



Bundesamt für Strahlenschutz

Deckblatt

GZ: QM - 9A 22000000 / SE 4.2.2

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016

Titel der Unterlage:

PROJEKTPLAN ZUR ÜBERTÄGIGEN STANDORTERKUNDUNG DER SCHACHTANLAGE ASSE II
TEIL II: BESTANDSAUFNAHME UND DEFIZITANALYSE DER GEOLOGISCHEN UND
HYDROGEOLOGISCHEN STANDORTERKUNDUNG DER SCHACHTANLAGE ASSE II

Ersteller:

SE 4.2.2/ [REDACTED]

Stempelfeld:

Freigabe durch bergrechtlich verantwortliche Person:

[REDACTED]

Datum und Unterschrift

Freigabe durch atomrechtlich verantwortliche Person:

[REDACTED]
23.12.16

Datum und Unterschrift

Freigabe PL:

[REDACTED]

Datum und Unterschrift

Freigabe zur Anwendung:

[REDACTED]

Datum und Unterschrift

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung des BfS.



Bundesamt für Strahlenschutz

Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016

Titel der Unterlage:

PROJEKTPLAN ZUR ÜBERTÄGIGEN STANDORTERKUNDUNG DER SCHACHTANLAGE ASSE II
TEIL II: BESTANDSAUFNAHME UND DEFIZITANALYSE DER GEOLOGISCHEN UND
HYDROGEOLOGISCHEN STANDORTERKUNDUNG DER SCHACHTANLAGE ASSE II

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer	Rev. Seite	Kat.*	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
Kategorie S = substantielle Änderung
mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden



Bundesamt für Strahlenschutz

**Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der
geologischen und hydrogeologischen
Standorterkundung
der Schachanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 1 von 40
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00		Stand: 28.11.2016

Projektplan zur übertägigen Standorterkundung der Schachanlage Asse II

Teil II: Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II

SE 4.2.2

Verfasser: XXXXXXXXXX

Ort, Datum: Salzgitter, 28.11.2016



Bundesamt für Strahlenschutz

Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachtanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 2 von 40
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016

KURZFASSUNG

Verfasser: [REDACTED]

Titel: Projektplan zur übertägigen Standorterkundung der Schachtanlage Asse II - Teil II: Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachtanlage Asse II

Stand: 28.11.2016

Es wurden bereits in den letzten Jahrzehnten umfangreiche Untersuchungen im Deckgebirge und im Salinar der Asse durchgeführt. Dennoch sind eine Vielzahl von Fragen bisher nicht ausreichend geklärt worden. Vor allem die Klärung der Herkunft des Lösungszutritts von derzeit ca. 12 m³ pro Tag in das Grubengebäude ist ein zentrales Erkundungsziel der hydrogeologischen und geologischen Standorterkundung. Flächendeckende Informationen über die Verbreitung, Mächtigkeit und das Speichervolumen von Grundwasserleitern sind notwendig, um eine umfangreiche Sicherheitsanalyse bezüglich des Schadstofftransportes im Deckgebirge zu führen.

Es ist daher sinnvoll, die bisher durchgeführten Maßnahmen bezüglich dieser Zielstellung zu bewerten und die sich daraus abzuleitenden Fragestellungen zu beantworten und Defizite durch gezielte Erkundungsmaßnahmen zu beheben.

Der vorliegende Bericht beschäftigt sich mit dem Wissensstand über die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Höhenzug Asse. Erkannte Defizite werden beschrieben und bewertet.

Dieser Bericht ist der zweite Teil eines weiterführenden Projektplans, der die Basis für die ergänzende Standorterkundung darstellt, damit ein möglichst vollständiges Bild über die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse erstellt werden kann. Im ersten Teil wurden die Defizite des hydrogeologischen Messnetzes beschrieben.



Bundesamt für Strahlenschutz

Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachtanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 3 von 40
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG	2
INHALTSVERZEICHNIS	3
TABELLENVERZEICHNIS	4
1 ZIELSETZUNG	5
2 EINLEITUNG	7
3 DEFIZITE.....	9
3.1 AUSGANGSLAGE DER STANDORTERKUNDUNG	9
3.2 GEOLOGISCHE GRUNDLAGEN	11
3.2.1 Geologische Einheiten des Deckgebirges.....	12
3.2.2 Geologische Einheiten des Salinars	13
3.2.3 Geologisches Standardprofil	13
3.2.4 Geologische Oberflächenkarte.....	14
3.2.5 Bohrkerne/Bohrdaten	15
3.2.6 Strukturgeologie und Genesemodell.....	16
3.2.7 Seismizität.....	18
3.3 HYDROGEOLOGIE	20
3.3.1 Hydrogeologische Einheiten	20
3.3.2 Grundwasserhydraulik	22
3.3.3 Hydrochemische Zusammensetzung des Grundwassers	25
3.3.4 Wasserhaushalt	26
3.3.5 Zustand von Messstellen	29
3.4 GEOCHEMIE	32
3.4.1 Lösungen im Grubengebäude.....	32
3.4.2 Feststoffe im Grubengebäude.....	34
3.4.3 Gase im Grubengebäude.....	35
4 AUSBLICK	36
5 LITERATURVERZEICHNIS.....	38

Gesamtseitenzahl: 40

Stichworte: Geologie, Hydrogeologie, Deckgebirge, Geochemie, Zutrittspfad, Standorterkundung




Bundesaamt für Strahlenschutz

Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachtanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 4 von 40
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Verschiedene Nutzungsphasen der Schachtanlage Asse II	10
Tabelle 2: Bemessungserdbeben und ingenieurseismische Kenngrößen im Vergleich	18
Tabelle 3: Detaillierte Schichtfolge und hydrogeologische Charakterisierung des Muschelkalk und Buntsandstein im Bereich des Asse-Höhenzuges (nach GSF, 1994; COLENCO, 2006, AF-CONSULT, 2014).....	21
Tabelle 4: Baujahre der Grundwassermessstellen aus (COLENCO, 2006). Fett gedruckt: Messstellen des aktuellen hydrogeologischen Messnetzes mit neuen Bezeichnungen.	23
Tabelle 5: Komponenten des Wasserhaushalts, die derzeitige Erfassung (Ist-Zustand) und der weitere Bedarf zum Erreichen des Soll-Zustandes zur Beurteilung des Wasserhaushalts.	27
Tabelle 6: Bewertungskriterien zur Funktionalität bzw. Eignung der Grundwassermessstelle	31

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachtanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 5 von 40 Stand: 28.11.2016	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00		

1 ZIELSETZUNG

Die geowissenschaftliche Beschreibung der Ausgangssituation dient der Entwicklung geologischer und hydrogeologischer Modellvorstellungen. Diese werden den weiteren numerischen Modellierungen für Sicherheitsanalysen zugrunde gelegt, u.a. zur numerischen Berechnung der Grundwasserbewegungen im Deckgebirge. Die Kenntnis der geologischen Gegebenheiten dient sowohl als Grundlage für die hydrogeologische Beschreibung als auch für die Interpretation der Strukturgenese und die geologische Langzeitprognose. Die räumliche Herkunft und die Genese der zutretenden Salzlösungen stellen wesentliche sicherheitsrelevante Aspekte dar.

Im Rahmen der Stilllegung der Schachtanlage Asse II nach § 57b Atomgesetz (AtG) müssen daher neben den zeitlich aufeinanderfolgenden Nutzungsphasen auch Szenarien betrachtet werden, die sich zum einen aus der Umsetzbarkeit der Rückholung als auch aus der zukünftigen Entwicklung der Schachtanlage im Offenhaltungsbetrieb ergeben:

- Geologische Risiken während der Betriebsphase inklusive betrieblicher Arbeiten zur Offenhaltung, für die Faktenerhebung und für die Rückholung der radioaktiven Abfälle unter Berücksichtigung verschiedener Szenarien der Umsetzung
- Geologische Risiken während der Stilllegung für verschiedene Szenarien der Umsetzung
- Geologische Risiken in der Nachbetriebsphase für unterschiedliche Ausgangszustände, abhängig von den Veränderungen der Randbedingungen durch und während des Offenhaltungsbetriebes

Die geowissenschaftliche Standortbeschreibung beinhaltet alle im Verlauf der Standorterkundung gesammelten Erkenntnisse über den strukturellen Aufbau des Deckgebirges und des Salzsattels Asse von der Basis des Zechsteins bis hin zu den geomorphologischen Veränderungen im Quartär.

Der vorliegende Bericht ist eine Bestandsaufnahme der bisherigen geowissenschaftlichen Standorterkundung im Bereich der Schachtanlage Asse II und stellt den zweiten Teil des Projektplans dar. Im ersten Teil des Projektplans wurden die Defizite des hydrogeologischen Messnetzes beschrieben. Das Messnetz bildet die Datengrundlage für die hydrogeologische Standorterkundung. Der dritte Teil des Projektplanes fasst die notwendigen Erkundungsmaßnahmen zur Behebung der Defizite der geowissenschaftlichen Standorterkundung in einem Katalog zusammen.

Ziel ist es, systematisch die verfügbaren Erkenntnisse über die geologischen, hydrogeologischen und geochemischen Bedingungen zu bewerten (Defizitanalyse) und hieraus den noch nötigen Handlungsbedarf abzuleiten, welche Daten für eine qualifizierte Standortbeschreibung zur Stilllegung der Schachtanlage Asse II unter Beachtung der o.g. Risiken benötigt werden.

Als grundlegende Themenfelder wurden die geologische, hydrogeologische und geochemische Standortbeschreibung festgelegt:

Geologie:

Die Anordnung der geologischen Formationen im Raum, ihre Entwicklungsgeschichte im Verlauf geologischer Zeiträume und ihre spezifischen Eigenschaften stehen im Vordergrund. Zu erkunden sind tektonische Elemente wie z.B. Störungen und Klüfte, aber auch das lithologische Inventar. Die Bestandsaufnahme und Defizitanalyse soll Hinweise darauf liefern, ob der Kenntnisstand über das geologische Inventar der Asse hinreichend bekannt ist, um die geologische Situation hinsichtlich möglicher Risiken für die Schachtanlage Asse II zu beschreiben.



Bundesamt für Strahlenschutz

**Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der
geologischen und hydrogeologischen
Standorterkundung
der Schachanlage Asse II**


Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 6 von 40
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016

Hydrogeologie:

Während der Betriebsphase und nach der Stilllegung stehen die Grundwasserbewegungen im besonderen Fokus der geologischen Standortbeschreibung. In der Betriebsphase speist das Grundwasser den Deckgebirgszutritt in das Grubengebäude, in der Nachbetriebsphase hingegen kann das Grundwasser einen Transportpfad für Radionuklide und chemotoxische Stoffe vom Grubengebäude über das Deckgebirge in die Biosphäre darstellen. Die Bestandsaufnahme und Defizitanalyse soll Hinweise darauf liefern, ob die hydrogeologischen Bedingungen im Deckgebirge hinreichend bekannt sind, um die hydrogeologische Situation hinsichtlich möglicher Risiken für die Schachanlage Asse II zu beschreiben. Da Grundwasserleiter, -geringleiter und -nichtleiter geologische Strukturen darstellen, ist das Themenfeld Hydrogeologie eng mit dem Themenfeld Geologie verbunden.

Geochemie:

Die geochemische Beschaffenheit der Fest-, Fluid- und Gasphase muss hinreichend bekannt sein, um Wechselwirkungen der fluiden und gasförmigen Phase mit der Gesteinsmatrix zu beschreiben. Die Bestandsaufnahme und Defizitanalyse soll Hinweise darauf liefern, ob Kenntnisse über die geochemischen Verhältnisse insoweit bekannt sind, dass die Auswirkungen von Fluid-Feststoff-Wechselwirkungen, wie sie beispielsweise die Sorption von Radionukliden darstellt, hinreichend beschrieben werden können. Das Themenfeld ist eng mit den Themenfeldern Geologie und Hydrogeologie verknüpft.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachtanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 7 von 40 Stand: 28.11.2016	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00		

2 EINLEITUNG

Es liegt bereits eine Vielzahl von Berichten über das Deckgebirge und das Salinar vor, die seit Beginn der Kaliförderung erstellt wurden. Das umfangreiche Material stellt zum einen einen Vorteil dar, da es bereits vielfach Erkenntnisse über den Aufbau des Deckgebirges und des Salinars liefert. Zum anderen stellt dies jedoch auch einen Nachteil dar, da es aufgrund der langen Zeiträume wechselnde Interpretationen und Schlussfolgerungen gegeben hat, die je nach Kenntnisstand und individueller Beurteilung der jeweiligen Bearbeiter aus heutiger Sicht zu widersprüchlichen Aussagen führen. Einzelne Hypothesen und Interpretationen sind nicht immer nachvollziehbar, da die entsprechende Herleitung nicht ausreichend für spätere Bearbeiter dokumentiert wurde und nur bei Berichten aus jüngerer Vergangenheit eine Befragung der Bearbeiter noch möglich ist.

Auch wurde eine wesentliche Frage, nämlich die Herkunft des heutigen Hauptlösungszutritts, verständlicher Weise nicht vor dessen Erstdokumentation im Jahr 1988 betrachtet.

Des Weiteren ist der Stand von Wissenschaft und Technik zu nennen, der sich insofern verändert hat, als dass neue Methoden und Standards zur Anwendung kommen, welche zurzeit der Erstellung der Unterlagen noch nicht zur Verfügung standen.

Die Defizitanalyse hat daher nicht primär die Aufgabe, die Qualität der verfügbaren Unterlagen generell in Frage zu stellen. Vielmehr handelt es sich um einen fachlichen Sondierungsprozess, bei dem verfügbare Daten und daraus entwickelte Hypothesen auf ihre Konsistenz mit späteren Untersuchungen geprüft werden. Datenlücken sollen erkannt werden und durch Untersuchungen, die nach aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik durchgeführt werden, geschlossen werden.

Die Kapitel in den Themenfeldern Geologie, Hydrogeologie und Geochemie untergliedern sich wie folgt:

- Anforderungen: Welche Anforderungen bzgl. der geowissenschaftlichen Systembeschreibung sind zu erfüllen?
- Ist-Zustand: Wie ist die aktuelle Ausgangslage?
- Quantität/Qualität/Plausibilität: Sind Daten verfügbar und sind die Daten oder die daraus gezogenen Schlussfolgerungen verwendbar?
- Defizit: Erfüllt die aktuelle Sachstandslage die Anforderungen und inwiefern bestehen Abweichungen?

Für die Schachtanlage Asse II werden folgende Erkundungsziele festgelegt, welche die genannten Anforderungen erfüllen sollen:

1. Ein konsistentes Gesamtbild über die geologische Struktur, d.h. das geologische und tektonische Inventar lässt sich durch eine einheitliche Hypothese zur Entstehungsgeschichte des Höhenzugs Asse erklären.
2. Eine bestmögliche Beschreibung der Lage, Größe und Beschaffenheit von Grundwasserreservoirien im Deckgebirge verbunden mit einer Parametrisierung der grundwasserführenden Schichten.
3. Eine plausible Erklärung der Lage und Beschaffenheit des Zutrittspfades von Grundwasser in die Schachtanlage Asse II.




Bundesamt für Strahlenschutz

**Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der
geologischen und hydrogeologischen
Standorterkundung
der Schachanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 8 von 40
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00		Stand: 28.11.2016

Diese Ziele sollen durch eine bedarfsorientierte, ergänzende Standorterkundung erreicht werden. Für die Standorterkundung ist zu beachten, dass es sich keinesfalls um einfache geologische Verhältnisse handelt, wodurch mitunter zu erklären ist, warum trotz der langjährigen Erkundungsphasen kein konsistentes Bild über die geologische Struktur des Höhenzugs Asse entwickelt werden konnte. Die Asse als halo-tektonische Struktur verfügt über ein komplexes tektonisches und geologisches Inventar (Störungen, Klüfte, Anti- und Synklinalen). Durch das Vorhandensein von salinaren, sulfatischen und karbonatischen Lagen spielt Subrosion eine übergeordnete Rolle. Die unterschiedlichen Verwitterungsbeständigkeiten der mesozoischen Schichtabfolgen des Deckgebirges unterstreichen die Rolle der Erosion. Massenbewegungen in der jüngeren geologischen Vergangenheit führten zu einer hohen Komplexität der geologischen Verhältnisse.

Im folgenden Kapitel werden die erkannten Defizite entsprechend der beschriebenen Vorgehensweise aufgelistet und bewertet.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 9 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016	

3 DEFIZITE

3.1 AUSGANGSLAGE DER STANDORTERKUNDUNG

ANFORDERUNGEN: Die Standorterkundung im Höhenzug Asse und Umgebung muss aufgrund der derzeitigen Gegebenheiten verschiedene Szenarien abdecken. Es ist nicht davon auszugehen, dass 100% des radioaktiven bzw. chemotoxischen Inventars aus der Grube entfernt werden können. Bei der Stilllegung der Schachanlage Asse II ist der Anteil und die Verteilung der Restkontamination bei den Ausbreitungsmodellen zu beachten. Sollte die Rückholung nicht möglich sein, sind 100% des derzeitigen Inventars zu berücksichtigen, mit zunehmenden Fortschritt der Rückholung reduziert sich das Inventar entsprechend.

Unabhängig von der Frage des bei der Stilllegung verbleibenden Inventars dient die Standorterkundung der Risikoabschätzung während des Offenhaltungsbetriebs. Das hierbei primär zu betrachtende Risiko ist der auslegungsüberschreitende, d.h. nicht beherrschbare Lösungszutritt (AÜL) in die Schachanlage Asse II. Des Weiteren sind bergbauliche Risiken durch den Offenhaltungsbetrieb zu betrachten. Im Falle eines Verbleibs von radioaktiven Abfällen in der Schachanlage Asse II, dient die Standorterkundung zur Erstellung der Datenbasis für die Konsequenzenanalyse.

Die Anforderungen an ein Endlager für radioaktive Abfälle sind zusammengefasst durch den sicheren Einschluss der Abfälle gegenüber der Biosphäre festgelegt. Da die Sicherheit des Endlagers über eine weit reichende Zeitspanne (1 Millionen Jahre) prognostiziert werden muss, spielen Modellrechnungen für die Ausbreitung der eingelagerten Radionuklide in der Geosphäre bzw. an der Schnittstelle zur Biosphäre eine übergeordnete Rolle. Neben der Beständigkeit geotechnischer Barrieren ist die Beschaffenheit der geologischen Barrieren im Wirtsgestein sowie im sich anschließenden Deckgebirge für die mögliche Ausbreitung von Radionukliden in der Nachbetriebsphase von Bedeutung. Eine bedarfsgerechte Standorterkundung ist so auszurichten, dass hinreichend Daten zur Ermittlung von geologischen Strukturen zur Verfügung stehen.

Die Größe der zu betrachteten Region wiederum ist abhängig von der Reichweite der sich aus der geologischen Struktur ergebenden möglichen Ausbreitungspfade. Da die Ausbreitung von Radionukliden aus einem unterirdischen Endlager auf dem Wasser- und Gaspfad erfolgen kann, sind neben den geologischen auch die hydrogeologischen Randbedingungen zu beachten. Die Schnittmenge beider Randbedingungen ist die Durchlässigkeit der Gesteine des Deckgebirges und des Wirtsgesteins. Da für die Schachanlage Asse II ein hydraulischer Kontakt zwischen Deckgebirge und dem Grubengebäude besteht, wie durch den Hauptlösungszutritt auf der 658-m-Sohle belegt ist, ist eine Ausbreitung von Radionukliden im Deckgebirge in der Nachbetriebsphase zu besorgen.

IST-ZUSTAND: Die Ausrichtung der Nutzung der Schachanlage Asse II hat sich seit Errichtung innerhalb eines Jahrhunderts mehrfach geändert (Tabelle 1). Bei der Schachanlage Asse II handelte es sich bei der Errichtung um ein Gewinnungsbergwerk für Kali- und Steinsalz. Dementsprechend war die Standorterkundung zur Aufsuchung der Ressource ausgelegt. Aus dieser Zeit stammen die Schachtvorbohrungen, die letztendlich zur Errichtung der Schachanlage Asse II führten. In der zweiten Erkundungsphase von 1906-1964 wurden vor allem Untertage durch Auffahrungen und Bohrungen während der Gewinnung Erkenntnisse gesammelt.

In der dritten Nutzungsphase von 1965 -1978 wurden versuchsweise ca. 126.000 Fässer mit schwach- bis mittelradioaktiven Abfällen in den ehemaligen Abbauen des Gewinnungsbergwerks eingelagert. Während



Bundesamt für Strahlenschutz

Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 10 von 40
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.11.2016
9A	22000000	H	RZ	0004	00		


dieser Phase war vor allem der untertägige Einlagerungsbetrieb vorrangig, wobei auch einzelne Aktivitäten im Deckgebirge z.B. in Form von Erkundungsbohrungen zunehmend durchgeführt wurden.

In der vierten Nutzungsphase nach Ende der Einlagerung bis zum Beschluss der Stilllegung (1979 – 1995) wurde die Standorterkundung intensiv vorangetrieben. Der Bau von Grundwassermessstellen sowie ein umfangreiches hydrogeologisches Untersuchungsprogramm (u.a. in GSF, 1994) wurden aufgelegt und verschiedenen Erkundungsprogramme durchgeführt. Im untertägigen Bereich erfolgten im so genannten Tiefenaufschluss unterhalb der 750-m-Sohle verschiedene Versuche bezüglich der Materialeigenschaften von Salz als Wirtsgestein für die Endlagerung von wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen. In dieser Phase wurde die Schachanlage Asse II als Forschungsbergwerk betrieben.

Nach dem Beschluss zur Stilllegung wurde der bis zu diesem Zeitpunkt bestehende Sachstand dokumentiert und in den entsprechenden Unterlagen zum Antrag auf Stilllegung zusammengeführt (u.a. ERCOSPLAN, 2004 und COLENCO, 2006). Das Erkundungsprogramm war in dieser Phase mit Ausnahme weniger Arbeiten weitestgehend heruntergefahren.

Tabelle 1: Verschiedene Nutzungsphasen der Schachanlage Asse II

Phase	Dauer	Bezeichnung der Phase	Zweck	Intensität der Standorterkundung Übertage	Intensität der Standorterkundung Untertage
I	ca.1900-1906	Erkundung/Aufsuchung	Gewerblicher Bergbau	niedrig	mittel
II	1906-1964	Gewinnungsbetrieb	Gewerblicher Bergbau	niedrig	hoch
III	1965-1978	Einlagerungsbetrieb	Versuchsweise Einlagerung radioaktiver Abfälle	niedrig	mittel
IV	1979-1995	Forschungsbergwerk	Endlagerforschung	hoch	hoch
V	1995-2010	Vorbereitung der Stilllegung	Endlagerung	niedrig	niedrig
VI	2010-heute	Offenhaltung, Vorbereitung der Rückholung, Einleitung von Vorsorgemaßnahmen und Planung der Stilllegung	Betrieb der kerntechnischen Anlage Asse II	hoch	hoch

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 11 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016	

Seit 2009 ist das Bundesamt für Strahlenschutz Betreiber der Schachanlage Asse II. Durch die geänderten Anforderungen des Gesetzgebers an die Stilllegung der Schachanlage Asse II (BGBl, 2013) wurde die Standorterkundung wieder aufgenommen, um Unklarheiten bezüglich der geologischen Risiken und Randbedingungen des Offenhaltungsbetriebs, der Rückholung der radioaktiven Abfälle bzw. der Stilllegung der Schachanlage Asse II zu untersuchen.

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILITÄT: Es liegt aufgrund der über 100jährigen Historie der Schachanlage eine umfassende Datenbasis vor. Allerdings ist diese aufgrund der verschiedenen Phasen, welche die Schachanlage Asse II durchlaufen hat und mit denen jeweils eine Änderung des Zweckes der Erkundung einhergegangen ist, heterogen und folgt keiner zusammenhängenden Planungsstruktur. Mit der erstmaligen Feststellung eines Grundwasserzutritts im Jahr 1988 veränderte sich auch die Sichtweise bezüglich des Übergangsbereichs zwischen Deckgebirge und Salinar, wodurch sich die Erkundungsziele zusätzlich geändert haben.

DEFIZIT: Die Erkundung des Deckgebirges und der Salinarstruktur der Schachanlage Asse II streckt sich über 100 Jahre mit wechselnden Zielrichtungen. Die Anforderungen an eine für den Zweck der Endlagerung spezifizierte und angepasste Standorterkundung sind daher nicht erfüllt. Es ist jedoch möglich, die bisherigen Ergebnisse durch eine gezielte Nacherkundung zu ergänzen. Innerhalb des Grubengebäudes ist die Erkundung durch den Status des Grubengebäudes als Kerntechnische Anlage eingeschränkt. Auch bergbausicherheitliche Aspekte führen zu Einschränkungen, die bei den Planungen berücksichtigt werden müssen.


3.2 GEOLOGISCHE GRUNDLAGEN

ANFORDERUNGEN: Die geologischen Grundlagen sollen in ihrer Gesamtheit schlüssig sein und keine Widersprüche enthalten. Bei einer strukturiert geplanten Standorterkundung wären nach Abschluss aller geplanten Maßnahmen die gesamten Ergebnisse z.B. in Form eines Abschlussberichtes zusammengefasst worden, der jeweils konsistent mit den zugrunde liegenden Teilberichten gewesen wäre.

IST-ZUSTAND: Aufgrund der Historie der Schachanlage Asse II ist eine einheitliche Planungsstruktur weder zu erwarten noch wäre sie möglich gewesen, wie die unter Kapitel 3.1 beschriebenen Nutzungsphasen mit ihren unterschiedlichen Erkundungsinteressen und -intensitäten verdeutlichen. Ein erster Grundlagenbericht erschien 1981 (KLARR, 1981). Eine gewisse Zäsur brachte die Erstellung der Genehmigungsunterlagen der GSF Anfang der 2000er Jahre, da hier einzelne geowissenschaftliche Sachstände zusammengefasst wurden. Im Zuge der Vorbereitung zur Schließung der Schachanlage Asse II wurden diverse Antragsunterlagen erstellt. Die geologischen Grundlagen wurden dabei von der Ercosplan Ingenieurgesellschaft erstellt (ERCOSPLAN, 2004).

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILITÄT: Die Antragsunterlagen der GSF zur Stilllegung der Schachanlage Asse II stellten im weiteren Sinne einen Abschlussbericht der Standorterkundung dar. Allerdings wurde aufgrund des engen Zeitfensters zur Erstellung der Unterlagen auf eine detaillierte Plausibilitätsprüfung verzichtet. Die lückenhafte Datenbasis führte zu Kritik an den vorgestellten Unterlagen u.a. durch BFS (2007).

DEFIZIT: Eine der Einlagerung der radioaktiven Abfälle vorausgegangene und dementsprechend für diesen Zweck ausgerichtete Erkundung des Standorts ist nicht erfolgt. Die geologische Erkundung erfolgte begleitend zur Entwicklung der Schachanlage vom Versuchsendlager über den Status als Forschungsbergwerk bis in die Vorbereitungsphase zur Stilllegung, jedoch ohne ein Gesamtkonzept bzw. ohne einen Abschlussbericht vor der Nutzung der Schachanlage Asse II als Versuchsendlager für radioaktive Stoffe erstellt zu haben. Da bei den erstellten Unterlagen für den Antrag auf Stilllegung eine Vielzahl geologischer Fragen unbeantwortet

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 12 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016	

blieb, ist es notwendig, den Kenntnisstand über die Geologie des Höhenzugs Asse hier anzupassen. Risiken, müssen aufgrund der geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen tiefgreifender bewertet werden, um Entscheidungen zu treffen und um Prognosemodellen eine entsprechend bewertete Datenbasis zu liefern.


3.2.1 Geologische Einheiten des Deckgebirges

ANFORDERUNGEN: Zu unterscheiden sind generelle Informationen über das geologische Inventar und die Entstehung der Asse-Heeseberg-Struktur sowie punktuelle Informationen in Form von Messwerten und Beschreibungen von Aufschlüssen und Bohrkernen. Für die Erstellung einer räumlich differenzierten Modellvorstellung über den Aufbau und die Zusammensetzung des Deckgebirges, müssen neben der allgemeinen litho-stratigraphischen Beschreibung einer geologischen Schicht auch sämtliche Detailinformationen umfassend und lokal differenziert dokumentiert werden. Hierzu gehören im Feld oder an Bohrkernen erfasste Gefügemerkmale, mineralogische Analysen, Spurenelemente, Isotopenanalysen, Fossilbefunde und Pollenanalysen. Durch eine systematische Erfassung aller Gesteinsmerkmale in einer Datenbank wird die stratigraphische Zuordnung von Bohrkernen erleichtert, die im Rahmen neuer Erkundungsmaßnahmen gewonnen werden. Insbesondere bei unvollständigen oder tektonisch gestörten stratigraphischen Abfolgen ist eine Zuordnung anhand von Katalogen mit den verschiedenen Gesteinsmerkmalen hilfreich. Des Weiteren helfen die genannten Detailinformationen u.a. bei der Charakterisierung von Grundwasserbewegungen (auf Trennflächen und in Porenräumen) und des Sorptionsvermögens (sorptionswirksame Oberfläche und Gehalt an Sorbenten), so dass bei der Erstellung von Transportmodellen eine höhere Plausibilität der Ergebnisse zu erwarten ist.

IST-ZUSTAND: Eine Datenbank, die den genannten Anforderungen entspricht, liegt zurzeit nicht vor. Verfügbar sind geologische Berichte (u.a. KALKA, 1963; KLARR, 1981, KLARR et. al, 1991; WEINBERG, 1997), geophysikalische Logs aus Bohrungen und vereinzelt mineralogische Analysen des Gesteins inklusive Spurenelemente. Bei den geologischen Berichten ist vielfach eher eine allgemeine Charakteristik der geologischen Schichten zu finden, die jedoch nicht auf einzelne Bohrkernabschnitte bezogen sind, sondern die Merkmale einzelner geologischer Schichten als Gesamtheit beschreiben. Bei den gegenwärtigen durch das BfS betreuten geologischen Erkundungen im Deckgebirge (geologische Oberflächenkartierung) werden vor allem die makroskopische Gesteinsansprache (sichtbare Gesteinsmerkmale), mikrotektonische Betrachtungen (z.B. Stylolithen) und Pollenanalysen eingesetzt.

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILITÄT: Neben einer allgemeinen Beschreibung der stratigraphischen Einheiten ist es notwendig, Gesteinsmerkmale auch Lokationen zuzuordnen, so dass den erhobenen Daten X, Y und Z-Koordinaten zugeordnet werden können. Dies ist zurzeit nur für wenige insbesondere in jüngerer Vergangenheit entnommene Proben möglich. So liegen z.B. vereinzelt Strontium-Isotopenanalysen (^{87/86}Sr) für die Festgesteinseinheiten des Deckgebirges und des Salinars vor. Die verfügbare Datenbasis reicht zum jetzigen Zeitpunkt nicht aus, um die geologischen Einheiten weiträumiger zu charakterisieren. Ebenso wichtig wie die Erfassung der Gesteinsmerkmale ist die Verknüpfung verschiedener Untersuchungsergebnisse miteinander. So können z.B. Auffälligkeiten in bohrlochgeophysikalischen Logs mit der Verteilung bestimmter Minerale, Spurenelemente oder Isotope korrelieren.

DEFIZIT: Es ist zurzeit nicht möglich anhand der verfügbaren Unterlagen umfassend und räumlich differenziert sämtliche bisher erfassten Befunde über das lithologische, mineralogische, geochemische und paläontologische Inventar der geologischen Einheiten des Deckgebirges darzustellen. Der Aufbau einer Datenbank und die Verknüpfung mit einem Geoinformationssystem sind zu empfehlen. Beim Erstellen einer Datenbank können auch gezielt Informationslücken (z.B. fehlende Analysen oder Messungen) identifiziert werden. Ergänzende Erkundungsprogramme können hier eine einheitliche Qualität und Quantität der

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 13 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016	

Datenbasis herbeiführen, falls die Daten nicht verfügbar sind. Werden ältere Daten verwendet, sind diese einer Plausibilitätsprüfung zu unterziehen. Bohrlochgeophysikalische Befunde sind hier ebenfalls zu integrieren, sofern diese verfügbar sind. Diese können wertvolle Hinweise auf Variationen der mineralogischen Zusammensetzung liefern (z.B. unterschiedliche Gehalte an Tonmineralien). Bei der Auswahl der Gesteinsmerkmale ist Augenmaß erforderlich, so dass nicht unnötig Ressourcen für ein Breitband-Screening aufgewendet werden. Es ist erforderlich, diejenigen Gesteinsmerkmale herauszusuchen, bei denen signifikant stratigraphische Unterschiede angezeigt werden. In jüngerer Vergangenheit wurden bei der geologischen Erkundung gute Erfahrungen mit der Strontium-Isotopie ($^{87/86}\text{Sr}$) und Pollenanalysen gemacht, so dass empfohlen wird, den Einsatz dieser beiden Verfahren auszuweiten.

3.2.2 Geologische Einheiten des Salinars

ANFORDERUNGEN: Für das Salinar ist das Vorgehen analog zum Deckgebirge vorzusehen. Zu beachten sind vor allem bei den Gefügemerkmalen die verschiedenen direkten Einflüsse und unmittelbare Folgen des Grubenbetriebes (z.B. Rissbildungen, Eintrag von Fremdmaterialien). Im Gegensatz zum Deckgebirge sind im Grubengebäude weiträumig geologische Schichten aufgeschlossen und somit leichter für die direkte Ansprache verfügbar. Zudem besteht eine umfangreiche Anzahl an Unterlagen und Publikationen (z.B. ESSAID & KLARR, 1982) In einem offenen Grubengebäude bestehen daher vielfältige Möglichkeiten, eine hochauflösende Detailaufnahme stratigraphischer Einheiten zu erstellen.


IST-ZUSTAND: Die Grubenrisse zeigen eine ausreichend hochaufgelöste Verteilung verschiedener stratigraphische Einheiten im Grubengebäude. Sie erlauben eine Rekonstruktion der Raumlage von verschiedenen stratigraphischen Einheiten und ermöglichen so die Prognose der zu erwartenden stratigraphischen Abfolge in geplanten Bohrungen. Mineralogische Daten, Spurenelemente und Isotopendaten sind jedoch nur vereinzelt verfügbar.

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILITÄT: Es sind bereits Daten über Gesteinsmerkmale vorhanden und durch das offene Grubengebäude und die vielfältigen untertägigen Aktivitäten, bei denen immer wieder Bohrungen ins Salinar gestoßen werden, können weitere Daten schnell verfügbar gemacht werden. Es fehlt analog zum Deckgebirge eine systematische Erfassung und Auswertung der Daten, um die verschiedenen Gesteinsmerkmale zu katalogisieren, um bei unklaren Befunden bei Neuauffahrungen bzw. bei Erkundungsbohrungen auf diese Datenbasis zurückgreifen zu können.

DEFIZIT: Die Defizite im Salinar sind analog zum Deckgebirge zu beschreiben. Die mineralogische Zusammensetzung und der Gehalt an Spurenstoffen sind insbesondere in Hinblick auf das Lösungsmanagement von herausragender Bedeutung, um die Wechselwirkungen zwischen Lösungen und Gestein besser beschreiben zu können, was bei der Suche nach der Herkunft und den salzstockinternen Fließpfaden der Lösungszutritte hilfreich sein wird. So kann z.B. eine umfangreiche Datenbasis über die Schwankungen des Bromid/Chlorid-Verhältnisses innerhalb der salinaren Folgen hilfreich bei der stratigraphischen Zuordnung von Neuauffahrungen sein. Die Erstellung einer Datenbank ist dringend erforderlich.

3.2.3 Geologisches Standardprofil

ANFORDERUNGEN: Bei der stratigraphischen Zuordnung von Gesteinen spielt nicht nur die Summe der Gesteinsmerkmale eine Rolle, sondern auch die angewendete Nomenklatur. Diese ist einheitlich festzulegen, so dass alle Bearbeiter dieselben Begriffe für dieselben stratigraphischen Einheiten verwenden. Als Leitfaden

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 14 von 40 Stand: 28.11.2016	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00		

für eine solche Nomenklatur dient der Symbolschlüssel Geologie (LBEG, 2015) in seiner jeweils aktuellsten Fassung.

IST-ZUSTAND: Bei der Sichtung der Literatur finden sich geringfügige Abweichungen in den stratigraphischen Bezeichnungen. Dabei ist es nicht unüblich, dass lokale Schichten eine eigene Nomenklatur erhalten wie es z.B. bei der anhydritischen Gorlebenbank am Standort Gorleben der Fall ist. Vielfach sind es auch Abkürzungen, die im offiziellen Risswerk der Asse verwendet werden, die sich aber nicht im Symbolschlüssel Geologie des LBEG finden.


QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILITÄT: Das Risswerk und die verfügbaren geologischen Berichte sind trotz der geringfügigen Abweichungen problemlos lesbar. Die verbindliche Nutzung eines Standardprofils bietet jedoch die Möglichkeit, die hohen Qualitätsstandards, welche im Sinne guter wissenschaftlicher Praxis und bemessen an der Herausforderungen im Projekt Asse erforderlich sind, zu erfüllen.

DEFIZIT: Auch wenn es sich um kein erhebliches Defizit handelt, sollte für die Schachanlage Asse II ein Standardprofil vorliegen, welches die vorhandenen Schichten (und damit auch lokale Schichtlücken) darstellt und die durchschnittliche Mächtigkeit, Erosionsbeständigkeit, Nomenklatur nach Symbolschlüssel und lokale Bezeichnungen beinhaltet. Auch bei der Verwendung von Farben, Schraffuren und Symbolen ist auf Einheitlichkeit zu achten. Das gilt insbesondere für Auftragnehmer, die vom BfS bzw. von der Asse-GmbH die entsprechenden Vorgaben in schriftlicher Form erhalten müssen. Es liegt bisher noch kein geologisches Standardprofil vor, welches für alle Arbeiten, bei denen geologische Sachverhalte beschrieben werden, verbindlich ist. Dieses Profil muss erstellt, abgestimmt und Teil des offiziellen Risswerks werden. Die Anwendung muss für alle Unterlagen des BfS, der Asse-GmbH und sonstigen Auftragnehmern verbindlich sein, um Missverständnissen vorzubeugen.

3.2.4 Geologische Oberflächenkarte

ANFORDERUNGEN: Für die Schachanlage Asse II soll eine geologische Karte vorliegen, die es dem Nutzer ermöglicht, eine Übersicht über die räumliche Verteilung der stratigraphischer Einheiten, ihre Raumlage (Einfallen und Streichen) sowie über die Lage tektonischer Großstrukturen (Störungen) zu erhalten. Unklare Befunde sollten als solche gekennzeichnet sein, z.B. durch die Darstellung von vermuteten, aber nicht im Feld nachgewiesenen Störungen mit gestrichelten Linien. Ausgedehnte Quartärbedeckungen dürfen nur dann aus der Karte entfernt werden, wenn ausreichend Daten für das darunter anstehende Festgestein zur Verfügung stehen. In diesem Fall ist eine so genannte abgedeckte geologische Karte zu erstellen.

IST-ZUSTAND: Zurzeit wird im Risswerk der Asse (ASSE-GMBH, 2016) eine geologische Karte verwendet, deren Entstehung nicht mehr im Einzelnen nachvollzogen werden kann. Bekannt ist, dass diese geologische Karte auf den Arbeiten der PREUßISCHEN GEOLOGISCHEN LANDESANSTALT (1931a, 1931b) basiert und durch mehrere Nachkartierungen (z.B. APPEL, 1971) und WEINBERG, 1990) präzisiert wurde und durch weitere Erkenntnisse revidiert und erweitert wurde (z.B. 2D-Seismische Untersuchungen). Unklar ist, auf welcher Basis Entscheidungen für die Darstellung einzelner Strukturen, insbesondere von Störungen getroffen wurden. Vor allem bei Abweichungen zwischen den verfügbaren Karten wäre eine solche Dokumentation wichtig, um eine Entscheidung zu treffen, welche Interpretation als mehr oder weniger wahrscheinlich einzustufen ist. Im Verlauf der letzten Jahre sind weitere Erkenntnisse hinzukommen. Zu nennen sind die Bohrungen PN 1-3 (ERCOSPLAN, 2009) und die Erkundungsbohrung Remlingen 15 (DMT ET AL., 2013). In allen vier Fällen wurden auf Basis der verfügbaren geologischen Karte abweichende geologische Verhältnisse für die Bohransatzpunkte angenommen, als tatsächlich vorgefunden wurden. Es ist davon auszugehen, dass nicht nur an diesen vier Standorten, sondern auch an weiteren Standorten die geologische Karte fehlerhaft ist.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 15 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016	

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILIÄT: Fehlinterpretationen der geologischen Karte können verschiedene Ursachen haben. Zum einen ist es möglich, dass Geländebefunde nicht eindeutig stratigraphisch zugeordnet werden konnten. Durch die komplexen tektonischen Verhältnisse sind vollständige stratigraphische Abfolgen eher die Seltenheit. Die Verfügbarkeit von Aufschlüssen mesozoischer Sedimentgesteine ist durch unterschiedlich mächtige Quartärbedeckungen begrenzt. Des Weiteren enthält die im Risswerk enthaltene geologische Karte Strukturen (vor allem Störungen), deren Existenz nicht nachvollzogen werden kann.


DEFIZIT: Es ist notwendig, die geologische Karte zu verbessern, da die vorhandene geologische Oberflächenkarte offensichtliche Fehler aufweist, die behoben werden müssen. Hierzu eignet sich eine Detailkartierung derjenigen Bereiche des Höhenzugs Asse, bei denen Widersprüche oder Inkonsistenzen erkannt wurden. Sollten Abweichungen festgestellt werden, ist die geologische Karte in diesen Bereichen zu revidieren. Es ist zwingend erforderlich, dass neben der geologischen Aufnahme im Feld zusätzliche Methoden zur Anwendung kommen. Genannt werden soll an dieser Stelle der Einsatz von Pollenanalysen (vor allem zur Differenzierung von Zechstein/Röt). Nicht nachvollziehbare Strukturen müssen aus der Karte entfernt, vermutete Strukturen als solche gekennzeichnet werden. Die Karte muss eine größtmögliche Abbildungsgenauigkeit der zurzeit vorhandenen Kenntnislage darstellen, sie darf aber darüber hinaus keine spekulativen Informationen enthalten. In Bereichen mit zu hoher Quartärbedeckung sollen Kurzbohrungen das Lockergestein durchhörern, um das anstehende Festgestein zu erbohren. Das Ziel ist eine abgedeckte geologische Karte in diesen Bereichen. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Unterlage war die geologische Revisionskartierung noch nicht abgeschlossen.

3.2.5 Bohrkerne/Bohrdaten

ANFORDERUNGEN: Eine umfangreiche Dokumentation von Bohrdaten ist unerlässlich. Es ist davon auszugehen, dass aus Kapazitätsgründen nicht alle bei Erkundungsbohrungen gewonnenen Bohrkerne archiviert und für eine spätere Bearbeitung wieder begutachtet werden können. Die Datenbasis muss die geologische Ansprache, Fotodokumentation, alle verfügbaren bohrlochgeophysikalischen Logs und sämtliche zusätzlichen Informationen wie z.B. die Ermittlung gesteinsmechanischer Parameter im Labor enthalten.

IST-ZUSTAND: Die stratigraphischen Profile der bisher abgeteufte Erkundungsbohrungen liegen weitestgehend vor. Untertägige Bohrungen sind im Bohrlochkataster verzeichnet, übertägige sind als digitalisierte Datensätze verfügbar. Bohrlochgeophysikalische Logs stehen für Bohrungen ab den 1980er Jahren zur Verfügung.

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILIÄT: Im Rahmen einer Plausibilitätsprüfung der verfügbaren Bohrprofile stellte sich heraus, dass die stratigraphischen Profile mehrerer Erkundungsbohrungen vielfach Anlass zu erheblichen Zweifel an der Richtigkeit lassen. Beispielsweise passt in einigen Fällen die lithologische Beschreibung nicht zu der stratigraphischen Zuordnung. Auch gibt es erhebliche Abweichungen bei der Bearbeitungstiefe. Einige Bohrprofile weisen nur eine grobe stratigraphische Unterteilung vor, bei der vielfach Angaben fehlen, die jedoch bei einer systematischen Kernbeschreibung hätten dokumentiert werden müssen. Es ist daher davon auszugehen, dass diese Daten nicht verloren gegangen sind, sondern bereits bei der Erstellung der Bohrungen nicht erhoben wurden. Da auch vielfach Bohrverfahren ohne Kerngewinn eingesetzt wurden, fehlen Angaben über den intakten Gesteinsverband bzw. sonstige tektonische und stratigraphische Merkmale, wie sie mit Kernbohrungen und anschließender bohrlochgeophysikalische Erkundung erfassbar gewesen wären. Dies führt bei nachträglicher Interpretation dazu, dass ohne direkte Bohrkernsichtung mehrere Interpretationen möglich sind. Da die meisten Bohrkerne vernichtet wurden, steht nur noch ein geringer Anteil an Originalkernen zur Verfügung. Diese Kerne lagern im Bohrkernlager der Bundesanstalt für

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 16 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016	

Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) teils in Hannover und teils in Grubenhagen. Laut einem Protokoll der GSF vom 10.05.2004 sind für die Formationen des Deckgebirges folgende Kerne erhalten:

- Bohrung R5: komplett d. h. Kernkisten 1 bis 2657 und Probenrückläufer
- Bohrung R6: Hangender und liegender Übergang im Muschelkalkresidual (mmR) - Kernkisten 381-390; 471-480
- Bohrung R7: Muschelkalk - Salinar - Kernkisten 721 - 830
- Bohrung R9: Übergang Deckgebirge/Zechstein – Kernkisten 541- 660
- Bohrung H17: 6-15m; 15-22m; 47-55m; 175-183m; 219-227m - Kerne aus dem Hangenden sowie dem Liegenden des Übergangsbereichs der erbohrten Anhydrite
- Bohrungen PN1, PN 2 und PN3 (Muschelkalk/Buntsandstein): komplett verfügbar
- Bohrung R15: komplett verfügbar (Muschelkalk, Buntsandstein, Zechstein)

Für eine geplante Untersuchung von Mikrofossilien, die jedoch nicht durchgeführt wurde, wurden weitere Bohrkerne zurückgehalten. Diese Bohrkerne, die in Räumlichkeiten der Re-ma-tec in Remlingen gelagert wurden, wurden von der Asse-GmbH in Rücksprache mit dem BfS 2012 vernichtet, da sie stark mit Öl verschmutzt und für die weitere Verwendung unbrauchbar waren.


DEFIZIT: Es sind nur noch wenige Original-Bohrkerne aus den Erkundungsbohrungen im Deckgebirge erhalten, so dass eine Überprüfung strittiger Befunde in vielen Fällen nicht mehr möglich ist. Dieses Defizit ist nur bedingt heilbar, da eine Plausibilitätsprüfung weitestgehend auf die verfügbaren Unterlagen beschränkt werden muss. Die Datenbasis muss an dieser Stelle vor allem durch neu abzuteufende Bohrungen verbessert werden.

3.2.6 Strukturgeologie und Genesemodell

ANFORDERUNGEN: Der Höhenzug Asse ist vor allem durch tektonische bzw. halo-tektonische Prozesse gekennzeichnet, die zur Aufrichtung des Salzsattels, zur Bildung von Nord- und Südflanke und zur Anlage von geologischen Trennflächen wie Störungen und Klüfte geführt hat. Da tektonische Prozesse immer in direkter Beziehung zu den Gesteinseigenschaften (Sprödverhalten, Korngrößen, Schichtung, Zementation etc.) stehen, müssen strukturgeologische Betrachtungen immer die lithologische Zusammensetzung der Gesteinspakete berücksichtigen. Ein strukturgeologisches Gesamtbild ergibt sich erst dann, wenn alle im Feld oder in Bohrkernen erfassten Strukturmerkmale weitestgehend widerspruchsfrei einem Genesemodell zugeordnet werden können.

Unstrittig ist die Entstehungsgeschichte der Formationen des Deckgebirges und des Salinars: Die Schichten des Salinar wurden in einem teilweise vom offenen Ozean abgeschnürtem Teilbecken mit großen Mächtigkeiten abgelagert. Die Salzlager waren bei Ihrer Bildung horizontal gelagert, ebenso wie diejenigen Schichten des Deckgebirges, welche vor Aufstieg des Salinars zur Ablagerung kamen.

Im Verlauf des Mesozoikums kam es zum Aufstieg des Salinars. Dieser Prozess setzte sich im Känozoikum fort. Durch das Zusammenwirken von halo-tektonischen (lokal durch den Salzaufstieg bedingt) und überregionalen tektonischen Prozessen durch das Stressfeld im Bereich des Subhercyns kam es zur Anlage des tektonischen Inventars, zu Schichtlücken im Bereich des Höhenzugs Asse und zur Bildung von Randsenken mit erhöhter Sedimentakkumulation. Infolge der quartären Vereisung überprägten glaziale und periglaziale Prozesse die oberflächennahe Geologie.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II					
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 17 von 40			
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN				
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016			

Es ist unstrittig, dass die Geologie der Asse aufgrund dieser teils aufeinanderfolgenden und teils interagierenden Prozesse als komplex bezeichnet werden kann.

IST-ZUSTAND: Das über die lange Dauer der Betriebszeit entstandene geologische Risswerk (ASSE-GMBH, 2016) fasst eine Vielzahl von geologischen Strukturen und Strukturelementen wie z.B. Störungen zusammen. Von besonderer Bedeutung ist hierbei der Schnitt 2 des Risswerks (ASSE-GMBH, 2016), der quer zum Streichen der Asse-Struktur verläuft. Schnitt 2 stellt zentral das Grubengebäude und begleitend die beiden Flanken, das Hutgestein und das darüber liegende Deckgebirge dar. Dabei ist ein auffälliges Störungsmuster erkennbar, bei denen teilweise deutliche Schichtversätze dargestellt sind. Ähnlich komplex stellen sich die einzelnen Sohlenrisse dar, da neben einer detaillierten Aufnahme des Salinars innerhalb des Grubengebäudes (basierend auf der geologischen Aufnahme an Sohlen, Firsten, Stößen, Erkundungs- und sonstigen Bohrungen) auch eine komplexe Struktur im Deckgebirge sichtbar ist, für die es keine konkrete Datenbasis gibt. Das bisher aktuellste Genesemodell der Asse wurde von FRANZKE & SCHWANDT (2008) erstellt.

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILITÄT: Im Risswerk und in der zurzeit verwendeten geologischen Oberflächenkarte sind mehrere Störungen im Deckgebirge verzeichnet, die anhand von Altunterlagen bzw. Geländebefunden nicht nachvollzogen werden können. Beim Vergleich verschiedener Schnitte zeigen sich Inkonsistenzen, die kein einheitliches Bild strukturgeologischer Elemente liefert. Es fehlt eine ausführliche Dokumentation, welche u.a. die Raumlage der Störungen erläutert. Auch ist nicht nachvollziehbar, ob nach Revision einzelner Schnitte und Risse eine Konsistenzprüfung stattgefunden hat. Aufgrund des langen Zeitraums, über den durch verschiedene Bearbeiter Erkenntnisse und Interpretationen in das Risswerk eingeflossen sind, ist eine Nachvollziehbarkeit der Einzelschritte zur Entstehung der heutigen Version des geologischen Risswerks nicht gegeben. Ebenso ist zu beachten, dass die Raumlage von geologischen Störungen plausibel in ein Genesemodell der Asse einzupassen ist, ohne dass gravierende Widersprüche entstehen. So ist z.B. die Systemvorstellung des verstürzten Deckgebirges mit den bisherigen verfügbaren geologischen Daten nicht nachvollziehbar. Die Ausführungen von KLARR (1981) bekräftigen die Theorie, dass die Buntsandsteinschollen im Zuge der Salzablaugung nachgesackt und schließlich zerbrochen sind. An dieser Theorie bestanden und bestehen erhebliche Zweifel. Mitunter ist fraglich, ob allein die räumliche Ausdehnung des so genannten verstürzten Deckgebirges im Hangenden eines Schmalsattels, wie ihn die Salzstruktur Asse darstellt, durch Subrosion überhaupt möglich ist. Des Weiteren haben sich im Zuge der laufenden Revisionskartierung (Stand 2016) durch das BfS erhebliche Zweifel an der stratigraphischen Zuordnung einzelner Feld- und Bohrbefunde in den Unteren Buntsandstein herausgestellt. Auch fehlt die schlüssige Einbindung in ein geologisches Genesemodell, welche die Hauptspannungsrichtungen während des Aufstiegs des Salinars berücksichtigt.

Während des Abteufens der Bohrungen PN 1- PN 3 (ERCOSPLAN, 2009) wurden Störungsstrukturen ermittelt, die sich mit dem Genesemodell von FRANZKE & SCHWANDT (2008) erklären lassen, die sich aber nicht im geologischen Risswerk finden. So sind die meisten vorgefundenen Störungen an der Südflanke im Schichteinfallen vorgefunden worden und nicht querschlägig zum Schichteinfallen, wie es vielfach in den Schnitten des Risswerks (ASSE-GMBH, 2016) dargestellt ist.

Auffällig ist, dass einige Störungen im Risswerk zwar eingezeichnet sind, es aber keinen nennenswerten Versatz der Schichtenfolge an diesen Störungen gibt. Es ist zwar möglich, dass kein Versatz vorliegt oder die Störungen invertiert wurden, aber dieser Befund wirft die Frage auf, inwiefern die dargestellte Störung nachgewiesen wurde bzw. welche Indikatoren zum Nachweis der Störungen herangezogen wurden.

Zweifelhaft ist auch die Struktur der vielfach erwähnten (u.a. in AF-COLENCO, 2009) so genannten Amerbeek-Störung. Weder die angenommene Raumlage noch mögliche Indikatoren für die Existenz dieser Störung sind mit dem übrigen tektonischen Inventar der Asse in Einklang zu bringen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachtanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 18 von 40
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00		Stand: 28.11.2016

DEFIZIT: Die im Risswerk und in der geologischen Oberflächenkarte dargestellten Raumlagen von Störungen sind teilweise nicht nachvollziehbar. Inkonsistenzen zwischen Rissen und Schnitten, aber auch zwischen einzelnen Schnitten untereinander nähren die Zweifel, dass das geologische Risswerk in der jetzigen Form zur Beschreibung der geologischen Verhältnisse geeignet ist. Vor allem das so genannte verstürzte Deckgebirge wirft erhebliche Fragen auf, nach welchem Genesemodell eine solche Struktur entstehen könnte und ob ein solches Genesemodell konsistent mit anderen Befunden bezüglich des tektonischen Inventars der Asse ist. Eine kritische Diskussion der dem Risswerk zugrundeliegenden Interpretation des strukturellen Aufbaus ist unumgänglich. Der Abgleich von Altdaten und Hypothesen durch eine Aufarbeitung der gesamten Datenbasis zuzüglich neuer Befunde ist zwingend erforderlich. Es wird empfohlen, eine palinspastische Rekonstruktion durchzuführen, um das Genesemodell zu überprüfen. Hierbei werden die geologischen Schichten in zeitlich umgekehrten Ablauf wieder in ihre ursprüngliche Ausgangslage zurücküberführt. Da es sich bei den Ablagerungen des Deckgebirges der Asse ursprünglich um Beckenablagerungen handelt, ist davon auszugehen, dass die ursprüngliche Lagerung der Beckenmorphologie folgte.

3.2.7 Seismizität

ANFORDERUNGEN: Für die Schachtanlage Asse II als kerntechnische Anlage ist die Erstellung eines ingenieurseismologischen Gutachtens erforderlich. Das Ziel eines solchen Gutachtens ist die Abschätzung der seismischen Gefährdung.

IST-ZUSTAND: Für den Standort der Schachtanlage Asse existiert zur Bewertung des seismologischen Sachverhaltens ein zweiteiliger Abschlussbericht (GOMMLICH, 2006). Der Standort Asse wurde in die seismographische Region „Harz“ eingeordnet. Insgesamt ist ein ähnliches Ergebnis wie bei den benachbarten Standorten Konrad (LEYDECKER & KOPERA, 1996) und Morsleben (LEYDECKER & KOPERA, 1999) (s. Tabelle 2) zu verzeichnen. Die vorhandenen Unterlagen wurden auf der Grundlage der Regel KTA 2201.1 (1990) („Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen – Teil 1: Grundsätze“) und der Datenbasis der damaligen Fassung des von BGR herausgegebenen Erdbebenkataloges erstellt.

Tabelle 2: Bemessungserdbeben und ingenieurseismische Kenngrößen im Vergleich

Kenngrößen	Standorte und Gutachter					
	Konrad (BGR, Aug. 1996)		Morsleben (BGR, Juni 1999)		Asse (Gommlich, Jan. 2006)	
Intensität des Bemessungsbeben	VI ½ MSK		VI ½ MSK		VI ½ MSK	
Überschreitungswahrscheinlichkeit	< 10 ⁻⁵ a ⁻¹		< 10 ⁻⁵ a ⁻¹		< 10 ⁻⁵ a ⁻¹	
	Über Tage	Unter Tage	Über Tage	Unter Tage	Über Tage	Unter Tage
Resultierende horizontale Beschleunigung	112 cm/s ²	100 cm/s ²	113 cm/s ²	99 cm/s ²	100 cm/s ²	90 cm/s ²
Vertikale Beschleunigung	56 cm/s ²	50 cm/s ²	57 cm/s ²	50 cm/s ²	50 cm/s ²	45 cm/s ²
Dauer der Starkbewegungsphase	3 s	2 s	4 s	1,5 s	3 s	1,5 s



Bundesamt für Strahlenschutz

Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachtanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 19 von 40
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016

MSK-1964: Medvedev-Sponheuer-Karnik-Skala (zwölftellige makroseismische Intensitätsskala) aus dem Jahr 1964, ähnlich der europäischen makroseismische Intensitätsskala (EMS) - 1998

VI MSK: leichte Schäden an Gebäuden, feine Risse im Verputz

VII MSK: Risse im Verputz, Spalten in den Wänden und Schornsteinen


QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILITÄT: Die neueste Fassung des KTA-Regelwerks 2201.1 (KTA, 2011) gilt seit November 2011, indem das Regelwerk 2201.1 (KTA, 1990) dem Stand der Wissenschaft und Technik angepasst und umfangreich geändert wurde. Das Gutachten für die Schachtanlage Asse muss deshalb entsprechend den neuen Anforderungen des Regelwerks (KTA, 2011) überprüft werden. Folgende Punkte sollen berücksichtigt werden:

Neue Anforderungen bezüglich der Ermittlung des Bemessungserdbebens wurden festgelegt. Dies soll sowohl auf den deterministischen, als auch auf den probabilistischen Analysen basieren. Eigene probabilistische seismische Gefährdungsanalyse für den Standort Asse wurde nicht in den vorliegenden Unterlagen durchgeführt. Da der Anwendungsbereich des neuen Regelwerks (KTA, 2011) sich nur noch auf Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren und ihren Anlagenteile sowie bauliche Anlagen bezieht, ist ein seismologisches Gutachten gemäß dieser Regel nur für den oberirdischen Anlagenteil und nur für die Betriebsdauer der Schachtanlage Asse II denkbar. Die Anwendbarkeit dieses Regelwerks auf die Schachtanlage Asse II soll jedoch bezüglich einer bruchartigen Verschiebung bei Erdbeben, der unter Tage bauliche Anlagen bzw. Anlagenteile und längerer Betrachtungszeiträume im Vergleich zu Kernkraftwerken zumindest überprüft und diskutiert werden.

Als Grundlage zur Beschreibung der Seismizität des Standortes dient der Erdbebenkatalog der BGR (LEYDECKER, 2011). Darin sind Erdbeben der Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten ab dem Jahr 800 n. Chr. nach den neusten Forschungsergebnissen und -erkenntnissen dokumentiert. Der Erdbebenkatalog wurde zuletzt im November 2011 aktualisiert. Außerdem wurde neu gefordert, paläoseismische Befunde und besonders relevante historische Erdbeben zu berücksichtigen und die seismotektonischen Einheiten zu begründen.

Erdbeben gehören zu den Naturkatastrophen, die nicht vorhergesagt werden können. Es ist nur möglich zunächst die Wahrscheinlichkeit des zukünftigen Eintretens von Beben bestimmter Stärke an dem Standort auf der Basis der statistischen Auswertung des räumlichen und zeitlichen Auftretens von Beben in der Vergangenheit und dann das Risiko in Verbindung der standortspezifischen Gegebenheiten einzuschätzen. Die Beobachtungszeit der Erdbeben ist auf ca. 1.200 Jahre beschränkt. In wie weit eine Prognose über die Erdbebensicherheit eines Standortes bezüglich der Geologie und Tektonik möglich ist, soll eine Unsicherheitsanalyse aussagen. In den vorhandenen Unterlagen wurde keine Unsicherheitsanalyse durchgeführt.

DEFIZIT: Mögliche Auswirkungen verschiedener Erschütterungen auf unterirdische Bauwerke wurden bislang noch sehr wenig erforscht. In den vorhandenen Unterlagen wurden diese Fragenstellungen nicht behandelt. Nach einer schwedischen Studie (SKB, 2002) sind bis heute weltweit nur Schäden an unterirdischen Bauwerken aufgetreten, wenn die maximale Bodenbeschleunigung den Wert 200 cm/s² überschritten hat. Dies ist auf der Schachtanlage Asse II gemäß GOMMLICH (2006) wahrscheinlich nicht zu erwarten (vgl. Tabelle 2). In einem neu zu erstellenden Gutachten soll diese Frage aber zumindest betrachtet und diskutiert werden. In der neuen Fassung der Regel wird vorausgesetzt, dass der Standort hinsichtlich Geologie und Tektonik untersucht wurde, insbesondere auf aktive Verwerfungen und bleibende Verschiebungen des Bodens. Spätestens nach der geplanten 3D-seismischen Hauptmessung soll die Standortbeschreibung im ingenieurseismologischen Gutachten für die Schachtanlage Asse aktualisiert werden.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachthanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 20 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016	

Nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik sowie den neuen Anforderungen des Regelwerks (2201.1, 11/2011) ist das seismologische Gutachten zu aktualisieren. Eine Überarbeitung des vorhandenen seismologischen Gutachtens ist nach derzeitiger Einschätzung fachlich zu empfehlen.

3.3 HYDROGEOLOGIE

Eine umfangreiche Analyse der Defizite des hydrogeologischen Messnetzes findet sich im 1. Teil des vorliegenden Projektplans (BfS, 2012). Der Vollständigkeit halber werden die wichtigsten Kritikpunkte am hydrogeologischen Messnetz an dieser Stelle noch einmal kurz zusammengefasst und in die weiterführende Defizitbetrachtung integriert.

3.3.1 Hydrogeologische Einheiten

ANFORDERUNGEN: Die Beschaffenheit und Verteilung von Grundwasserleitern, Grundwassergeringleitern und Grundwassernichtleitern sind die Grundlagen für die Betrachtung von hydrogeologischen Umsatzräumen und letztendlich für die Erstellung von Strömungsmodellen zur Prognose langfristiger Grundwasserbewegungen.

IST-ZUSTAND: Für den Asse-Höhenzug werden u.a. in AF CONSULT (2014), COLENCO (2006) und GSF (1994) mehrere Grundwasserleiter beschrieben. Es erfolgte eine Unterteilung in Grundwasserleiter und Grundwassergeringleiter. Neben den in Tabelle 3 aufgeführten triassischen Grundwasserleitern im Zentralteil der Asse sind noch die Grundwasserleiter im Rhät-Sandstein des Oberen Keuper (ko) und die Sandsteinhorizonte des Unteren (ju) und Mittleren Jura (jm) zu nennen, die sich auf die Randbereiche des Höhenzugs und die angrenzenden Muldenstrukturen (Remlinger und Schöppenstedter Mulde) beschränken. Quartäre und tertiäre Lockergesteinsgrundwasserleiter sind im Asse-Höhenzug nicht vorhanden. Es ist bekannt, dass das Grundwasser je nach Beschaffenheit des Grundwasserleiters auf Klüften, in Karsthohlräumen und ggf. im Porenraum der Festgesteinsgrundwasserleiter fließt. Durch die starke tektonische Beanspruchung der Deckgebirgsschichten ist zudem eine Grundwasserbewegung entlang von Störungszonen vorhanden (GSF 1994; COLENCO 2006; FRANZKE & SCHWANDT, 2008).

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILITÄT: Die allgemeine Einteilung in Grundwasserleiter und Grundwassergeringleiter unterliegt mehreren Schwierigkeiten. Eine allgemeingültige Einteilung ist nicht möglich, da allgemein als grundwasserführend bezeichnete Schichten bei neueren Erkundungsbohrungen (PN1-3, R15) als weitestgehend trocken angetroffen wurden. Auch sind Störungen nicht zwangsläufig wasserführend. Die komplexe tektonische Beanspruchung lässt es zu, dass Störungen sowohl grundwasserleitend als auch grundwasserhemmend wirken können. Unter Ausbildung einer Zerrüttungszone, eines stark beanspruchten Bereichs entlang der Störung mit erheblicher Entfestigung des Gesteinsverbandes, wirken Störungen als gute Grundwasserleiter. Beobachtet wurde dies an den Bohrungen PN 1 und PN 2. Liegen jedoch nur indirekte Informationen über Störungen vor (z.B. über seismische Messungen), ist es nicht möglich, eine Grundwasserführung nachzuweisen.



 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II					
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.			Seite: 21 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN				
9A	22000000	H	RZ	0004	00			Stand: 28.11.2016	

Tabelle 3: Detaillierte Schichtfolge und hydrogeologische Charakterisierung des Muschelkalk und Buntsandstein im Bereich des Asse-Höhenzuges (nach GSF, 1994; COLENCO, 2006, AF-CONSULT, 2014).

Formation und Schichtenfolge	Hydrogeologische Charakterisierung	
Muschelkalk		
Ceratiten- <i>mo2</i> und Encrinusschichten <i>mo1</i> des Oberen Muschelkalk <i>mo</i>	Grundwasserleiter, z.T. Grundwassergeringleiter	
Mergelsteine (z.T. dolomitisch) (oberer Teil Anhydritgruppe) des Mittleren Muschelkalk <i>mm</i>	Grundwasserleiter	
Mergel- und Tonsteine (z.T. sulfatreich) (mittlerer Teil Anhydritgruppe) des Mittleren Muschelkalk <i>mm</i>	Grundwassergeringleiter	
Steinsalz <i>mmNa</i> (unterer Teil Anhydritgruppe), bzw. Residualbildungen <i>mmR</i> des Mittleren Muschelkalk <i>mm</i>	Grundwassergering- leiter, subrosionsanfällig	Residualgebirge: Grundwasserleiter
Anhydrit- und Mergelfolgen <i>mm-m</i> (unterster Teil Anhydritgruppe) des Mittleren Muschelkalk <i>mm</i>	Grundwassergeringleiter	
Schaumkalkbänke <i>mu5</i> des Unteren Muschelkalk <i>mu</i>	Grundwassergeringleiter	
Wellenkalk <i>mu1</i> bis <i>mu4</i> des Unteren Muschelkalk <i>mu</i>	Grundwasserleiter; <i>mu2</i> z.T. Grundwassergeringleiter	
Buntsandstein		
Mergel- und Tonsteine des Oberer Buntsandstein <i>so: so1</i> (teilweise), <i>so2</i> , <i>so3</i> und <i>so4</i>	Grundwassergeringleiter	
An der Basis des <i>so1</i> : Rötanhydrit <i>so1A</i> und Röt-Salzlager <i>so1Na</i>	Grundwassergering- leiter, subrosionsanfällig	Residualgebirge: Grundwasserleiter
Sand-Tonstein-Wechselfolge des Basissandstein sowie Ton- und Schluffsteine der Solling- und Volpriehausen-Folge des Mittlerer Buntsandstein <i>sm</i>	Generell Grundwassergeringleiter; Basissandstein: Grundwasserleiter	
Rogenstein <i>su-p</i> des Unteren Buntsandstein <i>su</i>	Grundwasserleiter	
Wechsellagerung von Ton-, Schluff- und Sandstein des Unterer Buntsandstein <i>su</i>	Grundwassergeringleiter	

Zusammengefasst stellen regionale Unterschiede bei der Durchlässigkeit und die vielfach ungeklärte Bedeutung von Störungen/Störungssystemen ein Hindernis für die Bestimmung regionaler Grundwasserströme dar. Eine allgemein gültige Differenzierung von Grundwasserleitern, Grundwassergeringleitern und Grundwassernichtleitern ist daher mit größeren Schwierigkeiten verbunden. Aufgrund der Tatsache, dass sich das mechanische Verhalten von Gesteinsformationen mit zunehmender Tiefe ändert, so dass Störungen und Klüfte bzgl. Ausdehnung und Öffnungsweiten geringere Durchlässigkeiten als in derselben geologischen Einheit in Oberflächennähe aufweisen, muss die Differenzierung der Durchlässigkeiten in einer geologischen Einheit in drei Dimensionen erfolgen. Hierfür ist eine hohe Datendichte erforderlich, die durch bestehende Verteilung an Erkundungsbohrungen und

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 22 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016	

Messstellen nicht zu leisten ist. Vielfach ist es schwierig selbst für großräumig betrachtete Teilabschnitte des Asse-Höhenzugs eine ausreichende Datenmenge auszuwerten, um die Durchlässigkeit des Untergrunds für mehrere Teufen und die verschiedenen grundwasserhöffigen geologischen Einheiten zu beschreiben. Es ist zu beachten, dass Karstbildung und die starke tektonische Beanspruchung der Gesteinsformationen eine äußerst komplexe Situation zur Folge haben, die selbst bei einer höheren Anzahl an Erkundungsbohrungen eine große Herausforderung bei der Auswertung und Interpretation darstellt. Für relevante Teilabschnitte des Asse-Höhenzugs, d.h. vor allem Bereiche in unmittelbarer Nähe der Schachanlagen Asse II sowie die Exfiltrationsgebiete für Grundwasser sollte jedoch eine gezielte Erhöhung der Datendichte angestrebt werden.

DEFIZIT: Eine allgemeingültige Aufteilung der geologischen Einheiten in Grundwasserleiter, Grundwassergeringleiter und Grundwassernichtleiter ist nicht möglich. Mit der verfügbaren Verteilung von Erkundungsbohrungen ist es schwierig, die Durchlässigkeit des Untergrunds in allen drei Dimensionen für die relevanten Abschnitte des Asse-Höhenzugs in ausreichender Genauigkeit abzubilden. Der Kenntnisstand über Klufthweiten, Klufthäufigkeit, Karsthohlräume, nutzbare Porosität und die hydraulische Leitfähigkeit von Störungen muss durch zusätzliche Erkundungsmaßnahmen erweitert werden.

3.3.2 Grundwasserhydraulik

ANFORDERUNGEN: Der Kenntnisstand über die Grundwasserhydraulik leitet sich aus den Grundwasserspiegelhöhen in den Grundwassermessstellen sowie aus der räumlichen Verteilung der Quellen ab. Je komplexer die Strukturen, umso mehr muss ein Grundwassermessnetz angepasst werden. Die Verteilung natürlicher Quellaustritte liefert bereits Hinweise auf die Grundwasserhydraulik. Grundwassermessstellen hingegen werden gezielt errichtet, so dass der Planer Einfluss auf die räumliche Verteilung hat. Als Fenster zum Untergrund ist jedoch auch die Ausbautiefe einer Grundwassermessstelle von entscheidender Bedeutung. Auf diese Weise ergibt sich eine dreidimensionale Verteilung von Druckzuständen, die verschiedenen Regionen, Grundwasserleitern und Tiefenstufen zugeordnet werden müssen.

IST-ZUSTAND: Das hydrogeologische Messnetz der Schachanlage Asse II verfügt zurzeit über 24 aktive Grundwassermessstellen zuzüglich der abgesoffenen Schächte 1 und 3, welche ebenfalls mit dem Grundwasser in Kontakt stehen und daher als Grundwassermessstellen zu betrachten sind. 2011 hat das BfS alle im Asse-Höhenzug vorhandenen Quellen kartieren lassen (SEIDEL, 2011), so dass bekannt ist, welche der in GSF (1994) beschriebenen Quellen noch aktiv sind bzw. ob Quellen hinzugekommen sind. Zurzeit plant das BfS die Errichtung von drei repräsentativen Quelfassungen, die automatisiert Schüttungsraten und Salzgehalt der Quellen ermitteln sollen.

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILITÄT: Die Verteilung und der Ausbau der im Messnetz verfügbaren Grundwassermessstellen lassen Zweifel an der Eignung des bestehenden Grundwassermessnetzes zur Erfassung der komplexen hydrogeologischen Verhältnisse zu. Aufgrund der langen Filterstrecken in vielen Tiefengrundwassermessstellen ist es vielfach nicht möglich, ein diskretes hydraulisches Potential zu ermitteln. Gemessen werden Mischpotentiale über einen längeren Grundwasserleiterabschnitt bzw. zwischen zwei Grundwasserleitern (hydraulischer Kurzschluss). Auf dieses Defizit des hydrogeologischen Messnetzes wurde bereits in Teil I des Projektplans hingewiesen (BFS, 2012). Neben den Mischpotentialen und hydraulischen Kurzschlüssen sind noch weitere Kriterien zu beachten, welche die Grundwasserspiegelhöhen beeinflussen können. Mit dem Rückbau einzelner Grundwassermessstellen nach Abschluss des hydrogeologischen Erkundungsprogramms Anfang der 1990er Jahre verringerte sich der Datenumfang. Das Messnetz wurde überwiegend in den 1970er und 1980er Jahren errichtet (Tabelle 4). Zum einen sind viele Messstellen zum



Bundesamt für Strahlenschutz

**Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der
geologischen und hydrogeologischen
Standorterkundung
der Schachtanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 23 von 40
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.11.2016
9A	22000000	H	RZ	0004	00		

Abschluss des hydrogeologischen Forschungsprogramms zurückgebaut worden, zum anderen haben sich die Anforderungen an das hydrogeologische Messnetz geändert.

Tabelle 4: Baujahre der Grundwassermessstellen aus (COLENCO, 2006). Fett gedruckt: Messstellen des aktuellen hydrogeologischen Messnetzes mit neuen Bezeichnungen.


Baujahr	Messstellen/Bohrung
1970	H3 (GW-003) , H4
1971	H1 (GW-001) , H2 (GW-002) , H5 (GW-004) , H6 (GW-005) , H7 (GW-006) , H11, H12, H13
1972	H9 (GW-007) , H10, H14 (GW-008) , H16 (GW-009) ,
1973	H15, H15a, H18, H18a, H19, H19a
1974	H17 (GW-010) , H17a
1978	H8-1, H8-2, H8-3, H21, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 (GW-013) , P10, P11, P12
1984	R5 (GW-018)
1985	H22, H24, H24a, H24b (GW-012) , P13 (GW-014) , P14, P15 (GW-015) , P16 (GW-016) , R6* (GW-019) , R9
1986	H23 (GW-011) , H25, H25a, P17 (GW-017) , R7 (GW-020) , R8 (GW-021)
2008	PN1 (GW-022)
2009	PN2 (GW-023)

**Die Grundwassermessstelle ist noch nicht zurückgebaut, jedoch defekt und daher nicht mehr Teil des hydrogeologischen Messnetzes*

Wesentliche Änderungen der Anforderungen an das hydrogeologische Messnetz erfolgten erst ab 1988 und damit erst nach Errichtung des Messnetzes.

Hierzu zählen:

- Lösungszutritt in die Schachtanlage: Als das hydrogeologische Messnetz installiert wurde, war der Hauptlösungszutritt noch nicht bekannt (seit 1988). Dementsprechend ist das Messnetz auf die Frage nach der Herkunft des Lösungszutritts nicht ausgerichtet.
- Transportmodellierung: 1995 wurde der Beschluss gefasst, die Schachtanlage Asse II zu verschließen. Infolge dessen wurden die Arbeiten zur Erstellung eines Langzeitsichernachweises begonnen. Die Arbeiten beinhalteten auch die Transportmodellierung im Grundwasser des Deckgebirges für verschiedene Ausbreitungspfade (AF-COLENCO, 2009). Da die Art der Schließung zum Zeitpunkt noch nicht feststanden hat, ist das hydrogeologische Messnetz hierfür nicht ausgelegt.
- Interpretation der geologischen Strukturelemente und die daraus abgeleiteten Schwerpunkte: Nach GSF (1994) wurden die Schwerpunktgebiete für die Untersuchung wie folgt eingeteilt: die Zone östlich

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 24 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016	

der Schachanlage Asse II mit der Diagonalstörung Groß Vahlberg, Quertal von Wittmar/Asse I, NW-Abschluss der Asse-Struktur (Groß Denkte), Verstärktes Deckgebirge, Unterer Muschelkalk der Südflanke. Die Unterteilung berücksichtigt die geologische Karte nach WEINBERG (1990). Im Zuge der aktuellen Revisionskartierung wird diese Struktureinteilung nicht mehr vorgenommen, da bspw. Strukturen wie das so genannte „verstärktes Deckgebirge“ nicht mehr als tektonische Einheit angesehen wird.


Bei der Verteilung der noch aktiven Messstellen ergibt sich ein Cluster im Bereich der Schachanlage Asse II. Dieses Cluster täuscht darüber hinweg, dass vor allem an der Südflanke in den R-Bohrungen keine oberflächennahen Grundwasserspiegel, sondern ausschließlich Druckpotentiale in größeren Tiefen erfasst werden. Aufgrund fehlender Quellen ist die Lage der Grundwasseroberfläche vor allem südlich der Schachanlage Asse II nur vage zu beschreiben. Dieser Umstand verdeutlicht, dass das Grundwassermessnetz nicht nur bei der räumlichen Verteilung an der Oberfläche, sondern auch bei der Verteilung der Filterbereiche auf verschiedene grundwasserführende Schichten an ein und derselben Lokation zu optimieren ist.

Grundwassergleichenpläne, wie sie zuletzt in AF-CONSULT (2014) dargestellt wurden, sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Die Lage von unterirdischen Wasserscheiden ist aufgrund der ungleichmäßigen Verteilung von Grundwassermessstellen nur schwer festzulegen. Die bisher nicht plausibel zu erklärende Koexistenz von Grundwassermessstellen mit Tendenz zu fallenden bzw. steigenden Grundwasserspiegelhöhen in unmittelbarer Nähe zueinander erschwert die Interpretation der Grundwasserhydraulik. Für die stark mineralisierten Wässer muss eine Dichtekorrektur der Grundwasserspiegelhöhen vorgenommen werden. Hierfür ist ein Dichteprofil der Wassersäule in der Grundwassermessstelle erforderlich. Die Verfügbarkeit von Dichte-Logs ist begrenzt, so dass hier eine weitere Unsicherheit besteht, da teilweise auf ältere Daten zurückgegriffen werden muss, deren Übertragbarkeit auf die heutige Beschaffenheit der Wassersäule fraglich ist. Die kontinuierliche Durchführung von Dichte-Logs wurde in BFS 2012 empfohlen und soll nach geplanter Neuordnung des hydrogeologischen Messnetzes umgesetzt werden.

Bezüglich der Grundwasserhydraulik ergibt sich für den Höhenzug aufgrund der großen Tiefen das Problem, dass hier ohne saubere Trennung von Grundwasserstockwerken bzw. -leitern Daten von verschiedenen, ursprünglich getrennten Grundwassersystemen zusammengefasst und entsprechend fehlerhaft ausgewertet werden. So kann sich z.B. in ein und demselben Grundwasserleiter ein in oberflächennahen Bereichen eigenständiger Grundwasserumsatzraum mit hoher Dynamik ausbilden, welcher einen tieferen Grundwasserumsatzraum mit hoher Mineralisierung und geringer Dynamik überlagert. Aufgrund der geologischen Situation an der Asse mit steil gestellten Grundwasserleitern und mehreren Störungssystemen ist es ebenfalls möglich, dass das Grundwasser so gut wie keiner Dynamik unterliegt und in entsprechenden geologischen Fallenstrukturen gespeichert ist („trapped groundwater“). Zur Beurteilung der Grundwasserhydraulik muss die Trennung der verschiedenen Grundwasserumsatzräume möglich sein, was durch das vorhandene Grundwassermessnetz nur bedingt möglich ist.

Im Rahmen eines Messstellenfunktionstests (ASSE-GMBH, 2014) wurde jede einzelne Grundwassermessstelle mit bohrlochgeophysikalischen und hydrogeologischen Tests auf ihre Tauglichkeit untersucht. Dabei stellt sich heraus, dass einige Messstellen aufgrund von Beschädigungen oder Ausbaufehlern saniert, in einigen Fällen auch ganz aufgegeben werden müssen.

DEFIZIT: Für die Beschreibung der Grundwasserhydraulik und die Darstellung in Grundwassergleichenplänen sind Grundwassermessstellen mit entsprechend kurzen Filterstrecken und in ausreichender Zahl und räumlicher Verteilung notwendig. Messstellen mit kurzen Filterstrecken sind im Messnetz in einer zu geringen Zahl vorhanden, so dass der aktuelle Grundwassergleichenplan (AF-CONSULT 2014) mit entsprechenden

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II					
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 25 von 40			
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN				
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016			


Unsicherheiten behaftet ist. Die heutige Verteilung der noch aktiven Messstellen ist unabhängig vom baulichen Zustand nicht mit den Anforderungen an den Kenntnisstand in Einklang zu bringen, die in der heutigen Situation für die Asse erforderlich sind. Hierzu zählen verlässliche Daten zur Identifizierung derjenigen geologischen Einheiten, aus denen der Lösungszutritt im Grubengebäude potentiell gespeist wird bzw. die einen Teil des Transportpfades darstellen. Bei Änderungen der geologischen Modellvorstellung über die strukturellen Einheiten des Deckgebirges ist ebenfalls eine Anpassung des hydrogeologischen Messnetzes erforderlich. Zur Behebung des Defizits wird zurzeit ein so genanntes „Schattenmessnetz“ entworfen, welches die genannten Anforderungen umfassend berücksichtigt und welche die Planungsgrundlage für die Erweiterung des hydrogeologischen Messnetzes darstellen wird, die mit Augenmaß und Effektivität zu gestalten ist.

3.3.3 Hydrochemische Zusammensetzung des Grundwassers

ANFORDERUNGEN: Die hydrochemische Zusammensetzung des Grundwassers ist von grundlegender Bedeutung für die hydrogeologische Systembeschreibung. Genese, Herkunft, Fließpfade, Wechselwirkungen mit anderen Wässern sowie der Eintrag von Niederschlagswässern (Grundwasserneubildung) hinterlassen Spuren bei der chemischen Zusammensetzung. Eine umfangreiche Analyse möglichst viele Parameter sind dabei hilfreich, den hydrochemischen „Fingerabdruck“ eines Grundwassers zu interpretieren. Aufgrund von chemischen, physikalischen und auch biologischen Prozessen unterliegt die hydrochemische Zusammensetzung Veränderungen, so dass nicht zu erwarten ist, allein durch eine Vielzahl gemessener Parameter eine Aussage zu den genannten Einflussfaktoren machen zu können. Je umfangreicher jedoch die Datenbasis ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass durch Vergleiche, der Identifikation bestimmter Muster und grundwasserleiterspezifischer Charakteristika ein deutlicheres Bild der Genese und Herkunft der verschiedenen Grundwässer entsteht. Dabei sind die Erkenntnisse aus den Untersuchungen zur Grundwasserhydraulik mit einzubeziehen. Ein besonderes Augenmerk gilt den stabilen und natürlichen radioaktiven Isotopen, die als Umweltisotope (ohne gesteuerten Eintrag) im Wasserkreislauf verfügbar sind und die Rückschlüsse auf Herkunft und Verweildauer verschiedener Grundwässer zulassen.

IST-ZUSTAND: Der vorherige Betreiber hat Grundwasserproben entnommen, so dass eine entsprechende Datenbasis zur Verfügung steht. Ebenso wurden nach Übernahme der Schachanlage durch das BfS weitere Proben entnommen und die Ergebnisse der bestehenden Datenbasis hinzugefügt. Die aktuellste Darstellung der verfügbaren hydrochemischen Datenbasis ist in AF-CONSULT (2014) dargestellt.

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILITÄT: Der in BFS (2012) angesprochene und durch ASSE-GMBH (2014) bestätigte schlechte Zustand der Grundwassermessstellen und das Eindringen von Oberflächenwasser wirkt sich auf die Grundwasserzusammensetzung aus. Vor allem Parameter, die sensitiv auf die Anwesenheit von Sauerstoff reagieren (u.a. Eisen und Nitrat), werden nachhaltig verändert und spiegeln nicht die Verhältnisse im Grundwasserleiter wieder. Auch für die Verwendung von Isotopen zur Altersdatierung oder zur Bestimmung der Herkunft/Genese der Wässer ist der Eintrag von sauerstoffreichem Oberflächenwasser schädlich. In größeren Tiefen ist aufgrund des mikrobiellen Abbaus kein freier Sauerstoff mehr zu erwarten. Eine Belüftung des Grundwassers auf natürliche Weise ist nicht zu erwarten, soweit es sich nicht um oberflächennahe Grundwasserleiter oder tiefgreifende Karstsysteme handelt. Die in vielen Grundwassermessstellen gemessenen Sauerstoffgehalte sind auf Quellen außerhalb des Grundwasserleiters zurückzuführen (u.a. eindringende Niederschlagswässer, Äquillibrierung des Standwassers mit der Atmosphärenluft). Die Mischungsrate von eindringendem Niederschlagswasser lässt sich über den Anteil an Tritium und tritiogenen Helium-3 in der Grundwasserprobe abschätzen, soweit davon ausgegangen werden kann, dass das zu probierende Grundwasser selbst Tritium-frei ist. In BFS (2012) wurde daher empfohlen, soweit wie möglich

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 26 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016	

Pumpen für die Grundwasserprobenahme einzusetzen, um das Standwasser aus der Messstelle zu entfernen und den Einsatz von Schöpfern auf tiefe Messstellen zu reduzieren. Bei einer im Herbst 2015 stattgefundenen Probenahme an der Messstelle PN2 (GW-023) konnte nach dem 3fachen Abpumpen des Messstellenvolumens kein freier Sauerstoff mehr nachgewiesen werden.

Es ist allerdings auch zu beachten, dass einige Grundwasserleiter eine geringe Durchlässigkeit aufweisen, so dass eine geringe Durchströmung der Messstellen erfolgt. Höhere Durchströmungsraten würden sich in jedem Falle positiv auf die Qualität von entnommenen Wasserproben insbesondere bei der Verwendung von Schöpfern auswirken. Dem Einsatz von Pumpen sind Grenzen gesetzt, da aufgrund der geringen Zuflussraten es zu erhöhten Absenkungen beim Pumpen kommt. Je nach Bauart können die Pumpen jedoch nur eine eingeschränkte Distanz zwischen Wasserspiegel und Geländeoberkante (Flurabstand) überwinden. Die unterschiedlichen Ausbaudurchmesser der Grundwassermessstellen schränken teilweise die Nutzung bestimmter Pumpentypen ein. Beim Bau neuer Grundwassermessstellen muss man sich daher der Herausforderung stellen, dass kurze Filterstrecken gewählt werden, um ein diskretes hydraulisches Potential zu erhalten. Da aufgrund von geringen Durchlässigkeiten einige Grundwassermessstellen kaum durch Grundwasser angeströmt werden, kommt es beim Abpumpen zu erheblichen Grundwasserabsenkungen, bei denen die Pumpen schnell trocken fallen können. In diesem Fall sind nur geringe Pumpraten möglich, wodurch wiederum die Pumpdauer erheblich erhöht wird.

Es ist im Gegensatz zu den Grundwasserproben davon auszugehen, dass die meisten an der Asse entnommenen Quellwasserproben die Beschaffenheit des Grundwassers unverfälscht wiedergeben. Diese Proben repräsentieren allerdings überwiegend oberflächennahes Grundwasser (Alter < 20 Jahre) mit einer Beimengung von Grundwässern aus tieferen Bereichen (Tritium-frei), so dass Rückschlüsse auf die hydrochemische Beschaffenheit der tieferen Grundwasserbereiche mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet sind.

DEFIZIT: Um Aussagen über die hydrochemische Beschaffenheit des Grundwassers zu treffen bedarf es analog zur Bewertung der Grundwasserhydraulik geeigneter Messstellen, von denen es aufgrund der bisher bereits erkannten Mängel derzeit zu wenig im bestehenden Messnetz gibt. Quellen mit relevanter Schüttungsrate sollen mit in das Grundwassermessnetz integriert werden, um hier weitere zuverlässiger Daten zu erhalten. Es ist wichtig, das Messnetz zu erneuern, damit zuverlässige Daten in akzeptabler räumlicher Verteilung für verschiedene Grundwasserleiter und für die verschiedenen Tiefenbereiche der Grundwasserleiter erzeugt werden können. Sämtliche hierzu erforderliche Daten sollten in einer Datenbank zusammengefasst werden.

3.3.4 Wasserhaushalt

ANFORDERUNGEN: Die Bewertung des Wasserhaushalts ist ein wichtiger Bestandteil des Systemverständnisses bezüglich der hydrogeologischen Verhältnisse. Dabei wird der hydrogeologische Umsatzraum durch eine Bilanzierung von Zuströmen und Abflüssen konkretisiert. Im Höhenzug Asse findet Grundwasserneubildung statt, wobei ein Teil der versickernden Niederschläge nach vergleichsweise kurzer Verweilzeit im Untergrund wieder aus dem System über die Vorfluter abfließt. Ein Teil des salinaren Grundwassers tritt in die Schachanlage Asse II ein. Betrachtungen zum Wasserhaushalt müssen die bekannten Zu- und Abflüsse quantifizieren, damit eine Bilanz erfolgen kann. Hierbei soll auf den ersten Teil des Projektplans (BFS, 2012) verwiesen werden, inwiefern die einzelnen Teileinzugsgebiete im Asse-Höhenzug festgelegt werden können, um die Abflussmengen des Höhenzugs Asse von Klein Vahlberg bis Groß Denkte erfassen zu können. Des Weiteren sind zur Beurteilung des Wasserhaushalts



Bundesamt für Strahlenschutz

Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachtanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 27 von 40
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 28.11.2016
9A	22000000	H	RZ	0004	00		

Grundwasserabflüsse in die Vorflut sowie Zu- und Abflüsse in die Schachtröhren der Schächte 1 und 3 sowie in die Schachtanlagen I und II zu berücksichtigen. Die einzelnen Komponenten des Wasserhaushalts sind in Tabelle 5 als Übersicht aufgelistet.

Tabelle 5: Komponenten des Wasserhaushalts, die derzeitige Erfassung (Ist-Zustand) und der weitere Bedarf zum Erreichen des Soll-Zustandes zur Beurteilung des Wasserhaushalts.

Komponente	Derzeitige Erfassung/Verfügbarkeit von Daten	Weiterer Bedarf
Niederschlag, Evapotranspiration	Wetterstation Asse (kontinuierlich), Datenabfrage Deutscher Wetterdienst nahe gelegener Wetterstationen (kontinuierlich)	Kein weiterer Bedarf
Abfluss	Pegel Wendessen des NLWKN (kontinuierlich)	Pegel im Anstrom (bei Groß Vahlberg), Abflussmessungen an kleineren Vorflutern wie z.B. Rothebach und Bleier Graben (alle Abflussmessungen sollen kontinuierlich erfolgen)
Quellschüttungen	keine aktuelle Erfassung, ältere Messreihen verfügbar	Bau von Messwehren an repräsentativen Quellen zur kontinuierlichen Überwachung der Schüttungsraten
Abflüsse von Grundwasser in den Vorfluter Altenau	Daten aus Sondermessprogramm des BfS verfügbar (Einzelkampagne, verwendete Parameter: Radon-222, spezifische elektrische Leitfähigkeit)	Wiederholung der Messungen bei verschiedenen Abflussverhältnissen unter Beibehaltung der gewählten Parameter, ggf. Ergänzung durch Pegelmessungen /Messungen mit Seepage-Metern.
Grundwasserspiegel	Die Grundwasserspiegel aller Grundwassermessstellen werden durch Druckaufnehmer und Handmessungen kontinuierlich überwacht	Neue Grundwassermessstellen müssen ebenfalls mit Dataloggern ausgestattet werden.
Wechselwirkung Grundwasser/Bergwerk Asse I	Grundwasserzufluss in die Schachtröhre von Asse I vorhanden, der Wasserspiegel in der Schachtröhre wird kontinuierlich überwacht	Eine Interaktion zwischen Grundwasser und Schacht Asse 1 ist nachgewiesen. Die Mechanismen der Interaktion zwischen Grundwasser und Schachtröhre sowie dem wassererfüllten Grubengebäude Schachtanlage Asse I ist weitestgehend unbekannt. Es besteht daher Erkundungsbedarf.



Bundesamt für Strahlenschutz

Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachtanlage Asse II


Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 28 von 40
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016

Komponente	Derzeitige Erfassung/Verfügbarkeit von Daten	Weiterer Bedarf
Wechselwirkung Grundwasser/Bergwerk Asse II	Der Grundwasserzufluss in die Grube der Schachtanlage Asse II wird kontinuierlich erfasst	Weiterer Bedarf entsteht, wenn weitere Grundwasseraustritte im Grubengebäude festgestellt werden
Wechselwirkung Grundwasser/Bergwerk Asse III	Der Wasserspiegel in der Schachtröhre wird kontinuierlich überwacht.	Eine Interaktion zwischen Grundwasser und Schacht Asse 3 ist nachgewiesen. Die Mechanismen der Interaktion zwischen Grundwasser und Schachtröhre sowie dem wassererfüllten Grubengebäude Schachtanlage Asse I ist weitestgehend unbekannt. Es besteht daher Erkundungsbedarf.

IST-ZUSTAND: Der Asse-Höhenzug gehört weitestgehend zum Abflusssystem der Weser, nur ein geringer Teil der Abflüsse gelangt zur Elbe. Verfügbar sind Abflussdaten der Altenau am Pegel Wendessen, der durch den Niedersächsischen Landesbetrieb für Küsten- und Naturschutz (NLWKN) betreut wird. Weitere Pegel stehen nicht zur Verfügung. Im Verlauf der hydrogeologischen Erkundung wurden in den 1980er und 1990er Jahren kurze Messreihen mit Handmessungen von Abflüssen erhoben. Die Schachtanlage Asse II verfügt über eine Wetterstation, welche kontinuierlich die regionalen Klimadaten aufzeichnet, so dass Daten über Niederschlag und Verdunstung vorliegen.

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILITÄT: Die Verwendung historischer Daten für die Bilanzierung des Wasserkreislaufs ist nicht zulässig, zumal sich durch die vereinzelt Handmessungen keine verlässliche Ganglinie ermitteln lässt, welche für eine Bilanzierung benötigt wird. Aktuelle Klimadaten und Abflüsse werden zurzeit noch nicht zur Wasserhaushaltsbilanzierung herangezogen. Der Pegel Wendessen allein reicht nicht aus, um den Abfluss vom Höhenzug Asse zu ermitteln, da zum einen einige Abflüsse vom Höhenzug Asse nicht durch diesen Pegel erfasst werden und zum anderen keine Daten zum Abfluss der Altenau vorliegen, bevor sie den Höhenzug Asse passiert. Für die Bilanzierung des Wasserhaushalts kommen nur kontinuierliche Messungen in Frage, damit die Unsicherheiten bei der Bilanzierung nicht zu groß werden. Auch das Grundwassermessnetz liefert Daten zum Wasserhaushalt, wobei hier die Grundwasserstände aufgrund der beschriebenen Mängel am Grundwassermessnetz einer kritischen Analyse unterzogen werden müssen. Es ist zu beachten, dass im Höhenzug Asse sowohl Grundwassermessstellen mit tendenziell fallenden, aber auch mit tendenziell steigenden Grundwasserständen vorhanden sind.

Der hydraulische Einfluss der Schachtanlagen I, II und III auf das Grundwasser ist weiterführend zu untersuchen. Weitestgehend erwiesen ist, dass die Schächte 1 und 3 einen Grundwasserkontakt aufweisen und das Grundwasser in die Schachtanlage Asse II eindringt. Inwiefern diese hydraulischen Kontakte in Bezug auf das Gesamtsystem Asse quantitativ ins Gewicht fallen, lässt sich zurzeit nur für die Schachtanlage Asse II abschätzen. Die Zutrittsmengen sind in diesem Fall bekannt, sofern nicht unbemerkt weitere Zutritte aus dem Deckgebirge in die Schachtanlage erfolgen. Hierfür gibt es zurzeit keine Erkenntnisse. Da die Schachtanlagen Asse I und III sowie die Schachtröhren der Schächte 1 und 3 wassergefüllt und nicht zugänglich sind, ist eine quantitative Abschätzung der Zu- und Abflüsse nicht möglich. Für Schacht 1 ist vor allem die Besonderheit zu beachten, dass innerhalb eines Zeitraums von 7 bis 8 Jahren der Wasserspiegel in der Schachtröhre schlagartig um mehrere Meter absinkt, wobei unklar ist, in welchen Bereich des Grundwasserleitersystems die Wassermenge abfließt.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 29 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016	


DEFIZIT: Für die Wasserhaushaltsbilanzierung existiert nur ein Teil der benötigten Datenbasis. Um die Abflüsse vom Höhenzug Asse zu bilanzieren, müssen zusätzliche Messwehre installiert werden. Die Sanierung und Modernisierung des bestehenden hydrogeologischen Messnetzes ist ebenfalls notwendig, um hier die Datenbasis zu verbessern. Die Wasserhaushaltsbilanzierung stellt zusammen mit der hydrochemischen Bewertung der Grundwässer einen wichtigen Beitrag zum Systemverständnis der im Asse-Höhenzug vorkommenden Grundwasserumsatzräume dar, so dass auf sie nicht verzichtet werden kann. Der Einfluss der Schachanlagen Asse I und Asse III bzw. deren Schachröhren 1 und 3 muss durch gezielte hydrogeologische Untersuchungen überprüft werden, um Aussagen über die Relevanz des Grundwasserkontaktes dieser Anlagen für das Gesamtsystem zu treffen.

3.3.5 Zustand von Messstellen

ANFORDERUNGEN: Baulich sollten Grundwassermessstellen im einwandfreien Zustand sein, so dass Oberflächenwasserzutritte sowie hydraulische Kurzschlüsse (Verbindung von zwei natürlicherweise voneinander getrennten Grundwasserleitern, die erst durch eine Messstelle miteinander verbunden werden) auszuschließen sind. Die Filterstrecken haben nur eine kurze, im Idealfall nur wenige Meter messende Länge, so dass der gemessene Grundwasserdruckspiegel der entsprechenden Tiefe zugeordnet werden kann bzw. tiefenorientierte Grundwasserproben entnommen werden können.

IST-ZUSTAND: Die ältesten Grundwassermessstellen sind über 40 Jahre alt. Einige Messstellen weisen lange Filterstrecken (mehrere 10er-Meter) auf und wurden als so genannte Multi-Level-Messstellen (mehrere durch Blindrohre voneinander Filterstrecken zur Erfassung mehrerer Grundwasserleiter in einer Messstelle) errichtet. Verwendet wurden vor allem für die tiefen Grundwassermessstellen (R-Bohrungen) Stahlausbauten, welche im Salzwasser der Korrosion ausgesetzt sind. Die Grundwassermessstelle R6 ist wahrscheinlich durch gebirgsmechanische Einwirkungen oberhalb der Filterstrecke beschädigt wurden, so dass ein Fremdwasserzutritt nicht auszuschließen ist.

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILITÄT: Es bestehen erhebliche Zweifel über die Funktionstüchtigkeit der Grundwassermessstellen. Anhaltspunkte für technische Mängel sind u.a. durch das hydraulische Verhalten der Messstelle (Grundwasserganglinie), durch die chemische und isotonenphysikalische Signatur der beprobten Grundwässer, sowie durch offensichtliche Fehler beim Ausbau (Filterstrecken, undichte Brunnenstuben etc.) gegeben. Die z.T. langen Filterstrecken und die damit verursachten hydraulischen Kurzschlüsse zwischen verschiedenen grundwasserführenden Schichten erzeugen Mischpotentiale, die keinen tiefen- und formationsspezifisches hydraulisches Potential anzeigen und dementsprechend unbrauchbar sind. Die Filterstrecken sollen entsprechend DVGW Arbeitsblatt W121 (DVGW, 2003) je nach Aufgabenstellung so kurz wie möglich gehalten werden. Neben Grundwassermessstellen mit langen Filterstrecken sind auch mehrfach verfilterte Messstellen vorhanden, die mehrere Grundwasserleiterabschnitte oder auch Grundwasserleiter erfassen, die durch Blindrohre bzw. Tonsperren im Ringraum voneinander getrennt sind. (Multi-Level-Messstellen). Diese Messstellen sind im Gegensatz zu Messstellengalerien, bei denen sich mehrere Messstellen mit verschiedenen Filtertiefen und in jeweils einem separaten Bohrloch an einem Standort befinden, nicht Stand von Wissenschaft und Technik. Bei Multi-Level-Messstellen können zwar durch Packersysteme einzelne Filterbereiche zwecks Probenahme und hydraulischer Tests voneinander getrennt werden, in der übrigen Zeit jedoch kann je nach Potentialunterschied ein Wasseraustausch zwischen verschiedenen Grundwasserleitern bzw. –stockwerken stattfinden. Hierbei ist eine Verfälschung der Analyseergebnisse wahrscheinlich: Bei dem Zusammentreffen von Grundwässern mit verschiedener chemischer Zusammensetzung kommt es zu chemischen Reaktionen, so dass das Mischwasser eine eigene hydrochemische Signatur annimmt, die unter natürlichen Verhältnissen nicht vorkommt. Durch das Eindringen von Fremdwasser in einen Grundwasserleiter mit einem erheblich niedrigeren Potential als der

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 30 von 40 Stand: 28.11.2016	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00		

Grundwasserleiter, aus dem das eindringende Wasser stammt, ist eine Fehlinterpretation der hydrochemischen Verhältnisse die Folge.

Auch ohne Berücksichtigung der langfristigen Entwicklung in Multi-Level-Messstellen besteht bei dem Einsatz von Packern ein hohes Fehlerpotential: Sind die Abschnitte zwischen den Filterstrecken zu kurz, dann ist eine Trennung der einzelnen Filterabschnitte nicht mehr zu gewährleisten. Auch fehlerhaft eingebaute Tonsperren können die Ursache für fehlerhafte Analysen und Ergebnisse von hydraulischen Tests sein.

Die Messstellen PN 1 (Neue Bezeichnung: GW-022) und PN2 (Neue Bezeichnung: GW-023) sind als Messstellenbündel ausgebaut worden. Bei dieser Art des Ausbaus befinden sich mehrere Peilrohre mit verschiedenen Filtertiefen in einem Bohrloch. Die Filterstrecken sind durch Tonsperren voneinander getrennt. Im Falle der genannten Messstellen handelt es sich um jeweils zwei Peilrohre mit jeweils einer Filterstrecke, die durch eine über 100 m lange Tonsperre voneinander getrennt werden. Die Schwachstelle bei diesen Messstellen ist der Bereich, in dem die Messstelle mit der oberflächennahen Filterstrecke verfiltert ist. Tritt in diesem Bereich eine Beschädigung des Peilrohrs mit der tiefer gelegenen Filterstrecke auf, entsteht über die Kiesschüttung ein hydraulischer Kurzschluss. Nach ASSE-GMBH (2014) ist dies bei der Messstelle PN 2 der Fall. Hierdurch wird deutlich, dass auch Messstellenbündel keine optimale Lösung darstellen, sondern ebenfalls -wenn auch nur aufgrund von Beschädigungen oder aufgrund eines fehlerhaften Ausbaus- ein Risiko für fehlerhafte Grundwasseranalysen bzw. hydraulische Tests und Wasserstandsmessungen besteht.

Einzig die Messstellengalerien schließen die zusätzlichen Risiken aus, es sei denn, es wurden Fehler beim Abschlussbauwerk oder bei der Ringraumschüttung begangen. Durch die Errichtung mehrerer Bohrlöcher sind hier jedoch weitaus höhere Kosten als bei Multi-Level-Messstellen oder Messstellenbündel zu erwarten. Die einzige Messstellengalerie im hydrogeologischen Messnetz Asse wurde nach Abschluss des hydrogeologischen Erkundungsprogramms Anfang der 1990er Jahre verfüllt (H8 mit den Peilrohren 1, 2 und 3).

Des Weiteren ist es möglich, dass Messstellen zwar nach Stand noch von Wissenschaft und Technik geplant waren, der Ausbau jedoch mangelhaft durchgeführt wurde. Häufige Ausbaumängel sind undichte Rohrübergänge (unzureichend verschraubt), fehlerhafte Abschlussbauwerke, die das Eindringen von Oberflächenwasser ermöglichen und fehlerhaft geschüttete Ringraumverfüllungen.

Auch aufgrund ihres Alters können die Messstellen des hydrogeologischen Messnetzes Defekte aufweisen, welche die Messwerte verfälschen. Einige der Grundwassermessstellen sind über 40 Jahre alt. Bei Stahlausbauten ist der Einfluss der Korrosion ein erheblicher Faktor bei nachträglich entstandenen Schäden an älteren Grundwassermessstellen. Schäden durch Gebirgsbewegungen sind z.B. bei der Grundwassermessstelle R6 bekannt. Durch den bereits erwähnten Eintrag von Sauerstoff kann zu Ausfällungen vor allem von Eisen- und Manganverbindungen kommen, welche die Öffnungen in der Filterstrecke verstopfen (Verockerung). Auch durch Ausfällung von Salzen bei hochsalinaren Grundwässern kann es zu einer Verstopfung des Filterbereichs kommen (Clogging).

Jede einzelne Grundwassermessstelle muss auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft werden. Zu diesem Zweck werden die vorhandenen Messdaten (AF-CONSULT 2014) und die Ergebnisse des Messstellenfunktionstests (ASSE-GMBH, 2014) zusammengefasst und ausgewertet. Die Auswertung soll nach den in Tabelle 6 zusammengefassten Bewertungskriterien durchgeführt werden.



 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II					
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.			Seite: 31 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN				
9A	22000000	H	RZ	0004	00			Stand: 28.11.2016	

Tabelle 6: Bewertungskriterien zur Funktionalität bzw. Eignung der Grundwassermessstelle

Bewertungskriterium	Erkannte Mängel/Auffälligkeiten	Relevanz für Funktionsfähigkeit / Gebrauchstauglichkeit der Messstelle (gering-mittel-hoch)
(1) Ausbauschäden	z.B. durch Korrosion entstandene Löcher	Hohe Relevanz bei verstärktem Zutritt von Fremdwasser
(2) Ausbaufehler	z.B. falsch gesetzte Tonsperren	hoch, wenn hydraulische Kurzschlüsse zwischen zwei Grundwasserleitern die Folge sind
(3) Art des Ausbaus	z.B. zu lange Filterstrecken	hoch, da ein kein diskretes Druckpotential gemessen wird, sondern nur ein Mischpotential über mehrere Tiefenstufen, es ist keine teufenorientierte Probenahme möglich
(4) Hydraulische Auffälligkeiten	z.B. starke Vertikalströmungen	hoch, da es zu einer Mischung verschiedener Wässer innerhalb einer Messstelle kommt.
(5) Zeitliche Entwicklung der Hydrochemie	z.B. zunehmende Aussüßung durch Oberflächenwasser	hoch, das Wasserstand und chemische Zusammensetzung beeinflusst werden.
(6) Isotopen-physikalische Auffälligkeiten	z.B. inkonsistente Ergebnisse von verschiedenen Datierungsmethoden	hoch, wenn bei einer Datierung mit verschiedenen Isotopentracer gleichzeitig sehr junges und sehr altes Wasser ermittelt wird
(7) Verhalten der Grundwasserganglinie	z.B. eine Abbildung von Niederschlagsereignissen in Tiefenmessstellen	hoch, da die Messstelle durch Oberflächenwasser bzw. oberflächennahes Wasser beeinflusst wird.
(8) Verfügbare Dokumentation	z.B. fehlende oder falsche Ausbaudaten	hoch, wenn dieses Informationsdefizit Fehlinterpretationen zur Folge hat.

Die Bewertung ist die Basis für die Entscheidung für die Aufgabe und den Rückbau einzelner Grundwassermessstellen. Beim Neubau von Grundwassermessstellen sind der Stand von Wissenschaft und Technik sowie aktuelle Regelwerke wie z.B. DVGW (2003) zu beachten.

DEFIZIT: Ein Teil der Grundwassermessstellen ist bauartbedingt ungeeignet für die Ermittlung von diskreten Grundwasserdruckpotentialen und die qualifizierte Probenahme für die hydrochemische Analyse. Geeignete Grundwassermessstellen sollten erhalten bzw. ggf. saniert werden. Ungeeignete Messstellen sollten fachgerecht zurückgebaut und durch neue, nach Stand von Wissenschaft und Technik errichteten Messstellen mit kurzen Filterstrecken und ohne hydraulische Kurzschlüsse ersetzt werden.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 32 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016	

3.4 GEOCHEMIE

Die Erfassung geochemischer Prozesse in ihrer gesamten Komplexität bedarf einer intensiven Bearbeitung der Rohdaten, die im Rahmen der Standortüberwachung erfasst werden. Die Komplexität ist u.a. den Wechselwirkungen zwischen Flüssig-, Gas- und Festphase geschuldet, aber auch die hohe Mineralisierung der Lösungen sowie Fluidmischungen erhöhen die Komplexität. Die Schachanlage Asse II verfügt über ein umfassendes Lösungsmanagement zur Erfassung von Mengen und chemischer Zusammensetzung (Verteilung von Anionen und Kationen, Darstellung im Jänecke-Diagramm) der im Grubengebäude gefassten Lösungen. Dieses Lösungsmanagement dient der Sicherheit des Grubenbetriebs, da Veränderungen, welche die Sicherheit der Schachanlage Asse II gefährden könnten, erfasst werden. Ein Gefährdungspotential geht z.B. von an bestimmten Mineralen untersättigten Lösungen aus, welche im Kontakt mit dem jeweiligen Gestein dieses auflösen und zur Destabilisierung des Grubengebäudes beitragen können bzw. Migrationspfade für Lösungen bilden/erweitern, so dass auch bisher trockene Bereiche des Grubengebäudes durchfeuchtet werden. Dieser Prozess ist vor allem im Bereich der Einlagerungskammern äußerst problematisch, da hierbei mit Radionukliden kontaminierte Lösungen entstehen können.


Aufgrund der Datenmenge ist es im Rahmen der Standortüberwachung nicht möglich, weitergehende Untersuchungen z.B. über die Herkunft der Wässer in das Lösungsmanagement zu integrieren. Daher ist eine Weiterverwertung der Daten im Rahmen der Standorterkundung geboten.

3.4.1 Lösungen im Grubengebäude

ANFORDERUNGEN: Im Grubengebäude sind sämtliche Lösungsstellen zu registrieren, die Mengen zu ermitteln und die hydrochemische Zusammensetzung zu überwachen. Die zeitliche Veränderung von Menge und Beschaffenheit liefert wichtige Informationen über Herkunft und Genese der gefassten Lösungen. Isotopendaten liefern zusätzliche Erkenntnisse. Hierbei sind vor allem die Randbedingungen zu beachten, die Einfluss auf Lösungsmengen und hydrochemische Beschaffenheit der Lösungen haben könnten wie z.B. betriebliche Arbeiten, Luftfeuchtigkeit, Temperatur und die Wetterführung im Allgemeinen. Für die Sicherheit der Schachanlage ist es vor allem wichtig, zutretende Grundwässer zu identifizieren und diese von anderen Wässern zu unterscheiden (salzstockinterne Wässer, Wetterlösungen, betriebliche Lösungen).

IST-ZUSTAND: Durch das in der Schachanlage Asse II durchgeführte Lösungsmanagement und das Salzlösungsmonitoring steht eine breite Datenbasis zur Verfügung, so dass die genannten Anforderungen weitestgehend erfüllt sind. Vor allem kontinuierlich schüttende Messstellen eignen sich für statistische Verfahren wie z.B. die Erstellung von Zeitreihenanalysen der gefassten Mengen. Diese werden zurzeit erstellt und durch neu hinzukommende Daten permanent erweitert.

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILITÄT: Die Luftfeuchtigkeit im Grubengebäude spielt für die chemische Zusammensetzung und für die Isotopenphysik der gefassten Lösungen eine erhebliche Rolle. Über die Wetterführung wird z.B. Tritium aus dem Bereich der Einlagerungskammern durch das Grubengebäude transportiert, welches sich vor allem in stehenden Lösungen bedeutsam anreichert und die natürliche Tritiumkonzentration im Niederschlag übersteigt. Gleichzeitig werden Isotopenverhältnisse und –konzentrationen durch Äquilibration mit der Grubenluft verändert, so dass die Altersdatierung der Wässer nicht mehr möglich ist (z.B. Kohlenstoff-14 und Helium-4). Zusätzlich auftretende chemische Veränderungen erschweren die Interpretation bzgl. der Genese der gefassten Lösungen. Um diese nachträglichen Veränderungen der Wässer zu vermeiden, ist die Probenahme aus Bohrlöchern eine sinnvolle Maßnahme. Die Lösungen sollten dabei während des Abteufens gefasst werden oder die Lösungen im Bohrloch müssen von der Grubenluft durch einen Packer abgetrennt werden. Ist die Menge an Lösungen zu gering, ist es mitunter nicht möglich, alle gewünschten Parameter zu analysieren. Auch sind die individuellen Anforderungen

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 33 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00	Stand: 28.11.2016	

an die Probenahme für jeden Parameter zu beachten, die es mitunter erschweren, eine qualifizierte Probe zu entnehmen. Beim Abteufen von Bohrungen im Grubengebäude sollte darauf geachtet werden, dass entsprechendes Equipment, Probenahmebehälter und qualifiziertes Personal zur Verfügung steht, damit beim Anfahren frischer Lösungen eine möglichst hohe Bandbreite an Parametern wissenschaftlich korrekt erfasst werden kann.


Die Analyse von Spurenelementen kann weitere Hinweise auf Herkunft und Genese der Wässer liefern. Hierbei ist es nicht zu vermeiden, dass die Ergebnisse mehrere Möglichkeiten bei der Interpretation zulassen, weshalb der Ansatz des Multi-Tracer-Konzepts gewählt werden sollte, d.h. es sollten mehrere Spurenelemente und Isotopen analysiert werden, um Hypothesen über Herkunft und Genese zu verdichten (z.B. durch den Vergleich verschiedener Standorte mit unterschiedlicher Geologie bzw. räumlicher Lage im Grubengebäude). Bei der Verwendung von Spurenelementen sollte ebenfalls deren Konzentration in den verschiedenen geologischen Einheiten bekannt sein.

Die Verwendung von Markierungsstoffen, die künstlich eingebracht werden, ist weniger geeignet um Fließpfade im Grubengebäude zu identifizieren, da grundsätzlich austretende Lösungen direkt vor Ort gefasst werden. Es entspricht dem Konzept und den betriebssicherheitlichen Ansprüchen des Lösungsmanagement, die in das Grubengebäude zutretenden Lösungen zu fassen und an einer weiteren Migration zu hindern.

Der Einsatz von Markierungsstoffen im Grundwasser des Deckgebirges zur Identifizierung des Lösungszutritts ist ein probates Mittel, aber mit den derzeitigen Randbedingungen nur schwer zu realisieren. Da es keinerlei gesicherte Angaben zur Reservoirgröße, Fließpfaden und Fließgeschwindigkeiten gibt, mit denen diese Markierungsversuche geplant werden könnten, ist ein Erfolg ungewiss. Bei einem durch die GSF Anfang der 2000er Jahre durchgeführten Tracerversuch mit D₂O („schweres Wasser“) kam erschwerend hinzu, dass die verwendete Grundwassermessstelle R6 defekt war und die Festlegung der Untersuchungsziele sowie die Versuchsanordnung fachliche Mängel aufwies (BFS, 2010). Aufgrund des erwähnten Zustands einiger Grundwassermessstellen ist es fraglich, ob die Injektion von Markierungsstoffen in bestehende Grundwassermessstellen zum Erfolg führen kann. Ebenso bietet die zurzeit verfügbare Datenbasis nur eingeschränkt die Möglichkeit, Versuchsziele und Versuchsanordnungen zu definieren. Letztendlich ist es zurzeit nicht möglich, den Zutrittspfad in das Grubengebäude zu markieren, da dieser unbekannt ist.

DEFIZIT: Aufgrund der verfügbaren Datenbasis ist eine weiterführende Datenauswertung erforderlich. Statistische Verfahren wie z.B. Zeitreihenanalysen sind stärker als bisher zu berücksichtigen. Die Erweiterung der Parameterbandbreite bei der chemischen Analyse der Lösungen auf ausgewählte Spurenelemente und Isotope ist hilfreich, um weitere Hinweise auf die Genese und Herkunft der Wässer zu erhalten. Verwendbare Proben sind vor allem solche, die beim Abteufen von Bohrungen auftreten und keine Beeinflussung durch die Grubenluft erfahren haben. Es müssen daher stets entsprechendes Equipment, geeignete Probenahmebehälter und qualifiziertes Personal bereitgestellt werden, um eine qualifizierte Probenahme von so vielen Parametern wie möglich zu gewährleisten.

Markierungsversuche mit künstlichen Tracern sind im Grubengebäude aus Sicherheitsgründen nicht in Erwägung zu ziehen. Der Einsatz von Markierungsstoffen bei den geplanten Erkundungsbohrungen R10S, R10V, R16 und R16 im Deckgebirge ist möglich, wenn in Nähe des Salzspiegels eine ausreichend grundwasserwasserführende geologische Formation erbohrt wird. Der Markierungsstoff, der in diesem Fall zum Einsatz kommt, sollte schnell, einfach und in geringen Konzentrationen noch nachweisbar sein, so dass eine kontinuierliche Messung in den Zutrittswässern auf der 658-m-Sohle möglich ist. Die Realisierbarkeit eines solchen Versuchs hängt von vielen Faktoren ab und sollte erst abgeschätzt werden, nachdem hydraulische Kennwerte durch die Erkundungsbohrungen vorliegen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Transportdauer von der Bohrung bis zur Austrittsstelle im Grubengebäude auf einer Zeitskala

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachtanlage Asse II					
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.			Seite: 34 von 40	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN				
9A	22000000	H	RZ	0004	00			Stand: 28.11.2016	

von Jahren und Jahrzehnten bewegt, so dass die Erfolgsaussichten und der Nutzen eines solchen Versuchs kritisch hinterfragt werden müssen, wobei eine Durchführung grundsätzlich empfohlen wird.

Für die Bewertung der Lösung ist ein Konzept zur geochemischen Charakterisierung zu entwickeln, das gleichermaßen die mineralogische und chemische Zusammensetzung von Lösungen und Feststoffe erfasst. Sämtliche hierzu erforderliche Daten sollten in einer Datenbank zusammengefasst werden.

3.4.2 Feststoffe im Grubengebäude


ANFORDERUNGEN: Die im Grubengebäude auftretenden Lösungen stehen neben dem Luftkontakt auch in Wechselwirkung mit den Mineralen der Gesteinsmatrix und sonstigen Feststoffen in der Schachtanlage Asse II. Unter sonstigen Feststoffen sind vor allem die Versatzmaterialien in den Abbauen zu erwähnen. Die Zusammensetzung dieses Versatzes ist besonders im Carnallitbaufeld mit Unsicherheiten behaftet, so dass besonderes in diesem Bereich Stoffe und Stoffgruppen die Zusammensetzung der gefassten Lösungen in unbekanntem Maße beeinflussen können. Der Analyse der Feststoffe ist daher eine wichtige Rolle zuzuordnen.

IST-ZUSTAND: Bisher wird vor allem durch die geologische Ansprache an Bohrkernen oder in neu aufgefahrenen Strecken das geologische Inventar bestimmt. Anhand von 12 Bohrkernen wurden die mineralogische Zusammensetzung und der Gehalt an Spurenstoffen exemplarisch an verschiedenen geologischen Formationen auf mehreren Sohlen im Grubengebäude ermittelt. Über die eingebrachten Versatzmaterialien liegen nur teilweise Informationen vor.

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILITÄT: Die verfügbare Datenbasis ist aufgrund der bisher wenigen Analysen, die durchgeführt wurden, als zu gering anzusehen, da es nicht möglich ist, ein räumliches Bild über die mineralogische Zusammensetzung der geologischen Schichten zu erhalten, die mit Lösungen bzw. Grundwässern in Kontakt stehen. Neben der mineralogischen Zusammensetzung und ausgewählten Spurenstoffen (z.B. Uran und Thorium) sind vor allem das Strontium-Isotopenverhältnis ^{87/86}Sr geeignet, Wechselwirkungen zwischen Gestein und Lösung zu untersuchen. Hierzu sollte eine Datenbank mit entsprechenden Werten aus dem Gestein und der Lösung aufgebaut werden. Im Gegensatz zu den Isotopenverhältnissen- und Konzentrationen des Wassers (Deuterium und Sauerstoff-18), des Kohlenstoffs (Kohlenstoff-14, Kohlenstoff-13) und der Edelgase (Helium-4) ist das Strontiumisotopenverhältnis auch bei Wässern mit Luftkontakt für eine Auswertung verwendbar. Das Strontiumisotopenverhältnis wurde bereits erfolgreich in der Schachtanlage Asse II eingesetzt und soll zukünftig ausgebaut werden.

Die Zusammensetzung der Versatzmaterialien wird nach bisherigem Kenntnisstand als heterogen eingestuft. Es muss mit Fremdstoffen gerechnet werden, für die es keine schriftliche Erwähnung gibt. Bei Erkundungsbohrungen in den Versatz ist daher abzuwägen, ob eine Feststoffprobe entnommen werden muss. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass es sich dabei um eine Probe handeln würde, die für den Versatzstoff insgesamt charakteristisch ist, da er aufgrund seiner Inhomogenität sehr große Bandbreiten erwarten lässt.

DEFIZIT: Über die mineralogische und geochemische Zusammensetzung von Gesteinen und Fremdstoffen ist bisher wenig bekannt. Es wird daher empfohlen, die Datendichte in diesem Bereich durch gezielte Beprobung an Erkundungsbohrungen im Versatz und im Gestein zu erhöhen und im sinnvollen Maße Proben zu entnehmen, welche in eine Datenbank eingehen. Der Strontiumisotopie wird hierbei eine Schlüsselrolle zugewiesen. Aufgrund des Einflusses auf Lösungen, welche die versetzten Abbaue durchqueren, ist die Zusammensetzung der Versatzmaterialien verstärkt zu untersuchen. Die Daten sollen in einer Datenbank zusammengefasst werden, welche die Datenbasis der unter 3.4.1 erwähnten geochemischen Charakterisierung umfasst.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 35 von 40 Stand: 28.11.2016	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00		


3.4.3 Gase im Grubengebäude

ANFORDERUNGEN: Die Zusammensetzung der Gase im Grubengebäude kann Hinweise auf verschiedene Situationen liefern wie z.B. die Gasdurchlässigkeit des unverritzten Salzgesteins. Geologische Fallenstrukturen für Gase und Lösungen sind hierbei ebenso von Interesse wie durchlässige Bereiche. Aus Gründen der betrieblichen Sicherheit vor allem bei der Neuerkundung von bisher unverritzten Bereichen des Salzsattels sind Erkenntnisse über die Gaszusammensetzung ebenfalls von großer Bedeutung.

IST-ZUSTAND: Beim Aufbohren der Altbohrung A767 zur anschließenden Verfüllung im Rahmen der Errichtung des Bauwerks SB-750-16 ist es in 2,10 m Teufe zu einem schlagartigen Austritt von Gas und Lösung gekommen. Vermutlich hatte ein Verschlusspfropfen, der sich mutmaßlich durch Migration von Sorelbeton aus der 2011 verfüllten benachbarten Bohrung SB-750-16.5 gebildet hat, das Bohrloch versiegelt und damit die Aufkonzentration der in das Bohrloch eindringenden Gase begünstigt. Das aus dem Bohrloch austretende Gas wurde aufgefangen und zur Analyse an die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) geschickt. Bei der Analyse konnte festgestellt werden, dass es sich um geogenes Gas mit Anteilen von Methan, Ethan und Propan mit einer außergewöhnlichen Signatur von $\delta^{13}\text{C}$ (Kohlenstoff-13) handelt, die auf einen nicht bestimmaren Fraktionierungsprozess zurückzuführen ist. In ASSE-GMBH (2009) wird von mehreren Gasausbrüchen in der Vergangenheit berichtet. Beim Auffahren der Erkundungsbohrung 700-2 auf der 700-m-Sohle (Teilprojekt Schacht 5) wurde aktuell ebenfalls Gas angetroffen, welches beprobt und analysiert wurde. In diesem Fall trat vermehrt Schwefelwasserstoff (H_2S) auf.

QUANTITÄT/QUALITÄT/PLAUSIBILIÄT: Analog zu den Feststoffen kann auch hier die Datenbasis als zu gering angesehen werden. Es sollte eine Datenbank aufgebaut werden, so dass die Zusammensetzung der Gase für die verschiedenen Bereiche, in den sie vorgefunden wurde, bekannt ist und entsprechend der geologischen bzw. bergbaulichen Situation zugeordnet werden kann. Dies gilt vor allem bei Erkundungsbohrungen ins unverritzte Salinar.

DEFIZIT: Im Drei-Phasen-System Gas-Fluid-Feststoff wurde bisher den Gasen mit Ausnahme von radiologischen Untersuchungen im Strahlenschutz weniger Beachtung geschenkt als den beiden anderen Phasen. Da signifikante Konzentrationen von Gasen nur selten vorkommen, kann hier nicht der Anspruch erhoben werden, ein dichtes Netz an Messdaten zu erzeugen. Beim Antreffen signifikanter Gaskonzentrationen sollten diese beprobt und die Analyseergebnisse einer Datenbank zugeführt werden, bei denen die Daten verwendet werden sollen, um mehr über die Struktur des Salinars und seine Beschaffenheit zu erfahren.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 36 von 40 Stand: 28.11.2016	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00		

4 AUSBLICK

Die in Kapitel 3 erfassten Defizite sind im Rahmen der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung zu beheben. Daher sind im nächsten Schritt konkrete Maßnahmen zu planen, die keine eigenständige, umfassende Standorterkundung darstellen, sondern gezielt die Schwächen und Lücken der bestehenden Datenbasis schließt.

Eine umfassende Auflistung der geplanten und der bereits in der Durchführung befindlichen Maßnahmen wird im dritten Teil der Defizitanalyse erfolgen, welche den Maßnahmenkatalog beinhaltet. Der Maßnahmenkatalog listet die Art der jeweiligen Erkundungsmaßnahme auf und ordnet sie den im vorliegenden Bericht erkannten Defiziten zu, welche durch die Maßnahme beseitigt werden sollen.

Zurzeit sind bereits folgende Maßnahmen in der Bearbeitung:

- Erstellung von Erkundungsbohrungen im Deckgebirge (1. Bohrkampagne): Geplant sind die Bohrungen R10S, R10V, R16 und R17 nordwestlich der Schachanlage Asse II zur Ermittlung von Wasserwegsamkeiten im Deckgebirge, im Übergangsbereich Deckgebirge/Hutgestein bzw. Hutgestein/Salinar. Der Bau von Grundwassermessstellen ist ebenfalls geplant, wobei die Bohrungen R10S und die R10V zu einer Messstellendoublette ausgebaut werden sollen, damit hydraulische Tests und Markierungsversuche durchgeführt werden können.

Status: Die Ausführungsplanung wird zurzeit durch die Asse-GmbH erstellt.

- Erstellung von Erkundungsbohrungen im Deckgebirge (2. Bohrkampagne): Geplant sind die Bohrungen R11, R12, R13 und R14 an der Südflanke der Asse-Salzstruktur-Asse auf Höhe des Grubengebäudes der Schachanlage Asse II. Ziel ist der Obere Buntsandstein um die hydraulische Durchlässigkeit der so genannten bergbaulich aufgelockerten Zone zu ermitteln und um die Existenz von Störungen zu überprüfen.

Status: Die Bohrungen werden aufgrund ihrer unmittelbaren Nähe zum Grubengebäude einer Sicherheitsanalyse unterzogen, die zurzeit in Bearbeitung ist.

- Revisionskartierung im Deckgebirge: Das BfS lässt zurzeit die geologische Oberflächenkarte aktualisieren. Neben einer Neuaufnahme von Geländebefunden kommen auch so genannte Kurzbohrungen zum Einsatz, bei denen die quartären Schichten durchbohrt werden, so dass das darunter liegende Festgestein ermittelt werden kann (abgedeckte geologische Karte). Für die aktualisierte geologische Karte werden auch aktuelle Laser-Scan-Daten der Geländeoberfläche verwendet, die es erlauben, morphologische Besonderheiten zu erkennen und diese geologischen Ursachen zuzuordnen (z.B. Dolinen und lithologische Härtingen).

Status: Die revidierte geologische Karte und der dazugehörige Bericht sollen bis Dezember 2016 fertiggestellt werden.

- Hydrogeologisches Messnetz: Zurzeit wird ein hypothetisches Messnetz entwickelt, welches als so genanntes „Schattenmessnetz“ die Anforderungen bzgl. Ausbreitungsmodellen und Beweissicherung der aktuellen hydrogeologischen Verhältnisse bestmöglich abdeckt. Unter Einbeziehung der Ergebnisse des Messstellenfunktionstests (ASSE-GMBH, 2014) wird ein umfassendes Konzept zur Erweiterung und zur Sanierung des hydrogeologischen Messnetzes entwickelt, um den Idealvorstellung des Schattenmessnetzes so nah wie möglich zu kommen. Durch automatisierte Messwehre sollen auch repräsentative Quellen mit in das Messnetz aufgenommen werden. Die hierzu



Bundesaamt für Strahlenschutz

**Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der
geologischen und hydrogeologischen
Standorterkundung
der Schachtanlage Asse II**


Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 37 von 40
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00		Stand: 28.11.2016

erforderlichen Planungen liegen bereits vor, zurzeit werden Verhandlungen mit den Grundstückseigentümern durchgeführt.

Status: Das Konzept zur Erweiterung des hydrogeologischen Messnetz soll Ende 2016 vorliegen.

- 3D-Seismik: Die Vorbereitungen zur Durchführung einer umfangreichen 3D-Seismik im Bereich der Schachtanlagen Asse I und II bzw. im Bereich der Remlingen 15 sind bereits im fortgeschrittenen Stadium. Eine Testmessung wurde bereits durchgeführt. Durch die 3D-seismischen Messungen sollen flächendeckend die Lagerungsverhältnisse der geologischen Schichten des Deckgebirges sowie die Lage des Salzspiegels ermittelt werden. Die heraus ermittelte Datenbasis geht unmittelbar in das geologische Modell des Deckgebirges, das Lagerstättenmodell und in das hydrogeologische Modell für die Transportmodellierung von Radionukliden im Deckgebirge mit ein.

Status: In fortgeschrittener Planung.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II					
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 38 von 40 Stand: 28.11.2016			
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN				
9A	22000000	H	RZ	0004	00				

5 LITERATURVERZEICHNIS

AF-COLENCO (2009): Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge der Schachanlage Asse II, Teil 1: Text, Anhänge und Anlagen.- AF-Colenco AG, BfS 9A/24250000/MZS/TS/0001/00, Baden (Schweiz).

AF CONSULT (2012): Schachanlage Asse II Defizitanalyse Hydrogeologie / Deckgebirge. – Bericht AF-Consult Switzerland AG 1764/25, Baden (Schweiz).

AF CONSULT (2014): Sachstandsbericht Hydrogeologie. AF-Consult Switzerland AG, BfS-Bericht 9A/22100000 /HGG/R/0003/00, AF 1764/, Baden (Schweiz).

APPEL, D. (1971): Bericht über die geologische Neuaufnahme der Asse bei Wolfenbüttel (Ostniedersachsen) unter besonderer Berücksichtigung ihrer Quartärbedeckung und Tektonik der Südwestflanke.- NLFb, Hannover.

ASSE-GMBH (2009): Zusammenstellung und Bewertung der Salzlösungs- und Gaszutritte im Grubengebäude der Schachanlage Asse II.- Asse-GmbH, Bericht 9A/64222100/HG/RB/0002/00, Remlingen.

ASSE-GMBH (2014): Bericht zur Durchführung der Referenzmessungen an den Grundwassermessstellen des übertägigen Messnetzes.- Asse-GmbH, Bericht 9A/64212000/HGG/RB/005/00, Remlingen

ASSE-GMBH (2016): Geologisches Risswerk der Schachanlage Asse II, Stand: 22.02.2016.- Asse-GmbH, Remlingen.

BFS (2007): Prüfung von Unterlagen zur Schließung der Schachanlage Asse II im Hinblick auf die Anforderungen eines atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens.- Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter.

BFS (2010): Abschlussbericht zum Deuterium-Markierungsversuch in der Tiefbohrung Remlingen 6.- Bundesamt für Strahlenschutz, Bericht 9A/64212000/EGA/R/0001/00, Salzgitter.

BFS (2012): Projektplan zur übertägigen Erkundung der Schachanlage Asse I – Teil I: Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der hydrogeologischen Standortüberwachung der Schachanlage Asse II.- Bundesamt für Strahlenschutz, Bericht 9A/22000000/HGG/R/002/00, Salzgitter.


BGBL (2013): Gesetz zur Beschleunigung der Rückholung radioaktiver Abfälle und der Stilllegung der Schachanlage Asse II. Bundesgesetzblatt Jg. 2013, Teil I Nr. 19, Bonn, 24.04.2013.

COLENCO (2006): Hydrogeologische Modellvorstellungen.- Colenco Power Engineering AG, Bericht 4956/07, Rev. 3, Baden (Schweiz).

DMT GMBH & Co. KG, TÜV NORD SYSTEC GMBH & Co. KG, K-UTEC AG SALT TECHNOLOGIE & THYSSEN SCHACHTBAU GMBH (2013): Schachanlage Asse II, Konzept- und Genehmigungsplanung für einen weiteren Schacht – Planung der Bohr- und Testarbeiten.- Abschlussbericht, Essen.

DVGW (2003): DVGW Arbeitsblatt 121: Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen.- wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

ERCOSPLAN (2004): Zusammenfassung der geologischen Grundlagen für die Langzeitsicherheitsbewertung der Schachanlage Asse II. Ercosplan Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH, Erfurt.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der geologischen und hydrogeologischen Standorterkundung der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 39 von 40 Stand: 28.11.2016	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00		

ERCOSPLAN (2009): Abteufen von Bohrungen zur Erkundung der geologischen Verhältnisse an der Südflanke der Salzstruktur Asse mit anschließendem Ausbau zu Grundwassermessstellen.- Abschlussbericht der ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH, Erfurt.

ESSAID, S., KLARR, K. (1982): Zum Innenbau der Salzstruktur Asse.- Z. dt. geol. Ges., 133, S. 135 – 154. Hannover.

FRANZKE, H. J. & SCHWANDT, A. (2008): Ergänzende Untersuchung/Beurteilung der strukturellen Situation des Deckgebirges im Bereich der Schachanlage Asse II.- Bericht im Auftrag der GSF, Erfurt.

GSF (1994): Hydrologisches Forschungsprogramm Asse, Abschlussbericht. – Batsche, H., Klarr, K., Stempel, C.v., GSF Institut für Tief Lagerung (IfT) Bericht 4/94, Braunschweig.

GOMMLICH, G. (2006): Seismologische Verhältnisse und seismische Einwirkungen am Standort, GSF-Abschlussbericht 09/77732/PLA/DB/BZ/0001/03, Remlingen.

KALKA, H. (1963): Tektonische Analyse des Asse-Heeseberg-Zuges.- Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 122 S., Braunschweig.

KLARR, K. (1981): Grundlagen zur Geologie der Asse.- GSF-Bericht T117, 92 S., Braunschweig.

KLARR, K., KOLDITZ, H., KULL, H., SCHMIDT, M.W., SCHWEINSBERG, A., STEINBERG, G., STARKE, C., WALLMÜLLER, R. (1991): Erstellung von Tiefenbohrungen auf der Südwestflanke der Asse.- GSF-Bericht 36/90, Neuherberg.

KTA (1990): Sicherheitsregeln der KTA: KTA 2201.1 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen – Teil 1: Grundsätze“, (Fassung 1990-06) .

KTA (2011): Sicherheitsregeln der KTA: KTA 2201.1 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen – Teil 1: Grundsätze“, (Fassung 2011-11).

LBEG (2015): Symbolschlüssel Geologie – Symbole für die Dokumentation geologischer Feld- und Aufschlussdaten, 254 S. Hannover.

LEYDECKER, G. (2011): Erdbebenkatalog für Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800 - 2008. – Geol. Jb., **E 59**; 198 S., 12 Abb., 5 Tab., 9 Anlagen, 1 CD; BGR Hannover / Germany; Vertrieb: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

LEYDECKER & KOPERA (1996): Seismologisches Gutachten für den Standort Konrad, BGR-Archiv-Nr. 114 969.

LEYDECKER & KOPERA (1999): Seismologisches Gutachten für den Standort des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben, BGR-Archiv-Nr.: 117 575.

PREUßISCHE GEOLOGISCHE LANDESANSTALT (1931a): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern.- Blatt. 2094 Wolfenbüttel, 55 S. Berlin.

PREUßISCHE GEOLOGISCHE LANDESANSTALT (1931b): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern.- Blatt. 2095 Schöppenstedt, 64 S. Berlin.

PREUßISCHE GEOLOGISCHE LANDESANSTALT (1928/31): Geologische Karte von Preußen 1:25 000, Bl. 2095 Schöppenstedt.- Berlin.



Bundesamt für Strahlenschutz

**Bestandsaufnahme und Defizitanalyse der
geologischen und hydrogeologischen
Standorterkundung
der Schachtanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 40 von 40
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22000000	H	RZ	0004	00		Stand: 28.11.2016

SEIDEL, E., (2011): Hydrologische Standortüberwachung der Schachtanlage Asse II südöstlich Wolfenbüttel- Analyse von Quell- und Oberflächengewässern zur Komplementierung des bestehenden Messnetzes. – Goethe-Universität Frankfurt am Main, Diplomarbeit, 107 S., Frankfurt/Main.

SKB (2002): Technical Report TR-02-24, Effects of earthquakes on the deep repository for spent fuel in Sweden based on case studies and preliminary model results, Stockholm.

WEINBERG, H.J. (1990): Erdfälle in der Asse.- GSF-Bericht 19/90, 63 S. Neuherberg.

WEINBERG, H.J. (1997): Zusammenfassender Bericht über die strukturgeologischen Untersuchungen im Asse-Sattel.- Bericht Rainer Hartmann Ges. f. angew. Biologie und Geologie mbH, GSF-Auftrag Nr. 31/170702/97/T, 52 S., Göttingen.