

## Motivation

Im Rahmen der numerischen Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern für radioaktive Abfälle stellt die probabilistische, d. h. auf wiederholter Modellausführung mit zufällig variierten Parameterwerten beruhende Sensitivitätsanalyse ein wesentliches Element des umfassenden Sicherheitsnachweises (Safety Case) dar. Dadurch können Parameterungewissheiten erfasst und bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Modellergebnisse quantifiziert werden. Dies trägt zur Vertiefung des Systemverständnisses und damit zur Vertrauensbildung bei.

Einhergehend mit der Leistungssteigerung elektronischer Rechenanlagen steht die probabilistische Sensitivitätsanalyse seit einigen Jahrzehnten im Fokus der mathematischen Forschung. Neue methodische Ansätze und Konzepte stehen zur Verfügung, ihre Eignung für die Anwendung auf typische Endlagermodelle ist jedoch nicht von vornherein klar. Solche Modelle verhalten sich häufig stark nichtlinear und weisen eine unsymmetrische Verteilung der Ausgabewerte auf. Im Projekt MOSEL sollten deshalb einige ausgewählte Methoden anhand realitätsnaher Endlagermodelle ausführlich getestet, verglichen und gegebenenfalls geeignet angepasst werden. Dadurch wird eine Grundlage zur Weiterentwicklung des Instrumentariums zur Bewertung der Langzeitsicherheit bereitgestellt.

## Kontakt

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH (GRS), Bereich Endlagersicherheitsforschung, Braunschweig; Dr. Dirk-Alexander Becker

## Abschlussbericht

[www.ptka.kit.edu/downloads/ptka-wte-e/Abschlussberichte-E-Vorhaben.htm](http://www.ptka.kit.edu/downloads/ptka-wte-e/Abschlussberichte-E-Vorhaben.htm)



Betreut vom



**PTKA**  
**Projektträger Karlsruhe**  
Karlsruher Institut für Technologie

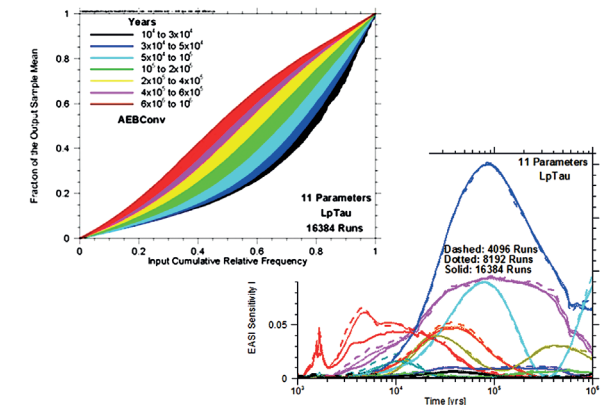
Die Forschungsarbeiten wurden in dem Vorhaben mit dem Förderkennzeichen 02E10941 im Zeitraum 2011-2016 durchgeführt.

Verantwortlich für den Inhalt, Bilder und Bildrechte sind die Autoren bzw. die ausführenden Forschungsstellen. PTKA übernimmt keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter.  
PTKA, 02/2018

# Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle

## Projekt MOSEL

**Erprobung und Weiterentwicklung moderner Methoden der Sensitivitätsanalyse im Hinblick auf den Sicherheitsnachweis für ein künftiges Endlager**



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Durchgeführt von:



# Projekt MOSEL

Im Hinblick auf die spezielle Zielsetzung des Projekts wurden drei Testmodelle mit typischen Eigenschaften definiert:

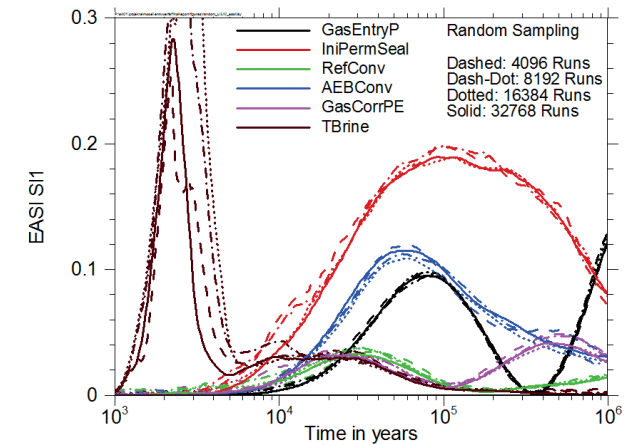
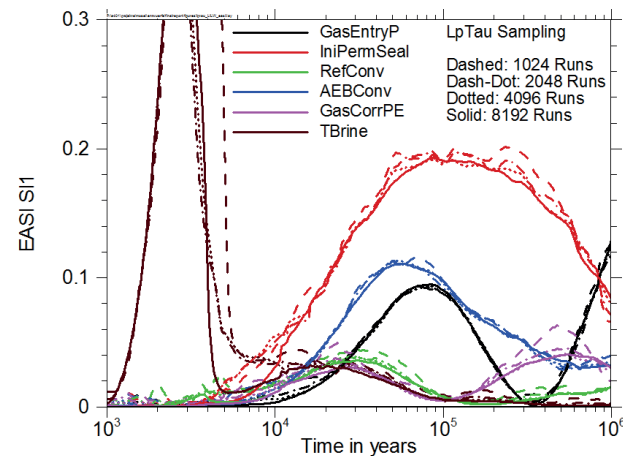
- Ein Endlager für hochradioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente in einer Tonformation (Ton-Modell)
- Ein Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle (LILW) in einem ehemaligen Gewinnungsbergwerk in einer Salzformation
- Ein Endlager für hochradioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente in einer Salzformation

Auf diese Modelle wurden verschiedene graphische und rechnerische Methoden der probabilistischen Sensitivitätsanalyse angewandt, wobei verschiedene Verfahren zur Ziehung der Parameterwerte zum Einsatz kamen. Auch der Stichprobenumfang, also die Zahl der pro Untersuchung durchgeführten Einzelrechnungen, wurde variiert. Während das vordergründige Ziel einer Sensitivitätsanalyse darin besteht, die Einflüsse der Ungewissheiten einzelner Parameter auf die Simulationsergebnisse zu quantifizieren und zu vergleichen, kann die Anwendung verschiedener Methoden Details des Modellverhaltens, ggf. auch Schwächen oder Fehler des Rechenmodells offenlegen und somit zum Systemverständnis und allgemein zur Vertrauensbildung beitragen.

# Ergebnisse

Mithilfe spezieller graphischer Darstellungen der Ergebnisse einer probabilistischen Analyse, z. B. sogenannter CSM-Plots, können die Sensitivitäten zu einzelnen Zeitpunkten oder für die Maximaldosis schnell visuell bewertet und grob eingeordnet werden. Quantitative Verfahren der Sensitivitätsanalyse errechnen Maßzahlen für die Sensitivität der Parameter. Neben klassischen Methoden (u. a. SRRC, SPEA) wurden verschiedene neuere, mathematisch aufwändigere Verfahren (Sobol, EFAST, RBD, EASI) getestet. Mit Stichproben auf der Basis von sogenannten Quasi-Zufallszahlen, die auf eine möglichst homogene Abdeckung des Zahlenraums abzielen, wurden durchweg robustere Ergebnisse erzielt als mit Zufallsstichproben.

Zeitverläufe der berechneten Sensitivitätsmaße für das Ton-Modell:



## Was folgt daraus?

Probabilistische Sensitivitätsanalysen auf der Basis klassischer regressions- oder korrelationsbasierter Verfahren, können selbst bei stark nichtlinearen Modellen und bei einem linearen Bestimmtheitsmaß  $R^2$  im Bereich von 0,1 noch sinnvolle Ergebnisse liefern und die wichtigsten Sensitivitäten korrekt identifizieren. Durch weitergehende Untersuchungen können jedoch unter Umständen verborgene Sensitivitäten erkannt oder spezielle Verhaltensweisen des Modells besser verstanden werden.

Weiterer Forschungsbedarf besteht u. A. hinsichtlich der Bestimmung und Interpretation von Sensitivitätsindizes höherer Ordnung, womit nach der Theorie gekoppelte Parametereinflüsse zu erfassen sind.