

3. Werkstoffe und Korrosionsmedien

3.1. Werkstoffe

Die verwendeten Werkstoffe, die durch endlagerrelevante Laugensysteme einem korrosiven Angriff unterliegen, sind im folgenden aufgeführt und in ihren Zusammensetzungen beschrieben.

3.1.1. Uran

Die verwendeten Urandioxid-Pellets bestanden aus Natururan mit der Isotopenzusammensetzung ^{235}U (0,72 %), ^{238}U (99,27 %) und ^{234}U (0,0006 %). Das durch Sinterung zu Pellets gefertigte Natururan wurde vom Institut für Transurane in Karlsruhe bezogen. Die Pellets hatten eine Stärke von 10 mm und einen Durchmesser von 9,2 mm. Nach dem Einkleben der Pellets in die Elektrodenhalterung (siehe Kapitel 4.2.3.) betrug die Oberfläche, die einem korrosiven Angriff unterlag, 0,67 cm².

3.1.2. Zirkonium

Das eingesetzte Zirkonium (Reaktorzirkonium) hatte eine Reinheit von 99,98 %.

Für die Untersuchungen des Korrosionsverhaltens wurden aus dem Werkstoff Elektroden mit einem Durchmesser von 0,5 cm und einer Dicke 0,5 mm gefertigt. Um Gratbildung und Randverformungen zu vermeiden, wurden diese Elektroden nicht aus dem Blech ausgestanzt, sondern herausgedreht. Nach dem Einbau der Elektroden in die Elektrodenhalterung (siehe Kapitel 4.3.1.2.) betrug die Oberfläche, die einem korrosiven Angriff unterlag, 0,25 cm².

3.1.3. Zircaloy-4

Zircaloy-4 ist eine Zirkonium-Zinn-Legierung mit einem Zinnanteil von 1,52 %. Die Legierung wurde von der Firma Ugine Aciers angefertigt. Ihre genaue Zusammensetzung kann der Tabelle 4 entnommen werden.

Für die Untersuchungen des Korrosionsverhaltens wurden aus dem Werkstoff Elektroden mit einem Durchmesser von 1 cm und einer Dicke 0,5 mm gefertigt. Um Gratbildung und Randverformungen zu vermeiden, wurden auch diese Elektroden aus dem Blech herausgedreht. Nach dem Einbau der Elektroden in die Elektrodenhalterung (siehe Kapitel 4.3.1.2.) betrug die Oberfläche, die einem korrosiven Angriff unterlag, 0,5 cm².

Legierungselemente	Angaben in Gew. %
Zinn	1,52
Eisen	0,23
Chrom	0,11
Sauerstoff	0,12
Fe + Cr + Ni	0,34

Tabelle 4: Zusammensetzung des Zircaloy-4 (Angaben der Firma Ugine Aciers)

3.2. Temperaturbereiche

Der abzudeckende Temperaturbereich ergab sich aus der mittleren Bergtemperatur im Endlager von etwa 40°C. Die Experimente wurden daher bei 25°C, 55°C und 80°C durchgeführt.

3.3. Korrosionsmedien

Für die Korrosionsexperimente wurden als Elektrolytsysteme

- die gesättigte NaCl-Lösung, als einfaches Modellsystem,
- das quinäre System NaCl-KCl-MgCl₂-Na₂SO₄-H₂O im Punkt Q (Q-Lauge) und
- das schwedische granitische Grundwasser (Bentonit Porenwasser) verwendet.

3.3.1. Herstellung und Zusammensetzung der Q-Lauge

Quinäre Salzlösungen im Punkte Q treten immer dann auf, wenn Lösungen auf Kaliflöze einwirken. Die Zusammensetzung der benötigten Q-Lauge kann der Tabelle 5 entnommen werden.

Bestandteile	m in $\frac{\text{mol Salz}}{1000 \text{ mol H}_2\text{O}}$		
	25°C	55°C	80°C
NaCl	8,9	6,8	9,8
KCl	11,6	17,4	21,8
MgCl ₂	67,8	77,3	82,4
MgSO ₄	5,2	3,2	3,0

Tabelle 5: Zusammensetzung der Q-Lauge bei verschiedenen Temperaturen⁶²

Die Angabe in $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ist für die Q-Lauge nicht sinnvoll, da die Herstellungstemperaturen in jedem Fall über den Arbeitstemperaturen liegen und damit die Volumenbestimmung, insbesondere bei den höheren Temperaturen, stark fehlerhaft ist.

Die in der Tabelle 5 gemachten Angaben beziehen sich auf die Menge wasserfreien Salzes. Bei der Verwendung von kristallwasserhaltigem Magnesiumsulfat und Magnesiumchlorid gehen die Massenanteile des Kristallwassers mit in die Berechnung der Gesamtwassermenge ein. Kristallwasserhaltige Magnesiumsalze sollten verwendet werden, da wasserfreies Magnesiumchlorid Salzsäurereste enthalten kann, die zu einer starken Herabsetzung des pH-Wertes führen können.

Für die Q-Lauge bei 25°C, 55°C und 80°C ergeben sich folgende Salzmengen.

Bestandteile	Q-Lauge (25°C)	Q-Lauge (55°C)	Q-Lauge (80°C)
NaCl	28,78 g	22,01 g	31,72 g
KCl	47,87 g	72,81 g	90,02 g
Mg ₂ Cl · 6H ₂ O	762,86 g	870,07 g	927,48 g
MgSO ₄ · 7H ₂ O	71,70 g	43,67 g	40,94 g
H ₂ O	555,05 g	512,28 g	483,18 g

Tabelle 6: Zur Herstellung der Q-Lauge benötigte Salzmengen bei verschiedenen Temperaturen

3.3.2. Herstellung und Zusammensetzung des Bentonit Porenwassers

Bentonit Porenwasser enthält, bei Verwendung des sogenannten Wyoming Bentonits MX-80⁶³, die in Tabelle 7 aufgeführte Ionenzusammensetzung.

Kationen	c (ppm)	Anionen	c (ppm)
Na ⁺	670,0	Cl ⁻	132,0
K ⁺	11,0	NO ₃ ⁻	6,8
Mg ²⁺	6,6	SO ₄ ²⁻	870,0
Ca ²⁺	1,7		

Tabelle 7: Ionenzusammensetzung des Bentonit Porenwassers

Der pH-Wert beträgt 8,8–9,0.

Für die Herstellung des Bentonit Porenwassers wurden folgende Verbindungen zugegeben.

Bestandteile	c $\left(\frac{\text{mmol}}{\text{l}}\right)$
Na ₂ SO ₄	9,06
NaOH	6,13
NaCl	2,98
NaNO ₃	0,11
KCl	0,28
CaCl ₂	0,16
MgCl ₂	0,07

Tabelle 8: Herstellung des Bentonit Porenwassers