

# Vertikalprojekt 7: Oberflächenlagerung

## ENTRIA - Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen

Reichardt, M.; Köhnke, D.; Budelmann, H.

### Abstract

The German research project ENTRIA has been started in the beginning of 2013. It is engaged in finding options for the disposal of high-level (heat generating) radioactive waste from an interdisciplinary point of view. ENTRIA consists of eleven institutes at German universities and research facilities as well as one Suisse partner. As a part of the ENTRIA-project the Institute of Building Materials, Concrete Construction and Fire Protection in particular is working at the technical aspects of long-term storage of high-level radioactive waste over a period of at least 100 years.

### 1. Einführung und Motivation

Das Forschungsprojekt ENTRIA startete mit Beginn des Jahres 2013 und befasst sich mit Optionen zur Entsorgung hoch radioaktiver, Wärme entwickelnder Reststoffe. Die Ingenieur-, Natur-, Geistes-, Rechts- und Sozialwissenschaftler der beteiligten elf Institute deutscher Universitäten und Großforschungseinrichtungen sowie eines Schweizer Partners erarbeiten in einem breiten interdisziplinären Ansatz Bewertungsgrundlagen für die in der Vergangenheit und Gegenwart stark konfliktbehafteten Fragen zur Entsorgung hoch radioaktiver, Wärme entwickelnder Reststoffe.

Am iBMB wird in diesem Kontext das Vertikalprojekt 7 „Oberflächenlagerung“ bearbeitet, das sich mit den bautechnischen Aspekten einer längerfristigen Zwischenlagerung über 100 Jahre und mehr auseinandersetzt.

### 2. Technische Anforderungen

Obwohl nur wenige Länder eine dezidiert langfristige Zwischenlagerung von mindestens 100 Jahren anstreben, ist es möglich aus einer Realanalyse bestehender Anlagen sinnvolle Ableitungen für solch lange Betriebszeiträume zu generieren. Die Zwischenlagerung hoch radioaktiver, Wärme entwickelnder Abfälle geht mit hohen Anforderungen an die technischen Schutzeinrichtungen, bestehend aus Behältern als Primärbarrieren und Bauwerken als Sekundärbarrieren einher. Basierend auf den Empfehlungen der International Atomic Energy Agency

(IAEA) sind zahlreiche regions- und länderspezifische Regelwerke entstanden, die zur Identifikation von Schutzziele sowie „guter Praktiken“ herangezogen werden können. So wurden grundlegende bautechnische Anforderungen beispielsweise aus den

- *Safety Standards* der IAEA (z. B. /1/),
- Dokumenten der WENRA (z. B. /2/),
- nationalen Regelwerken, wie z. B. den Stellungnahmen der ESK (z. B. /3/)

recherchiert und gegenübergestellt. Hierbei wurden fünf fundamentale Schutzziele identifiziert, um die Menschen und die Umwelt vor den schädigenden Einflüssen ionisierender Strahlung zu schützen: Einschluss der radioaktiven Materialien, Wärmeabfuhr, Unterkritikalität, Vermeidung unnötiger Strahlenexposition, Handhabbarkeit der Abfälle.



**Bild 1: Niederländische Anlage HABOG zur längerfristigen Zwischenlagerung von hochradioaktiven Abfällen in Vlissingen**

Zur Identifizierung weiterer Anforderungen und deren Umsetzung wurden Informationen aus weiteren Veröffentlichungen verschiedenster Akteure im In- und Ausland zusammengetragen. Vergleichsweise weitreichende, detaillierte Empfehlungen zur technischen Ausgestaltung der Zwischenlagersysteme und insbesondere der dauerhaften Konstruktion der baulichen Anlagen sind in den Regelwerken aus Frankreich, dem Vereinigten Königreich und der Schweiz zu finden. Außerdem wurden unterschiedliche Behältersysteme analysiert.

Ergänzt wurden die vorgenannten Recherchen um Besichtigungen einiger Anlagen und um Fachgespräche mit den Betreibern. Bild 1 zeigt mit dem niederländischen Zwischenlager HABOG ein Beispiel.

### 3. Sicherheits- und Life-Cycle-Konzept

Im Rahmen der durchgeführten Recherchen konnten nur wenige wissenschaftliche Arbeiten identifiziert werden, die sich der Zustandsprognose von Betonbauteilen unter Berücksichtigung der speziellen Randbedingungen in Zwischenlagern widmen. Durch den Wärmeeintrag aus der Nachzerfallswärme der Reststoffe liegen jedoch Randbedingungen vor, die zur Erhöhung der Transportkoeffizienten und in der Regel zur Beschleunigung chemischer Reaktionen führen. Das zur Abfuhr der Nachzerfallswärme vorherrschende Lüftungssystem („Naturzug“) in Zwischenlagern führt zudem zu einer Art Außenklima in den Anlagen. Für ein dauerhaftes Bauwerk ist nicht nur die sichere Abfuhr der Nachzerfallswärme in einem vollbeladenen Lager nachzuweisen. Es sind auch Zustände zu identifizieren, die beispielsweise bei einem teilbeladenen Lager zum Ausfall von Kondenswasser führen und somit ebenfalls dauerhaftigkeitsmindernd wirken können.

Im Sinne der Entwicklung eines Monitoring- und Life-Cycle-Konzepts lässt sich aus den vorgenannten Betrachtungen ableiten, an welchen Stellen im Rahmen von Überwachungsmaßnahmen welche Parameter erhoben werden müssen, um den Bauwerkszustand realistisch einschätzen zu können. Kritische Stellen wären hier beispielsweise Betonbauteile, die durch die Nachzerfallswärme nennenswert erwärmt werden. Diese müssten insbesondere hinsichtlich der Veränderung der mechanischen Eigenschaften und der Eindringtiefe korrosiver Medien im Anlagenbetrieb überwacht werden. Neben der Datenauswertung von installierten Sensoren bzw. regelmäßigen Sichtprüfungen könnten weitergehende Untersuchungen mittels zerstörungsfreier, -armer oder zerstörender Prüfmethode ergänzt werden. Hierfür wurden Informationen aus einer Vielzahl an Veröffentlichungen zur Bauwerksüberwachung im Allgemeinen (Mess- und Monitoringtechnik, Hochbau, Brücken etc.), aber auch aus der Literatur zur bautechnischen Überwachung von Kernkraftwerken im Besonderen, wie z. B. dem IAEA-TECDOC-1025 /4/, zusammengetragen.

Die vorgenannten Dauerhaftigkeitsuntersuchungen dienen der Informationsbereitstellung über die Zuverlässigkeit des Gebäudes im Betriebszustand. Ein weiterer für die Auslegung von Zwischenlagerbauwerken essentieller Aspekt ist die realitätsnahe Berücksichtigung außergewöhnlicher Belastungszustände. Für numerische Berechnungen zur Abschätzung der Auswirkungen von z. B. auslegungüberschreitenden Ereignissen wie einer

Druckwelle oder einem Flugzeugabsturz sind die Materialkennwerte wesentliche Eingangsparameter. Für solche stets hochgradig nichtlinearen, expliziten FEM-Berechnungen stehen Materialmodelle zur Verfügung, die die Berücksichtigung des Materialverhaltens von Beton unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten (dehnratenabhängige Festigkeitssteigerung) und Drücken (Zustandsgleichung für das Kompressionsverhalten) ermöglichen. Herausforderungen bestehen in diesem Kontext jedoch vor allem in der Validierung der Berechnungen und in der Quantifizierung sowie Implementierung von Alterungseffekten. Diese müssen angesichts langer Nutzungsdauern von deutlich über 50 Jahren berücksichtigt werden.

### 4. Ausblick

Das Forschungsprojekt ENTRIA wird bis Ende 2017 bearbeitet. Die vorgenannten bisher erfolgten Untersuchungen im Vertikalprojekt 7 werden insbesondere im Hinblick auf dauerhaftigkeitsrelevante Schädigungsmechanismen unter den in längerfristig betriebenen Oberflächenlagern vorherrschenden Randbedingungen sowie deren Widerstand gegenüber dynamischen Beanspruchungen vertieft fortgeführt.

Darüber hinaus sind in den vergangenen Jahren aus dem ENTRIA-Projekt mehrere das iBMB betreffende interdisziplinäre Kooperationen entstanden, die parallel zur disziplinären Arbeit weiterbearbeitet werden.

### 5. Literatur

- /1/ International Atomic Energy Agency: IAEA Safety Standards Series No. SSG-15. Storage of Spent Nuclear Fuel. Specific Safety Guide. Wien, 2012.
- /2/ Western European Nuclear Regulators Association: Waste and Spent Fuel Storage Safety Reference Levels. Report of Working Group on Waste and Decommissioning (WGWD). Version 2.2. 2014.
- /3/ Entsorgungskommission: Empfehlung der Entsorgungskommission, revidierte Fassung vom 10.06.2013. Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in Behältern. 2013.
- /4/ International Atomic Energy Agency: IAEA-TECDOC-1025. Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: Concrete containment buildings. Wien, 1998.