflösungsrate des Brennelementes und deren Unsicherheiten.

**SUSANA.** Das Programmpaket SUSANA untersucht den wechselseitigen Einfluss von Parameterunsicherheiten auf die Ergebnisunsicherheit einer Modellierung. Mit der zugehörigen Sensitivitätsanalyse können die unsicheren Parameter nach ihrem Einfluss auf das Modellierungsergebnis gewichtet werden.



### MODELLIERUNGSERGEBNIS

**Bild 71**

Korrelation der Freisetzung von Jod-129 aus dem Wirtsgestein mit dem instantan freigesetzten Anteil (IRF) bzw. der Auflösungsrate

**Methodik.** Den Parametern werden Verteilungsfunktionen für die zu erwartenden Unsicherheiten zugewiesen. Das GRS-Programmpaket SUSA ermittelt probabilistische Eingangswerte für die Modellierung. Die damit korrelierten Modellierungsergebnisse des Programms MELODIE für die freigesetzte Aktivität von Jod-129 in Becquerel (Bq) werden mit SUSA ausgewertet. Damit kann der Zusammenhang zwischen der Unsicherheit der Modellierungsergebnisse und der Unsicherheit der Eingangsparameter ermittelt werden (s. **Bild 71** »MODELLIERUNGSERGEBNIS«).

## Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen belegen, dass die Aktivitätsfreisetzung von Jod-129 in das Wirtsgestein in den ersten tausend Jahren in hoher Korrelation (nahe 1) von dem instantan freigesetzten Anteil (IRF) bestimmt wird. Die Auflösungsrate (rate) ist in diesem Zeitraum unbedeutend. Ab ca. 2.000 Jahren ist die Auflösungsrate des Brennelements für die Aktivitätsfreisetzung bestimmend. Zu einem späteren Zeitpunkt ab ca. 30.000 Jahren werden beide Einflüsse für das Ergebnis der Modellierung unbedeutend.

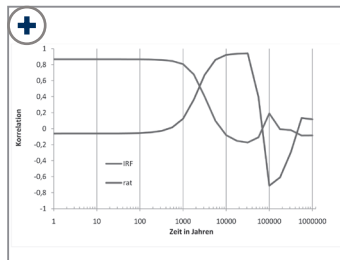
**Bewertung der Ergebnisse und Forschungsausblick.** Die probabilistische Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse mit SUSA wurde auf eine Modellierung von Radionuklidfreisetzung und -transport mit MELODIE mit drei Parametern angewendet. Die tatsächliche Komplexität der Untersuchung ist stark von den Modelleigenschaften abhängig und erhöht sich insbesondere mit der Anzahl der in die Untersuchung einbezogenen, unsicheren Parameter drastisch. Aus Sicht der GRS konnte im Rahmen von MICADO bereits mit vereinfachten Annahmen erfolgreich dargelegt werden, dass die verwendeten Modellrechnungen einer probabilistischen Analyse zugänglich sind.

Eine vertiefte Anwendung der Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse unter Berücksichtigung weiterer Parameter könnte einerseits unerwartete Abhängigkeiten und andererseits die Relevanz von Parametern für Modellierungsergebnisse aufzeigen. Aus regulatorischer Sicht werden damit genehmigungsrelevante Unsicherheiten und Zusammenhänge im Hinblick auf eine Freisetzung von Radionukliden für die Sicherheitsanalyse erkennbar. ■

**MODELLIERUNGSERGEBNIS**

**Bild 71**

Korrelation der Freisetzung von Jod-129 aus dem Wirtsgestein mit dem instantan freigesetzten Anteil (IRF) bzw. der Auflösungsrate



**Bild 71** Originalabbildung

