



Aspekte zum Schutz von Wasservorkommen

Sachstandsdarstellung

Autoren:

Prof. Dr. J.-D. Eckhardt
G. Enste
Dr. P. Hocke
B. Kallenbach-Herbert
Prof. Dr. K.-H. Lux
Dr. J. Mönig
Prof. Dr. Dr. B. Müller
Dr. E. Nitsch
Prof. Dr. S. Schlacke
Prof. Dr. S. Siedentop

Mai 2019

Prüfung des Kap. 6 *Völkerrechtliche Aspekte zum Schutz von Wasservorkommen* im Februar 2020.
Veröffentlicht am 24.06.2020.

Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager

Im Juni 2006 hat das damalige Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) die deutsche „Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager“ (ESchT) einberufen. Die Expertengruppe soll Fragen des BMU und der deutschen Begleitkommission Schweiz (BeKo-Schweiz) zum Sachplan geologische Tiefenlager der Schweiz beantworten sowie das Standortauswahlverfahren fachlich begleiten.

Kontakt:

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH

Hr. Karsten Schüller

Schwertnergasse 1

50667 Köln

Karsten.Schueler@grs.de

Tel.: +49 (0) 221-20 68-689

Fax: +49 (0) 221-20 68-734

Internet: www.escht.de

Anmerkung:

Dieser Bericht ist von der Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager (ESchT) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) erstellt worden.

Der Bericht kann unter Quellenangabe zitiert und auszugsweise reproduziert werden.

Inhalt

Zusammenfassung	1
1. Einleitung	3
2. Vereinfachte Darstellung der Wasservorkommen.....	4
3. Potenzielle Gefährdungen von Wasservorkommen bei Errichtung, Betrieb und Verschluss eines Tiefenlagers	9
4. Potenzielle Gefährdungen von Wasservorkommen in der Nachverschlussphase	13
5. Geplante Maßnahmen zum Schutz von Wasservorkommen.....	17
6. Völkerrechtliche Aspekte zum Schutz von Wasservorkommen	24
7. Referenzen	27
Anhang: Hydrogeologie.....	31

Zusammenfassung

Bei der Festlegung der Standortgebiete für die Tiefenlager für hochradioaktive Abfälle (HAA) und für schwach- und mittlradioaktive Abfälle (SMA) sowie der Standorte für die zugehörigen Zugangsanlagen an der Erdoberfläche ist der Schutz der Wasservorkommen an der Oberfläche sowie im Untergrund sicherzustellen. Deshalb spielen Fragen bezüglich möglicher Gefährdungen der Wasservorkommen für deutsche Stakeholder eine wichtige Rolle. Diese Ausarbeitung richtet sich insbesondere an diese Zielgruppe in den betroffenen Regionen.

Zu schützende Wasservorkommen umfassen neben Oberflächengewässern wie Flüsse und Seen auch Grundwässer in verschiedenen Tiefenlagen und geologischen Einheiten (Aquiferen). Die geologische Situation im Untergrund bestimmt wesentlich Vorkommen, Beschaffenheit und Bewegung der Grundwässer in und zwischen den Aquiferen sowie an welchen Stellen Grundwasser ggf. in die Oberflächengewässer austritt. Zum besseren Verständnis der Aussagen zum Grundwasserschutz ist daher die geologische und hydrogeologische Situation in der Nordschweiz schematisch dargestellt.

Bei der über- und untertägigen Erkundung eines Standortgebietes, der Erschließung des Betriebsgeländes, dem Bau der Oberflächenanlagen (OFA) und der Zugänge nach untertage sowie den untertägigen Auffahrungen treten u.a. Gefährdungspotenziale für die Wasservorkommen auf, die auch bei anderen Untertageanlagen wie Bergwerken oder Tunnelanlagen berücksichtigt werden müssen. Zu deren Beherrschung stehen etablierte Vorgehensweisen zur Verfügung. Art und Ausmaß von möglichen Auswirkungen der Tätigkeiten auf Oberflächen- und Grundwasservorkommen hängen sowohl von anlagen- als auch standortspezifischen Gegebenheiten ab. Die bisherigen Ausführungen der Nagra sind aus Sicht der ESchT grundsätzlich plausibel. Eine belastbare Abschätzung und Bewertung der Auswirkungen setzen jedoch genaue Kenntnisse der Lage und Anordnung der Oberflächen- und Nebenzugangsanlagen sowie detaillierte Beschreibungen der Betriebsabläufe voraus.

In der Betriebsphase der HAA- und SMA-Tiefenlager sind insbesondere die radiologischen Auswirkungen zu betrachten. Die Anlagen sind so auszulegen, dass bei allen Störfällen das radiologische Schutzziel für die umliegende Bevölkerung und das Personal eingehalten wird. Schwerpunkt der Betrachtungen durch die Nagra sollte aus Sicht der ESchT eine Gefährdungsabschätzung für Grund- und Oberflächenwasser durch die Umverpackung der abgebrannten Brennelemente und der hochradioaktiven Abfälle aus den Transport- und Lagerbe-

hältern in Endlagerbehälter auf dem Gelände der Oberflächenanlage sein. Auch dafür sind detaillierte Beschreibungen der Betriebsabläufe erforderlich.

Aus Sicht der ESchT ist die Aussage, dass die OFA auch im Gewässerschutzbereich A_u keine besondere Gefährdung für das Grundwasser darstellen, in den anschließenden Verfahrensschritten weiter zu belegen. Dazu gehört auch die Beschreibung, welche Maßnahmen zum Schutz der Wasservorkommen beitragen. Neben dem Detaillierungsgrad, der mit fortschreitender Planung zu vertiefen ist, greifen die Betrachtungen der Nagra noch nicht alle Aspekte auf, die im Kontext des Grundwasserschutzes in Bezug auf die OFA relevant sein könnten. Zu den Einflüssen der Untertageanlagen auf die tiefen Grundwasserstockwerke und die Maßnahmen zu deren Schutz liegen die erforderlichen Ausführungen der Nagra noch nicht vor, so dass seitens der ESchT derzeit keine Einschätzung dazu möglich ist.

Hinsichtlich der möglichen Gefährdungen von Wasservorkommen in der Nachverschlussphase ist aus Sicht der ESchT zu berücksichtigen, dass aufgrund der methodischen Vorgehensweise bei Langzeitsicherheitsanalysen keine tatsächlich zu erwartenden, zukünftigen radiologischen Belastungen in der Biosphäre errechnet werden. Bei den Modellrechnungen werden für viele Modellparameter abdeckende Annahmen getroffen, um Ungewissheiten bezüglich der Kennwerte sowie der zukünftigen Entwicklungen des Endlagersystems im Nachweiszeitraum zu berücksichtigen. Die Ergebnisse derartiger Modellrechnungen dienen anhand des Vergleichs mit nationalen Grenz- oder Richtwerten zur Bewertung der Langzeitsicherheit des Endlagersystems. Nach jetzigem Kenntnisstand treten in der Nachverschlussphase Radionuklidfreisetzungen in Grundwässer sowie in Oberflächengewässer – wenn überhaupt – erst in sehr ferner Zukunft ein.

Aus rechtlicher Sicht stehen einer Standortfestlegung für die Schweizer Tiefenlager nach aktuellem Erkenntnisstand weder zwischenstaatliche Übereinkommen zum Schutz des Bodensees noch zum Schutz des Rheins entgegen. Aus den Vorsorge- und Vorbeugeverpflichtungen der Übereinkommen ist ableitbar, dass im Rahmen des Auswahlverfahrens Untersuchungen durchzuführen sind, in denen das Risiko einer – auch nur mittelbaren etwa durch das Grundwasser erfolgenden – Verunreinigung des Bodensees oder des Rheins durch Radionuklide abgeschätzt wird.

1. Einleitung

Laut Beschluss des Schweizer Bundesrates vom 21.11.2018 sollen die drei Standortgebiete Jura Ost (JO), Nördlich Lägern (NL) und Zürich Nordost (ZNO) in der jetzt laufenden dritten Etappe weiter untersucht werden. In den Stellungnahmen zur Vernehmlassung des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) zu Etappe 2 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) wurden von Stakeholdern sowohl in Deutschland als auch in der Schweiz mögliche Gefährdungen verschiedener Wasservorkommen als ein wichtiger Aspekt bezüglich der Frage nach ihrer Betroffenheit genannt.

Diese Thematik spielte eine wichtige Rolle bei der Bewertung der Standortgebiete sowie der vorgeschlagenen Standorte für die Oberflächenanlagen (OFA) bzw. die Oberflächeninfrastruktur (OFI) durch die lokalen Stakeholder. Unstrittig ist, dass der Grundwasserschutz sowohl in der Bau- und Betriebsphase eines Tiefenlagers als auch dauerhaft in der Nachverschlussphase gewährleistet werden muss.

Fragen des Schutzes der Wasservorkommen wurden bereits verschiedentlich in den Stellungnahmen der ESchT diskutiert und offene Fragestellungen wurden identifiziert (siehe dazu ESchT 2014, ESchT 2015, ESchT 2017a, ESchT 2017b).

In der vorliegenden Sachstandsdarstellung stellt die ESchT wichtige Zusammenhänge für die Diskussionen zu möglichen Auswirkungen in der Bau- und Betriebsphase sowie in der Nachverschlussphase eines Tiefenlagers auf die Wasservorkommen dar und bewertet diese übersichtlich. Dazu werden die verschiedenen Wasservorkommen an der Oberfläche und im Untergrund sowie ihre Wechselwirkungen im Kap. 2 beschrieben. Außerdem werden in den Kap. 3 und 4 die potenziellen Gefährdungen der Wasservorkommen in Bau-, Betriebs- und Nachverschlussphase eines Tiefenlagers benannt und – soweit möglich – die geplanten Schutzmaßnahmen bewertet (Kap. 5). Eine kurze Ausführung zu rechtlichen Aspekten schließt die Analyse ab (Kap. 6).

2. Vereinfachte Darstellung der Wasservorkommen

In Bereich der möglichen Standortgebiete und in den umliegenden Regionen kommen Grundwasserleiter (Aquifere) in verschiedenen Tiefenlagen („Stockwerken“) und geologischen Einheiten vor. Entsprechend bestehen unterschiedliche Nutzungen für die verschiedenen Aquifere bzw. die darin enthaltenen Grundwässer. Die Aquifere und mögliche Fließrichtungen der zugehörigen Grundwassereinheiten werden im Folgenden vereinfacht und schematisch dargestellt, ohne auf spezifische oder lokale Details einzugehen. Eine vertiefte Darstellung ist im Anhang zu finden.

Überblick und generelle Situation

Im betrachteten deutsch-schweizerischen Grenzgebiet besteht die Schichtenfolge aus einem Wechsel von grundwasserleitenden und grundwassergeringleitenden¹ hydrogeologischen Einheiten (INTERREG 2001). Die Verbreitung, Abfolge und räumliche Lage dieser Gesteine im Untergrund bestimmen wesentlich das Vorkommen und die Bewegung sowie die Beschaffenheit des Grundwassers in den Aquiferen. Prinzipiell wäre es möglich, dass beispielsweise über Störungszonen Grundwasser aus einem Aquifer in andere Aquifere gelangen kann. Zudem gibt es Bereiche, wo das Grundwasser in die Lockergesteinsaquifere des Rheintals eintreten (exfiltrieren) kann und damit Kontakt zu Oberflächengewässern erhält.

Einen Überblick über die generelle Schichtenfolge der geologischen Einheiten in der Nordschweiz und deren hydrogeologische Einordnung gibt Abbildung 1: Neben den als regionale Grundwasserleiter eingestuftten Einheiten Oberjura (Malm), Sandsteinkeuper und Oberer Muschelkalk wird für den Wedelsandstein und den Arietenkalk eine geringe Wasserführung angenommen. Grundwassergeringleiter mit hydraulischer Barrierewirkung sind die Malm-Dogger-Mergel in den oberen Rahmengesteinen, der Opalinuston im Dogger und in den unteren Rahmengesteinen des Wirtsgesteins der tonige Lias, die Keuper-Tonsteine und der Gipskeuper. Diese bewirken eine hydraulische Trennung der wasserführenden Schichten.

Diese generelle Schichtenfolge ist prinzipiell auch auf die geologischen Einheiten im grenznahen süddeutschen Raum übertragbar. Die großräumige geologische Situation ist Abbildung 2 zu entnehmen. Sie verdeutlicht die Schichtlagerungsverhältnisse mit einem geologischen Profilschnitt (NW - SO) im Bereich des Standortgebiets Zürich Nordost (NTB 08-04). Dieses Profil ist nicht überhöht, die Lagerungsverhältnisse der Schichten sind also realistisch

¹ Früher auch für Grundwassergeringleiter synonym gebraucht: Grundwasserstauer, Grundwassernichtleiter, Aquifuge.

darstellt. Die Schichten der Festgesteinseinheiten unter dem Tertiär (Molasse) tauchen generell nach Südosten in größere Tiefen ab. In beiden Abbildungen ist neben den im Folgenden beschriebenen Einheiten und Aquifern auch die Position des Opalinustons, dem Wirtsgestein des Tiefenlagers, zu erkennen.

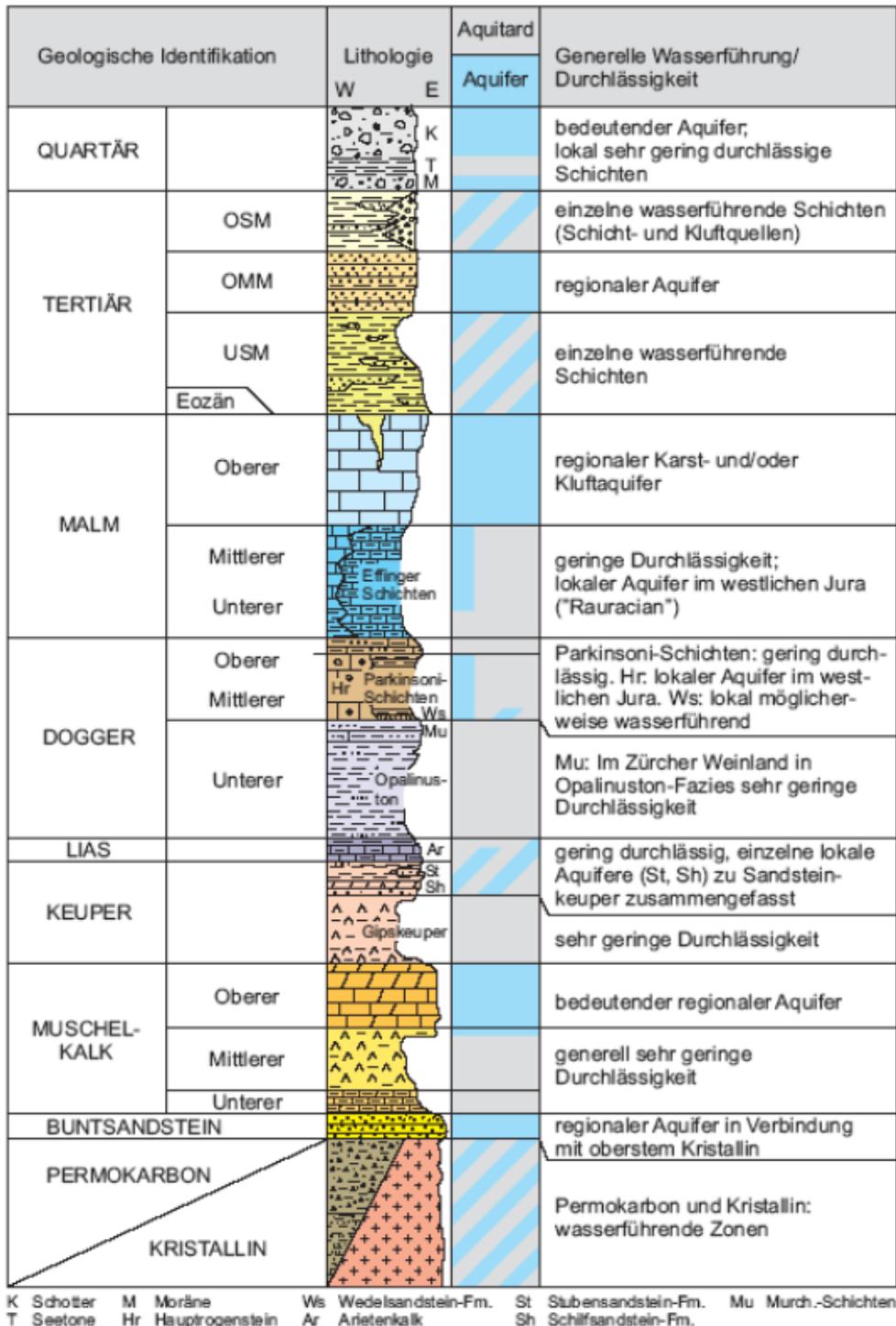


Abbildung 1: Schematisches geologisches Profil für die Nordschweiz und hydrogeologische Einordnung der Einheiten (Nagra, NTB 05-02)

Die hydrogeologischen Daten zum Standortgebiet ZNO sind durch Kartierungen, geoelektrische und seismische Messungen und Untersuchungen an Grundwassermessstellen erhoben worden und in NAB 17-28 zusammengestellt.

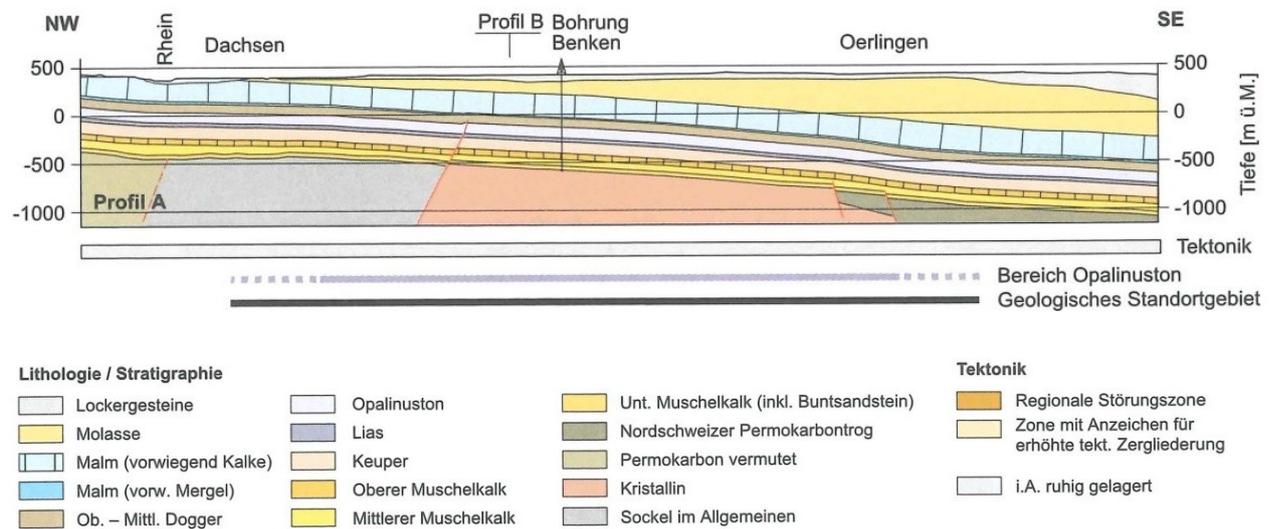


Abbildung 2: Geologischer Profilschnitt (NW-SO), Standortgebiet Zürich Nordost, nicht überhöht (Nagra, NTB 08-04)
 Anmerkung: Tektonik hier nicht von Relevanz, da i. A. ruhig gelagert (hellgraue Signatur unterhalb des Profilschnitts).

Die präquartäre Schichtenfolge (Gesteinsvorkommen unterhalb der Lockergesteine in Abb. 2) wird von regionalen Störungssystemen gequert². Die bedeutendsten Störungssysteme auf Schweizer Seite sind die in West-Ost-Richtung verlaufenden Jura-Hauptüberschiebung, die Mandach-Störung, die Störungen der Born-Engelberg Antiklinale und das Baden-Irchel-Herden Lineament. Obwohl die Standortgebiete nicht direkt von den Störungssystemen betroffen sind, können diese indirekt Einfluss auf die Grundwasserströmung haben. Dabei ist über die hydraulische Wirksamkeit der Störungen wenig bekannt, ihre Sprunghöhen führen jedoch nicht zu direkten hydraulischen Verbindungen zwischen verschiedenen Aquiferen. Nach Modellannahmen der Nagra (NAB 13-24) können hydraulisch unwirksame Störungen in den tiefen Aquiferen Einfluss auf den Grundwasserabstrom in Richtung Rhein haben (s.u.).

² „Als regionale Störungssysteme werden analog zu SGT Etappe 1 aus Oberflächenkartierungen und/oder Seismikinterpretation bekannte tektonische Störungen im Bereich der Wirt- und Rahmengesteine verstanden, die eine Längserstreckung im Kilometerbereich aufweisen.“ (NTB 14-02)

Grundwasservorkommen, Übersicht

Die quartären Kiese im Rheintal sowie die Aquifere des Oberjura und Oberen Muschelkalks beinhalten wasserwirtschaftlich bedeutende Grundwasservorkommen. Wie Abbildung 1 zu entnehmen ist, sind diese Grundwasservorkommen prinzipiell vertikal durch Grundwassergeringleiter voneinander getrennt, so dass generell keine hydraulischen Verbindungen bestehen. Der Opalinuston ist ebenfalls ein Grundwassergeringleiter und liegt mit dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich zwischen den Aquifere des oberen Malm und des Muschelkalk.

Im Gebiet des zwischen Bodensee und Basel gelegenen Hochrheins werden insbesondere die quartären Lockersedimente des Rheintals zur Trinkwassergewinnung genutzt. Innerhalb dieser Talfüllung verläuft auch der Rhein. Ein hydraulischer Austausch zwischen dem Rhein und dem Grundwasserkörper in den quartären Sedimenten kann je nach lokalen Verhältnissen in beide Richtungen erfolgen (Exfiltration in den Rhein oder Infiltration in die quartären Sedimente). Lokal ist die Klettgaurinne diesem Aquifer zuzuordnen.

Unterhalb der quartären Lockersedimente lagert meist die Süßwassermolasse, die generell als Geringleiter einzustufen ist, aber einzelne begrenzte grundwasserführende Schichten enthalten kann.

Die regionalen Grundwasserleiter im tieferen Untergrund werden auf deutscher Seite teilweise zur Thermal- und Heilwassergewinnung genutzt. Dies betrifft vor allem die regionalen Grundwasserleiter in den verkarsteten Kalksteinschichten des Malm (Oberjura) und Muschelkalk. Diese Schichten fallen (wie das gesamte Schichtenpaket) nach Südosten, also Richtung Schweiz, ein (Abb. 2). Weiterhin werden auf deutscher Seite Thermalwasser aus dem Kristallin des Südschwarzwalds gewonnen (Bad Säckingen).

Die beiden Karstwassergrundwasserleiter (Malm und Muschelkalk) können in den westlichen Gebieten von der Rheintalrinne angeschnitten werden und in Kontakt zu deren quartären Kiesen und dem darin befindlichen Grundwasser kommen. Demzufolge kann in diesen Gebieten eine Exfiltration der Karstwässer in das Grundwasser im Rheintal stattfinden. Für den Grundwasserleiter des Oberjura ist dies in der Region zwischen Küssaberg/Dangstetten im Westen und südlich Klettgau gegeben und für den Grundwasserleiter des Muschelkalks weiter westlich im südlichen Alb-Wutach-Gebiet. Die Exfiltration folgt der Fließrichtung der Karstwässer und diese folgt generell dem Schichtfallen, von Nordwest nach Südost, also von der deutschen Seite her in Richtung des Rheintals. In Modellrechnungen mit bestimmten Annahmen (z.B. undurchlässige Störungen) hat die Nagra dargestellt, dass Karstwasser

auch von Schweizer Seite (also aus südlicher Richtung) in die quartären Kiese des Rheintals exfiltrieren kann.

Weitere detailliertere Darstellungen zu den hydrogeologischen Verhältnissen mit vertiefter Betrachtung der spezifischen geologischen Situation finden sich im Anhang.

3. Potenzielle Gefährdungen von Wasservorkommen bei Errichtung, Betrieb und Verschluss eines Tiefenlagers

Die Abläufe beim Bau und Betrieb eines SMA- und eines HAA-Lagers sind grundsätzlich ähnlich, wobei es bei der Realisierung eines Kombilagers zu Überschneidungen von einzelnen Prozessen kommt. Nachfolgend werden potenzielle Gefährdungen des Grund- und Oberflächenwassers anhand der einzelnen Phasen bis zum Verschluss des Tiefenlagers dargestellt.

Erschließung des Bergwerks vor Beginn der Einlagerung

In einer ersten Phase erfolgt die übertägige Erschließung und der Bau der Oberflächenstrukturen sowie der Zugänge nach untertage (Haupt- und Nebenzuganganlagen). Die Zuganganlagen dienen einerseits als Personal- und Materialzugang und andererseits der Bewetterung des Grubengebäudes. Sie können als Schachtkopfanlagen oder Tunnelportale realisiert sein.

Auf dem Tiefenniveau des projektierten Tiefenlagers wird zunächst nur der Bereich für die erdwissenschaftlichen untertägigen Untersuchungen aufgefahren. Diese Untersuchungen beginnen bereits während der Auffahrung der dafür vorgesehenen Hohlräume. Nach Abschluss der erdwissenschaftlichen untertägigen Untersuchungen erfolgt der Bau des Felslabors untertage sowie die Erweiterung der Oberflächenanlagen und ggf. der Bau weiterer Zugänge zur Lagerebene.

Gefährdungspotenziale für das Grundwasser beim Bau der Zugänge nach untertage sind grundsätzlich durch das Anschneiden von Aquiferen in Kombination mit einer Kontamination mit wassergefährdenden Stoffen infolge von Störfällen³ denkbar. Bauliche Maßnahmen sind unter anderem auch deswegen auf die lokalen hydrogeologischen Verhältnisse abzustimmen (NTB 13-01).

Oberflächenwässer können unmittelbar durch Störfälle wie beispielsweise durch den Einsatz von Löschwasser und Löschmittel bei Brandereignissen oder bei Havarien im Umgang mit grundwassergefährdenden Stoffen, wie Kraft- und Schmierstoffen als auch Hydraulikflüssigkeiten, gefährdet sein.

³ Für den Begriff Störfall sind verschiedene, sich leicht unterscheidende Definitionen zu finden. Laut Nagra gilt als Störfall „jeder von Normalbetrieb oder Betriebsstörung abweichende Anlagenzustand.“ (NTB 13-01). Gemäß Schweizer Störfallverordnung (StFV 1991) ist ein Störfall wie folgt definiert: Ein außerordentliches Ereignis in einem Betrieb oder auf einem Verkehrsweg, bei dem erhebliche Einwirkungen auftreten (a) außerhalb des Betriebsareals; (b) auf oder außerhalb des Verkehrswegs.

Die Gefährdung von Grund- und Oberflächenwässer während der Bauphase der Zugangsbauwerke ist rein konventioneller Art und geht demzufolge nicht über das übliche Maß bei Großprojekten im Hoch- und Tunnelbau hinaus.

Betrieb und Verschluss eines Tiefenlagers

Nach Abschluss der erdwissenschaftlichen Untersuchungen und der Errichtung des Felslabors untertage beginnt der Ausbau des Tiefenlagers. Bei einem SMA-Lager erfolgt die Einlagerung der radioaktiven Abfälle erst nachdem alle untertägigen Bereiche des Tiefenlagers aufgefahren worden sind. Lediglich beim HAA-Lager werden parallel zum Einlagerungsbetrieb weitere Einlagerungshohlräume aufgefahren. Bei einem Kombilager ist die gleichzeitige Einlagerung von HAA und SMA nicht vorgesehen. Die Zugangsanlagen bleiben während der Einlagerungsphase in Betrieb und werden erst in der Beobachtungsphase im Anschluss an die Betriebsphase des Tiefenlagers sukzessive zurückgebaut.

In der Betriebsphase treten, neben den bereits angesprochenen konventionellen Gefährdungspotenzialen für Wasservorkommen, wegen des Umgangs mit radioaktiven Abfällen insbesondere die radiologischen Gefährdungspotenziale in den Vordergrund. Die Beschickung eines Tiefenlagers mit radioaktiven Abfällen und der Auszug der Abluft sowie das Ausbringen eventueller Wässer aus den Kontrollbereichen erfolgen ausschließlich vom Hauptzugang zum Tiefenlager, der Oberflächenanlage (OFA). Dieser Hauptzugang kann als Rampe mit einem Portal oder ebenfalls, wie die Nebenzugangsanlagen, als Schacht mit einer Schachtkopfanlage ausgebaut sein.

Die radioaktiven Abfälle werden über Schiene oder Straße zur OFA transportiert. Das Betriebskonzept dieser kerntechnischen Anlage umfasst u. a. bei einem HAA- und einem Kombilager die Umverpackung der abgebrannten Brennelemente und der hoch radioaktiven Abfälle aus den Transport- und Lagerbehältern in Endlagerbehälter in einer heißen Zelle. Abweichend zum hier beschriebenen Konzept (TFS 2012; NAB 14-05) wird zurzeit geprüft, ob eine Brennelement-Verpackungsanlage (BEVA) außerhalb der OFA platziert wird. Das Gefährdungspotenzial einer solchen Anlage würde damit räumlich verlagert werden und müsste in einem anderen Bauvorhaben berücksichtigt werden.

Das zur Verfüllung und zum Verschluss eines Tiefenlagers notwendige Material wird in der OFA vorbereitet und von dort nach untertage transportiert. Für das Rahmenbewilligungsgesuch für die Tiefenlager sind Verschlusskonzepte zu konkretisieren (NTB 13-01). Die Nagra hat ihre Planungskonzepte zum Verschluss von HAA- und SMA-Tiefenlagern bzw. eines Kombilagers beschrieben (z. B. NTB 08-05, NTB 02-02). Aufgrund der gegebenen Laufzei-

ten der Tiefenlagerprojekte ist bis zum Zeitpunkt des Verschlusses der Lager von einer erheblichen Technologieentwicklung auszugehen, welche in den Konzepten zu berücksichtigen ist. „Deshalb ist auch für die definitiv zu verwendende Technologie bis zum nuklearen Baugesuch ein ausreichender Handlungsspielraum zur Berücksichtigung der Entwicklungen beizubehalten“ (NTB 16-01). Auswirkungen auf Grund- und Oberflächenwässer können aktuell demzufolge nur pauschal abgeschätzt werden.

Auswirkungen von Störfällen

Zur Einlagerung werden ausschließlich feste Abfälle angeliefert. Flüssige Stoffe, die ggf. radioaktiv belastet wären, könnten in der Folge von Störfällen im Prozessablauf bei der Behandlung der Abfälle (Umkonditionierung), beim Transport auf die Lagerebene und bei der Einlagerung auftreten. Ggf. durch Prozesse oder Störfälle im Einlagerungsbetrieb radioaktiv belastete Wässer wären aus dem Tiefenlager zu heben und über Tage sachgerecht zu behandeln.

Störungen im Betrieb des Tiefenlagers mit radiologischen Auswirkungen wären denkbar infolge von Erdbeben, Überflutungen, Störmaßnahmen und sonstigen Einwirkungen Dritter (insbesondere der Flugzeugabsturz mit anschließender Hitzeeinwirkung), sonstige Brände, Ausfall der Stromversorgung und Beschädigung von Brennelementen oder Abfallgebinden. Nicht sämtliche der hier aufgeführten Störfallszenarien ziehen zwangsläufig eine Gefährdung von Grund- oder Oberflächenwasser nach sich.

Einschätzung der ESchT

Hinsichtlich möglicher konventioneller Gefährdungen in der Beobachtungsphase und in der Verschlussphase des Tiefenlagers ist davon auszugehen, dass diese mit den konventionellen Gefährdungen von Grund- und Oberflächenwasser bei der Erschließung des Lagers vergleichbar sind und nicht über diese hinausgehen. Mögliche Prozesse im Endlager während der Beobachtungsphase, die zu einer Freisetzung von Radionukliden mit anschließender Gefährdung von Grund- oder Oberflächenwasser führen können, sind stufengerecht in den jeweiligen Verfahrensschritten durch die Nagra aufzuzeigen und entsprechende Gegenmaßnahmen darzulegen.

In der Phase des Baus der Anlagen an der Oberfläche, der Zugänge nach untertage sowie der Erschließung des Bergwerks vor Beginn der Einlagerung der radioaktiven Abfälle treten konventionelle Gefährdungspotenziale auf, die in ähnlichen Untertageanlagen wie Bergwerke und Tunnel gleichermaßen berücksichtigt werden müssen. In der Betriebsphase sind ins-

besondere die radiologischen Auswirkungen zu betrachten. Die Anlagen sind so auszulegen, dass bei allen Störfällen das radiologische Schutzziel für die umliegende Bevölkerung und das Personal eingehalten wird. Die Nagra hat einen Störfallkatalog und einen Maßnahmenkatalog erstellt (NTB 13-01). Das ENSI bewertet diese Konzepte als plausibel und nachvollziehbar (BFE 2013, ENSI 2013). In seiner Stellungnahme zum Bericht NTB 13-01 hat das zuständige BAFU den Betrieb einer Oberflächenanlage aus gewässerschutzrechtlicher Sicht auch im Gewässerschutzbereich A_v⁴ als grundsätzlich bewilligungsfähig eingeschätzt (BAFU 2013a).

Nach Einschätzung der ESchT sind die Positionen von ENSI und BAFU nachvollziehbar. Schwerpunkt der Betrachtungen durch die Nagra sollte aus Sicht der ESchT eine Gefährdungsabschätzung für Grund- und Oberflächenwasser durch die Umverpackung der abgebrannten Brennelemente und der hoch radioaktiven Abfälle aus den Transport- und Lagerbehältern in Endlagerbehälter auf dem Gelände der OFA sein. Dies gilt auch für den Fall, dass die Brennelement-Verpackungsanlage andernorts außerhalb der OFA platziert werden sollte.

Mögliche Auswirkungen auf Oberflächen- und Grundwasser sind sowohl anlagen- als auch standortspezifisch. Eine nachvollziehbare Abschätzung und Bewertung derartiger Auswirkungen setzt genauere Kenntnisse der Lage von Oberflächenanlagen und Nebenzugangsanlagen sowie deren Ausgestaltung und der Betriebsabläufe, insbesondere beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, sowie der lokalen hydrologischen und der hydrogeologischen Verhältnisse, voraus. Deshalb ist eine solche Betrachtung erst nach Vorlage konkreter gefasster Unterlagen im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs möglich.

⁴ „Der Gewässerschutzbereich Au ist als Instrument des flächendeckenden, ressourcenorientierten Grundwasserschutzes gleichermaßen auf den quantitativen wie auf den qualitativen Grundwasserschutz ausgerichtet.“ (BUWAL 2004) „Der Gewässerschutzbereich Au umfasst die nutzbaren unterirdischen Gewässer sowie die zu ihrem Schutz notwendigen Randgebiete.“ (GSchV 1998)

4. Potenzielle Gefährdungen von Wasservorkommen in der Nachverschlussphase

Die primäre Zielsetzung bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle im tiefen Untergrund ist der dauerhafte Verbleib der Radionuklide und sonstigen Schadstoffe in den eingelagerten Abfällen in einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Dazu dient ein Barrierensystem, das technische Barrieren wie Abfallmatrix und Endlagerbehälter, geotechnische Barrieren wie Versatzmaterialien und Verschlussbauwerke sowie geologische Barrieren umfasst. Trotzdem kann es in der Nachverschlussphase zu einer Mobilisierung der Radionuklide und sonstigen Schadstoffe aus den radioaktiven Abfällen und zu deren Freisetzung aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich kommen. Mit Hilfe von Langzeitsicherheitsanalysen werden diese Prozesse sowie der Transport der Radionuklide bis in die Biosphäre modelliert und daraus potenzielle zukünftige Strahlenexpositionen für Personen berechnet. Um Ungewissheiten bezüglich der zukünftigen Entwicklungen des Endlagersystems im Nachweiszeitraum und bezüglich von Kennwerten bzw. Modellparametern zu berücksichtigen, werden in Langzeitsicherheitsanalysen häufig abdeckende Annahmen getroffen. Nach internationalem Verständnis (ICRP 122) dienen derartige Modellrechnungen zur Bewertung der Sicherheit des Endlagersystems in der Nachverschlussphase. Dazu erfolgt ein Vergleich der Ergebnisse der Modellrechnungen mit nationalen Grenzwerten für die Strahlenexpositionen, die unterschritten werden müssen, bzw. mit entsprechenden nationalen Richtwerten. In ICRP 122 wird darauf hingewiesen, dass die berechneten Strahlenexpositionen keine Prognosen hinsichtlich einer tatsächlichen radiologischen Belastung von in der Zukunft lebenden Individuen darstellen.

Die Nagra hat im Rahmen ihrer Arbeiten in den Etappen 1 und 2 Analysen zum Radionuklidtransport durchgeführt. Das diesen Rechnungen zu Grunde gelegte Modellinventar für die verschiedenen Arten von radioaktiven Abfällen, das im Jahr 2014 aktualisiert worden ist (NTB 14-04), enthält neben Angaben zu den radiologischen Inventaren auch Daten zu den chemischen Inhaltsstoffen. Diese wurden bisher nur im Hinblick auf eine Abschätzung der durch Korrosionsprozesse von metallischen Inhaltsstoffen verursachte Gasbildung im Tiefenlager berücksichtigt.

In allen Standortgebieten, die in Etappe 3 SGT weiter zu betrachten sind, stellt Opalinuston das Wirtsgestein für das Tiefenlagerbergwerk dar. Ein Radionuklid- bzw. Schadstofftransport im ungestörten Opalinuston erfolgt maßgeblich per Diffusion und damit langsam, während der advective Transport aufgrund der geringen Permeabilitäten des ungestörten Opalinustons allenfalls eine untergeordnete Rolle spielt. Bei der Positionierung des Tiefenlagerbergwerks werden Sicherheitsabstände von mehreren Zehner Metern zu erkannten Störungen

bzw. Störungszonen eingehalten, in denen je nach geologischen Randbedingungen ein schnellerer, advektiver Radionuklidtransport möglich wäre.

Bei den in Etappe 3 weiter zu betrachtenden Standortgebieten kann eine Freisetzung von Radionukliden aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich in Aquifere oberhalb bzw. unterhalb des Opalinustons erfolgen. Bei dem Aquifer oberhalb des Opalinustons handelt es sich um einen Malm-Aquifer, während unterhalb des Opalinustons ein Keuper-Aquifer und ein Muschelkalk-Aquifer vorhanden sind. Außerdem sind in den Rahmengesteinen des Opalinustons Grundwasser-führende Gesteine anzutreffen (Sandsteinkeuper und Wedelsandstein). Nach Einschätzung der Nagra üben diese Gesteine eine gewisse Drainagefunktion für eventuell aus dem Opalinuston austretende Radionuklide aus. Der daraus resultierende Verdünnungseffekt der Radionuklide stellt in Ergänzung zum Einschluss der Radionuklide im einschlusswirksamen Gebirgsbereich eine weitere Schutzfunktion dar.

In den Langzeitsicherheitsanalysen wird unterstellt, dass die jeweils nächstgelegenen Verbindungen mit Lockergesteinsaquiferen mögliche Exfiltrationsgebiete für die einzelnen Standortgebiete darstellen, in denen die Radionuklide in den menschlichen Lebensraum gelangen können. Wegen der räumlichen Nähe der Standortgebiete zueinander besitzen sie zum Teil dieselben Exfiltrationsgebiete.

In Haldimann & Schatzmann (NAB 13-75) sind für die Standortgebiete ZNO, NL und JO folgende Exfiltrationsgebiete ausgewiesen und die hydrogeologischen und hydrologischen Kennwerte für die oberflächennahen Grundwasserleiter zusammengefasst, von denen hier nur der jeweilige Grundwasserfluss in der dritten Spalte wiedergegeben ist (s. Tabelle 1).

Tab. 1: Exfiltrationsgebiete für oberflächennahe Grundwasserleiter

Exfiltrationsgebiete	Grundwasserleiter	GW-Fluss [m ³ /a]	ZNO	NL	JO
Rheinfallrinne	*		x		
Rheintal Kaiserstuhl-Mellikon	Rheintalschotter	2,3·10 ⁶	x	x	
Klettgau Wilchingen	Klettgau-Schotter und Hochterrassenschotter	1,3·10 ⁷	x		
Rheintal Riethem	Rheintalschotter	2,6·10 ⁶	x	x	
Rheintal Koblenz	Rheintalschotter	1,5·10 ⁶	x	x	
Sissletal Bözen	Juraschotter, eckige Kalkgerölle mit viel Sand, Silt und Ton	1,2·10 ⁵			x
Aaretal Beznau	Hochterrassen- und Niederterrassen-Schotter	9,7·10 ⁶			x
Aaretal Döttingen	Niederterrassen-Schotter und z.T. Hochterrassen-Schotter	1,2·10 ⁷			x
Rheintal Kaisten	Niederterrassen-Schotter und z.T. Hochterrassen-Schotter	3,6·10 ⁶			x

* Exfiltrierendes Felswasser tritt hier nicht in einen Lockergesteinsaquifer über, sondern direkt in das Oberflächengewässer Rhein.

In den Exfiltrationsgebieten liegen die Grundwasserdurchflüsse mit einer Ausnahme (Sissletal Bözen) oberhalb von 10⁶ m³/a. Das Sissletal ist ein enges Tal im Aargauer Tafeljura, das sich bei Hornussen mit dem parallel streichenden Tal des Zellerbachs vereinigt. Der Wert von 10⁶ m³/a wurde als Grundwasserdurchfluss bei den provisorischen Sicherheitsanalysen in Etappe 2 SGT für alle betrachteten Standortgebiete und Exfiltrationsgebiete bei der Modellierung der generischen Referenzbiosphäre herangezogen (NAB 13-04). Diese Vorgehensweise wurde von der ESchT als sachgerecht für Etappe 2 SGT eingestuft (ESchT 2017b).

In den Exfiltrationszonen ist die Grundwassernutzung unterschiedlich, wobei zwischen Trinkwassernutzung, Brauchwassernutzung und thermischer Nutzung zu unterscheiden ist. Daten zur Grundwassernutzung in den einzelnen Exfiltrationszonen sind in NAB 13-75 für die Schweizer aber auch für die deutsche Seite angegeben, wobei sich die Angaben auf ein überschaubares Gebiet, den sog. „Betrachtungssperimeter Grundwassernutzung“, beziehen. Eine detaillierte Bilanzierung war nicht das Ziel dieser Untersuchungen. Bei der Brauchwassernutzung spielt die Bewässerung von landwirtschaftlichen Kulturen eine untergeordnete Rolle.

Bei allen drei Standortgebieten gelangen Radionuklide, die in der Nachverschlussphase aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich freigesetzt würden, nach den vorliegenden Modellvorstellungen in Grundwasserleiter, die jeweils nahe der schweizerisch-deutschen Grenze liegen. In der Exfiltrationszone Rheintal Kaiserstuhl-Mellikon strömt der Hauptanteil des Grundwassers auf der rechtsseitigen deutschen Seite.

Nach den Ergebnissen der provisorischen Sicherheitsanalysen in Etappe 2 SGT sind aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich freigesetzte Radionuklide allenfalls in einigen 100.000 Jahren in der Biosphäre zu erwarten, wobei lediglich so kleine Radionuklidkonzentrationen auftreten, dass die errechneten potenziellen Strahlenexpositionen unterhalb des Schwellenwertes gemäß Schweizer Strahlenschutzverordnung von 0,01 mSv/a liegen, ab dem eine weitere Optimierung nicht mehr erforderlich ist. Nach den Modellrechnungen gelangen die Radionuklide letztlich in den Rhein bzw. zunächst in die Aare und dann in den Rhein. Die Abflussmengen der Aare und des Rheins liegen im Mittel bei $1,6 \cdot 10^{10}$ m³/a, beim Rhein betragen sie $2,8 \cdot 10^{10}$ m³/a, so dass es zu einer entsprechenden weiteren Verdünnung der Radionuklidkonzentrationen käme.

Einschätzung der ESchT

Die langzeitsicherheitsanalytischen Rechnungen der Nagra in Etappe 2 lassen die sicherheitstechnische Eignung der in Etappe 3 weiter zu betrachtenden Standorte erwarten. Nach (ESchT 2017b) wurden die Berechnungen der potenziellen zukünftigen Strahlenexpositionen entsprechend der international praktizierten Vorgehensweise durchgeführt und die Ergebnisse als belastbar für einen sicherheitstechnischen Vergleich der Standortgebiete eingeschätzt. Hinsichtlich der möglichen Gefährdungen von Wasservorkommen in der Nachverschlussphase ist aus Sicht der ESchT zu berücksichtigen, dass aufgrund der methodischen Vorgehensweise bei Langzeitsicherheitsanalysen keine tatsächlich zu erwartenden, zukünftigen radiologischen Belastungen der Gewässer errechnet werden. Bei den Modellrechnungen werden in vielen Fällen abdeckende Modellparameter verwendet, um Ungewissheiten bezüglich der Kennwerte sowie der zukünftigen Entwicklungen des Endlagersystems im Nachweiszeitraum zu berücksichtigen. Die Ergebnisse derartiger Modellrechnungen dienen anhand des Vergleichs mit nationalen Grenz- oder Richtwerten zur Bewertung der Langzeitsicherheit des Endlagersystems. Nach jetzigem Kenntnisstand treten in der Nachverschlussphase Radionuklidfreisetzungen in Grundwässer sowie in Oberflächengewässer – wenn überhaupt – erst in sehr ferner Zukunft ein.

5. Geplante Maßnahmen zum Schutz von Wasservorkommen

Ausführungen der Nagra über Maßnahmen zum Schutz von Wasservorkommen finden sich insbesondere in den Berichten NTB 13-01, NAB 14-50 und NAB 14-51 sowie in den Antworten auf eine Anfrage an das Technische Forum Sicherheit (TFS 2016).

Ausgehend von Verordnungen (KEV, UVEK) und Richtlinien (ENSI) wurden von der Nagra der Strahlenschutz und die nukleare Betriebssicherheit, die Sicherheit bezüglich konventioneller Störfälle während des Betriebs und der Schutz des Grundwassers durch Bauten in der Bau- und Betriebsphase in NTB 13-01 qualitativ analysiert. Vorsorgliche Maßnahmen zum Schutz von Grund- und Oberflächenwasser, zum Beispiel durch geeignete Auslegung von Gebäuden sowie Betriebsabläufen, sind bei der Planung von Oberflächenanlagen und Nebenzugangsanlagen zu treffen.

Errichtung der Oberflächenanlagen (OFA)

Betrachtungen zur Errichtung der OFA erfolgen in NTB 13-01. Zu den OFA gehört demnach neben den obertägigen Bauwerken auch die Herstellung des Zugangs nach untertage, womit gemäß NTB 13-01, S.54, der oberflächennahe Abschnitt des Zugangstunnels gemeint ist („Oberflächennaher Zugangstunnel (oZT)“). Es wird angestrebt, bei der Errichtung der OFA „wenn möglich kein Grundwasser [zu] durchfahren“ (TFS 2016). In dem Fall wäre keine gewässerschutzrechtliche Bewilligung erforderlich, wenn der Bau im sogenannten „übrigen Bereich (üB)“ (NTB 13-01) erfolgt. Im Falle einer Errichtung im Gewässerschutzbereich A_u wäre eine „gewässerschutzrechtliche Bewilligung erforderlich, wobei die Bewilligungsfähigkeit grundsätzlich gegeben ist“.

Außerdem werden (hypothetische) Situationen beschrieben, die mit einem Eindringen oder Durchdringen eines nutzbaren Grundwasserleiters in einem Gewässerschutzbereich verbunden wären. In diesen Fällen sei eine gewässerschutzrechtliche Ausnahmegewilligung erforderlich. Die derzeitigen Planungen sehen eine solche Situation allerdings nicht vor. Darüber hinaus enthält (NTB 13-01) folgende grundsätzliche Festlegung (S. 53): „Bei der Planung der Oberflächenanlage ist zusätzlich für alle Standortgebiete der in der Schweiz geltende flächendeckende Grundwasserschutz zu berücksichtigen, und die allgemeine Sorgfaltspflicht und das Verunreinigungsverbot sind umzusetzen, um nachteilige Auswirkungen auf die Gewässer zu vermeiden.“

Entsprechend den Anforderungen des Gewässerschutzgesetzes (GSchG 1991) und der Gewässerschutzverordnung (GSchV 1998) werden Grundwasserschutzzonen (Schutzstatus

S1 und S2 im Umfeld von Grundwasserfassungen, zusätzlich S3, S_h, S_m für Lockergesteins-, Karst- und Klufgrundwasserleiter) sowie „Grundwasserschutzareale“ für die zukünftige Trinkwassernutzung als Standortareale für die Oberflächenanlage ausgeschlossen (TFS 2016, S. 7). Im Gewässerschutzbereich A_u ist dagegen eine Errichtung grundsätzlich möglich (s.o.). Die mögliche Lage von Oberflächenanlagen in Bezug auf die Grundwassersituation wird vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) entsprechend Abbildung 3 illustriert. Es werden modellhaft die verschiedenen Grundwasserschutzzonen (S1 – S3) und ein Grundwasserschutzareal dargestellt, die als Standorte für Oberflächenanlagen ausgeschlossen sind (in der Grafik links oben und rechts unten). Außerdem sind der Gewässerschutzbereich (A_u) und die „übrigen Bereiche“ dargestellt, die grundsätzlich als Standorte in Frage kommen.

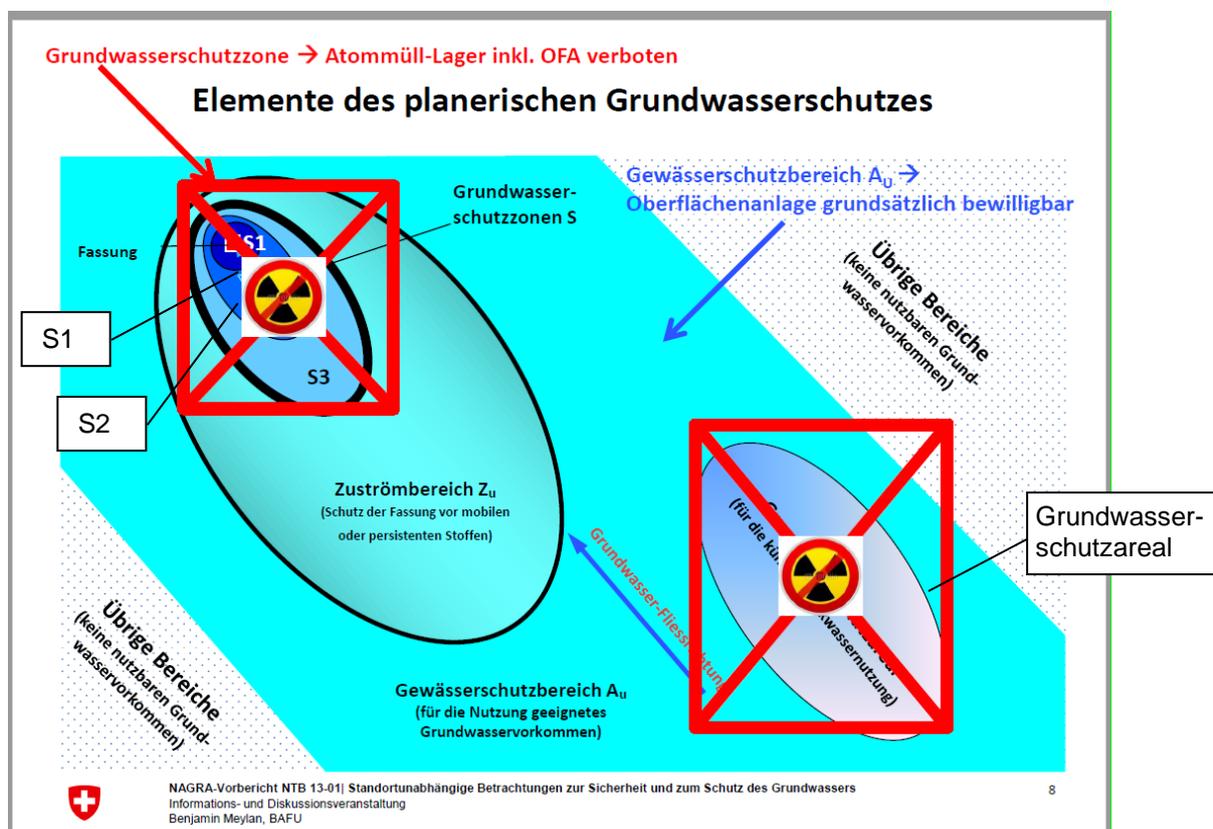


Abbildung 3: Schematische Darstellung von Grundwasserschutzzonen und -schutzarealen, in denen keine OFA errichtet werden darf, sowie von Gewässerschutzbereichen A_u (BAFU 2013b)

Betrieb der Oberflächenanlagen (OFA)

Die nachfolgenden Betrachtungen basieren im Wesentlichen auf den Ausführungen der Nagra in NTB 13-01. Zum Betrieb der OFA führt die Nagra aus, dass wassergefährdende

Stoffe nicht in größeren Mengen auf der Anlage sein werden. Es handelt sich dabei um Schmierstoffe, Reinigungsmittel und Hydrauliköl, die im Wesentlichen der Klasse B nach (GSchV 1998) zuzuordnen sind (Stoffe, die Wasser in großen Mengen verunreinigen können). Hydrauliköl soll dabei durch synthetische Öle ersetzt werden. Ausnahme ist die Bevorratung von ca. 60.000 l Dieseltreibstoff für die Ersatzstromanlage. Im Gewässerschutzbereich A_u erfordert dies eine gewässerschutzrechtliche Bewilligung – aber keine Ausnahmebewilligung. Für den Grundwasserschutz ist auch das anfallende Bergwasser potenziell relevant. Dieses soll bei Bedarf vorbehandelt und in den Vorfluter eingeleitet werden.

Eine grundwasserrelevante Freisetzung aus den radioaktiven Abfällen schließt die Nagra aus, da die Abfälle verpackt sind und keine Flüssigkeiten enthalten. Nicht konforme Abfälle, die die Annahmebedingungen nicht erfüllen, werden an den Absender zurückgeschickt (NTB 13-01, S. 31). Radioaktive Stoffe werden gem. GSchV 1998 hinsichtlich ihrer Wassergefährdung nur als relevant eingestuft, wenn sie auf Grund ihrer chemischen Eigenschaften biologische Wirkungen haben.

Die Maßnahmen für den sicheren Betrieb beim Verpacken der HAA sowie beim Umverpacken der SMA und LMA sind in NTB 13-01 für eine generische Anlagensituation beschrieben. Im Normalbetrieb werden Freisetzungen luftgetragener radioaktiver Stoffe nur beim Verpacken der Brennelemente erwartet, wobei die Emissionen deutlich unter den zulässigen Werten für kerntechnische Anlagen liegen werden (NTB 13-01, S. 36)⁵.

Zum Schutz bei radiologischen Störfällen wird ausgeführt: „Die Oberflächenanlage soll so ausgelegt werden, dass auch bei Störfällen mit kleiner Eintretenshäufigkeit (kleiner als 10⁻⁴ pro Jahr) eine erhebliche Freisetzung von Radioaktivität ausgeschlossen werden kann, und die resultierende Dosis für nichtberuflich strahlenexponierte Personen unter 1 mSv liegt“ (NTB 13 01, S. 32). Die Nagra geht entsprechend davon aus, dass auf die Vorbereitung und Durchführung von Notfallschutzmaßnahmen verzichtet werden kann. Die grundsätzlich zu berücksichtigenden Störfälle (Einwirkungen von innen und von außen) sind in einem „allgemeinen Störfallkatalog“ (NTB 13-01, S. 38) dargelegt. Zur Konkretisierung werden „bei den zukünftigen standortspezifischen Sicherheitsanalysen [...] die spezifischen lokalen Bedingungen berücksichtigt“ (NTB 13-01, S. 37). Maßnahmen zur Störfallvermeidung und -beherrschung werden generisch beschrieben (NTB 13-01, S. 40 ff.). Aufgrund der Eigenschaften der Abfälle wird auch eine Kontamination ggf. anfallenden Löschwassers praktisch ausgeschlossen. Gleichwohl soll ggf. eine Beprobung des im Auffangbecken gesammelten Löschwassers erfolgen (NTB 13-01, S. 69).

⁵ Zum derzeit diskutierten Konzept, die Brennelement-Verpackungsanlage (BEVA) außerhalb der OFA an einem anderen Standort zu errichten, siehe Kapitel 3.

Zusammenfassend nennt die Nagra „eine geeignete Auslegung der Anlage, der technischen Einrichtungen und der Betriebsabläufe unter Berücksichtigung der gewässerschutzrechtlichen Anforderungen“ als wesentlichen Beitrag, um die Gefährdung des Grundwassers zu minimieren.

In seiner Stellungnahme zum NTB 13-01 bestätigt das BAFU, dass es die Schlussfolgerung der Nagra teilt, dass „der sichere Bau und Betrieb der Oberflächenanlage bei geeigneter Standortwahl und Auslegung der Anlage und der Betriebsabläufe gewährleistet werden kann, und dass eine Oberflächenanlage auch im Gewässerschutzbereich A_u keine besondere Gefährdung für das Grundwasser darstellt“ (BAFU 2013a). Dieser Einschätzung schließt sich das BFE in seiner Antwort auf eine Teilfrage in (TFS 2016) an.

Errichtung und Betrieb der Zugangsbauwerke

In NAB 14-50 erfolgen Betrachtungen potenzieller Umweltgefährdungen bei Errichtung und Betrieb der Zugangsbauwerke, die definitionsgemäß „von der Oberfläche bis in den Zentralen Bereich auf Lagerebene“ reichen (S. 4), wobei für jeden Standort verschiedene Varianten von Zugängen über Schacht oder Rampe berücksichtigt werden. In dem Bericht „wird die nukleare Betriebssicherheit eines geologischen Tiefenlagers nicht und die Langzeitsicherheit nur am Rande behandelt“ (S. 4).

Als potenzielle Gefährdungen / Belastungsarten von Wasservorkommen, zu deren Vermeidung bei der Errichtung und beim Betrieb der Anlagen ggf. Maßnahmen vorzusehen sind, werden dort genannt:

1. „Verbindung von Grundwasserstockwerken (hydraulisch, chemisch, thermisch)
2. Schutz von Thermal- und Mineralwassernutzung (hydraulisch, chemisch)
3. Kurzfristige und dauerhafte Drainage des Gebirges (hydraulisch)
4. Durchflusskapazität durch Einbauten verringern (hydraulisch)
5. Verunreinigung des Grundwassers oder der Oberflächengewässer (chemisch, toxisch, thermisch)“

Für die potenziellen Gefährdungen 1. und 3. kommt die Nagra zu der Einschätzung, dass während der Errichtung ein „akzeptiertes Risiko“ nicht mit „Standardmaßnahmen“ erreicht werden kann. Für die potenzielle Gefährdung 3. gilt dies auch während des Betriebs. Für alle anderen potenziellen Gefährdungen ist ein „akzeptiertes Risiko“ während Errichtung und Betrieb mit „Standardmaßnahmen“ erreichbar (NAB 14-50, S. 49 ff.).

Als auslösende Ereignisse für die potenziellen Gefährdungen 1. und 3. werden in der Risikobewertung genannt:

- Initialer Wassereinbruch aus einer Kluft/Störung (2b-1)
- Stationär zufließendes Wasser aus einer Kluft/Störung (2b-2)
- Initialer oder wiederkehrender Wassereinbruch aus angefahrenem Karst (2c-1)
- Stationär zufließendes Wasser aus angefahrenem Karst (2c-2)
- Chemismus, Aggressivität des Wassers (Einwirkung auf Umwelt, Beton, Metall, Kunststoff etc.) (2d)
- Schlammereinbruch durch sedimentverfüllte Karsthohlräume (3)

In der standort- und konfigurationsspezifischen Risikobewertung wird für diese Ereignisse eine Vielzahl von (Zusatz-)Maßnahmen genannt, die „den Wasserandrang verhindern oder möglichst beschränken“ sollen (NAB 14-50, S. 89). Zentrale Bedeutung kommt dabei der standortspezifischen Vorauserkundung zu, um wasserführende Elemente möglichst vorab zu identifizieren. Weitere Maßnahmen sind beispielsweise Abdichtungen (z.B. Injektion von Dichtmaterial), angepasste Linienführung bei Rampen, Wasserhaltung, Überwachung der Sickerwassermenge, Aufbereitung von Bergwasser vor Einleitung in einen Vorfluter.

Laut Nagra sind entsprechende Vorgehensweisen aus dem Bergbau bekannt und stellen keine endlagerspezifische Herausforderung dar.

Betrieb der Untertageanlagen

Der Betrieb der Untertageanlagen wird im Bericht NAB 14-51 behandelt. Dort werden sowohl nukleare als auch konventionelle Auswirkungen betrachtet. Die Maßnahmen zur Verhinderung, Begrenzung und Bewältigung von Belastungen folgen laut Nagra dem in der Kerntechnik etablierten Konzept des gestaffelten Sicherheitssystems mit den Stufen:

1. Präventive Maßnahmen zur Störfallvermeidung
2. Betriebsüberwachung zur Störfallerkennung
3. Sicherheitsgerichtete Anlagenauslegung zur Störfallbeherrschung
4. Aktive und passive Maßnahmen zur Beherrschung und Begrenzung der Belastungsintensitäten innerhalb der Anlage (Störfallbeherrschung und -bewältigung)
5. Aktive und passive Maßnahmen zur Beherrschung und Begrenzung der Schäden und der (radiologischen) Auswirkungen bzw. Konsequenzen außerhalb der Anlage (Störfallbeherrschung und -bewältigung)

Wesentliche Maßnahmen zur Verhinderung relevanter Freisetzungen von radioaktiven Stoffen auch bei thermischen und mechanischen Einwirkungen stellen die Endlagerbehälter, internen Transportbehälter und Zusatzverpackungen dar (NAB 14-51, S. 99 ff.). Die Widerstandsfähigkeit dieser Verpackungen ist auch im Falle von Störfällen gegeben (NAB 14-51, S. 103 ff.). Als relevante Störfälle werden (1) Flugzeugabsturz, (2) Fördermittelunfall mit anschließendem Fördermittelbrand sowie (3) Wassereinbruch aus einem wasserführenden Karstsystem oder einer wasserführenden Störungszone identifiziert und diskutiert.

Um im Fall (2) bei einem auslegungsüberschreitenden Ereignis die Auswirkungen zu begrenzen, sind auch Maßnahmen vorgesehen, die eine unkontrollierte Ausbreitung kontaminierter Luft verhindern sowie die Sammlung, ggf. Reinigung und Kontaminationsprüfung von Löschwasser ermöglichen.

Insgesamt ist gemäß NAB 14-51 eine radiologische Gefährdung von Wasservorkommen beim Betrieb der Untertageanlage nicht zu unterstellen.

Hinsichtlich des Schutzes von Wasservorkommen vor nicht radiologischen Einwirkungen beim Betrieb der Untertageanlagen stellt die Begrenzung der Mengen wassergefährdender Flüssigkeiten eine zentrale Maßnahme dar. Ergänzend sollen geeignete Verpackungen, die getrennte Lagerung sowie die Reinigung ggf. verunreinigten Wassers den Schutz von Wasservorkommen auch im Falle von Störfällen gewährleisten.

Einschätzung der ESchT

Die Ausführungen der Nagra in NTB 13-01 bezogen auf die OFA entstammen einer relativ früheren Planungsphase. Sie sind entsprechend allgemeiner Natur und adressieren eher Planungsziele als konkrete Maßnahmen. Die Antworten auf die Fragen zum Grundwasserschutz in TFS 2016 vertiefen die Ausführungen nicht weiter. Auf diesem übergeordneten Niveau sind die Ausführungen grundsätzlich plausibel. Gleichwohl ist aus Sicht der ESchT die Aussage, dass die OFA auch im Gewässerschutzbereich A_u keine besondere Gefährdung für das Grundwasser darstellen, in folgenden Verfahrensschritten weiter zu belegen. Neben dem Detaillierungsgrad, der mit fortschreitender Planung zu vertiefen ist, greifen die Betrachtungen auch noch nicht alle Aspekte auf, die im Kontext des Grundwasserschutzes in Bezug auf die OFA relevant sein könnten.

Die Ausführungen zum Schutz von Wasservorkommen bei Errichtung und Betrieb der Zugangsbauwerke in NAB 14-50 vermitteln, gemessen am relativ frühen Verfahrensstand, bereits einen sehr guten Einblick in die potenziellen konventionellen Gefährdungen, auslösen-

den Ereignisse und geplanten Maßnahmen. Der Planungsstand reflektiert die umfangreichen Erfahrungen aus dem – nicht endlagerspezifischen – Tunnel- und Bergbau. Alle Ausführungen über die Beherrschbarkeit der Risiken für die Wasservorkommen sind für die ESchT nachvollziehbar.

Die Ausführungen und Einschätzungen zum Betrieb der Untertageanlagen in NAB 14-51 sind grundsätzlich plausibel, bedürfen aber, ebenso wie die Betrachtungen zum Betrieb der OFA, noch einer Vertiefung. Beispielsweise erfordert die Definition der relevanten (abdeckenden) Störfälle eine detaillierte Darlegung der Anordnung der Betriebsbereiche untertage, der Betriebsabläufe und -organisation. Nur auf dieser Basis ist aus Sicht der ESchT eine abschließende Einschätzung über den Schutz von Wasservorkommen beim Betrieb der Untertageanlagen möglich.

Betrachtungen zur Nachverschlussphase des Endlagers liegen bisher in generischer Form im „Sicherheitstechnischen Vergleich“ (NTB 14-01) vor. Dazu hat die ESchT Stellung genommen (ESchT 2017b). Sie stellt u.a. fest, dass „die Verwendung einer Referenzbiosphäre für alle betrachteten Standortgebiete und Exfiltrationsgebiete in Etappe 2 [...] als sachgerecht eingestuft“ wird. Für die in Etappe 3 durchzuführenden Sicherheitsanalysen geht die ESchT davon aus, dass „jeweils standortspezifische Biosphärenmodelle für die möglichen Exfiltrationsgebiete in den Standorten verwendet werden“. Aussagen zum Schutz von Wasservorkommen in der Nachverschlussphase wären auf dieser Basis zu konkretisieren.

6. Völkerrechtliche Aspekte zum Schutz von Wasservorkommen

Es existieren verschiedene, in diesem Zusammenhang einschlägige völkerrechtliche Übereinkommen zum allgemeinen Schutz von Oberflächengewässern, die in der näheren Umgebung der von der Schweiz geplanten Tiefenlager für radioaktive Abfälle liegen. Zum einen handelt es sich um Übereinkommen zum Schutz des Bodensees, zum anderen zum Schutz des Rheins.

Übereinkommen zum Schutz des Bodensees

In dem am 27.10.1960 geschlossenen „Übereinkommen über den Schutz des Bodensees gegen Verunreinigungen“ (IGKB 1960) verpflichten sich die Anliegerstaaten des Bodensees, das Land Baden-Württemberg, der Freistaat Bayern, die Republik Österreich und die Schweizerische Eidgenossenschaft (Kantone St. Gallen und Thurgau) zur Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Gewässerschutzes für den Bodensee. Das Übereinkommen findet Anwendung auf den Bodensee verstanden als Obersee und Untersee. Die Anliegerstaaten verpflichten sich, den Bodensee vor weiterer Verunreinigung zu schützen und seine Wasserbeschaffenheit nach Möglichkeit zu verbessern. Zu diesem Zweck werden sie die in ihrem Gebiet geltenden Gewässerschutzvorschriften für den Bodensee und seine Zuflüsse mit Nachdruck vollziehen (Art. 1 Abs. 2). Eine Pflicht zur zeitgerechten Mitteilung gegenüber den anderen Anliegerstaaten besteht, wenn eine Wassernutzung geplant ist, welche die Interessen eines anderen Anliegerstaates an der Reinhaltung des Bodensees beeinträchtigen können (Art. 1 Abs. 3). Eine gezielte Nutzung, etwa durch Ableitungen von Wasser und damit verbundenen Beeinträchtigungen der Wasserbeschaffenheit des Bodensees, ist im Rahmen der Errichtung von Tiefenlagern nicht beabsichtigt. In Betracht kommt allenfalls eine (mittelbare) Verunreinigung des Bodensees durch austretendes, durch ein Tiefenlager kontaminiertes Grundwasser. Aufgrund der hydrogeologischen Situation in der Nordschweiz bestehen für ein derartiges Verschmutzungsrisiko indes keine Anhaltspunkte.

Das von den Anliegerstaaten des Bodensees, der Bundesrepublik Deutschland, der Republik Österreich und der Schweizerischen Eidgenossenschaft, am 30. April 1966 geschlossene „Übereinkommen über die Regelung von Wasserentnahmen aus dem Bodensee“ (ÜRWB 1967) enthält Regelungen zur Steuerung von Wasserentnahmen aus dem Bodensee. Art. 3 Abs. 3 des Abkommens verweist in Bezug auf Maßnahmen zur Reinhaltung des Bodensees auf das Übereinkommen vom 27. Oktober 1960 über den Schutz des Bodensees gegen Verunreinigung (siehe soeben). Eigenständige Regelungen, die die durch Einleitun-

gen oder Einsickerungen von mit Radionukliden kontaminierten Wasser in den Bodensee betreffen, enthält das Abkommen nicht.

Insgesamt ist nach dem derzeitigen Kenntnisstand ausgeschlossen, dass die geplanten Tiefenlager Verschmutzungen des Bodensees auslösen. Das einzig in Betracht kommende Übereinkommen über den Schutz des Bodensees gegen Verunreinigungen findet keine Anwendung.

Abkommen zum Schutz des Rheins

Zentral ist das „Übereinkommen zum Schutz des Rheins“ (ÜSR 1999), das am 12. April 1999 zwischen Deutschland, Frankreich, Luxemburg, Niederlande, Schweiz und der Europäischen Union geschlossen wurde. Dieser Vertrag ersetzt den Berner Vertrag von 1963 und das Chemieübereinkommen von 1976 (IKSR 2019). Das Übereinkommen zum Schutz des Rheins ist die rechtliche Grundlage für die Arbeit der Kommission zum Schutz des Rheins, die u.a. bei der Koordinierung der EU-Wasserrahmen-Richtlinie 2000/60/EG mitwirkt (BMU 2008).

Das Übereinkommen zum Schutz des Rheins findet gem. Art. 2 nicht nur auf den Rhein selbst Anwendung, sondern auch auf das Grundwasser, das in Wechselwirkung mit dem Rhein steht; die aquatischen und terrestrischen Ökosysteme, die in Wechselwirkung mit dem Rhein stehen oder deren Wechselwirkung mit dem Rhein wiederhergestellt werden könnten; das Einzugsgebiet des Rheins, soweit dessen stoffliche Belastung nachteilige Auswirkungen auf den Rhein hat; das Einzugsgebiet des Rheins, soweit es für die Hochwasservorsorge und den Hochwasserschutz am Rhein von Bedeutung ist. Falls also mittelbar Einträge von Radionukliden aus einem Tiefenlager in den Rhein erfolgen, etwa über das Grundwasser, ist das Übereinkommen einschlägig. Es löst bei Verschmutzungen Unterrichts-, Informations- und Kooperationspflichten der Vertragsstaaten aus; es enthält darüber hinaus eine allgemeine Vermeidungs-, Verminderungs- und Beseitigungspflicht von Verschmutzungen des Rheins – auch über das Grundwasser (Art. 3). Die Vertragsstaaten haben ferner die von der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins ergangenen Beschlüsse durchzuführen (Art. 5). In erster Linie beziehen sich die Pflichten der Vertragsstaaten auf die Verhütung von Verschmutzungen durch Direkteinleitungen. Allerdings bestehen eine Vorsorge- und Vorbeugepflicht sowie eine Pflicht, Umweltbeeinträchtigungen mit Vorrang an ihrem Ursprung zu bekämpfen (Art. 4). Hieraus kann der Schluss gezogen werden, dass bei der Bestimmung von Tiefenlagern zumindest zu untersuchen ist, inwieweit indirekte Verunreinigungen möglich sind, insbesondere über das Grundwasser, und insoweit eine Gefährdung des Rhein-

wassers durch radioaktive Stoffe besteht. I.Ü. enthält das Übereinkommen bezüglich der Standortsuche für ein Tiefenlager keine konkreten Pflichten.

Das „**Übereinkommen zum Schutz und zur Nutzung grenzüberschreitender Wasserläufe und internationaler Seen**“ der Vereinten Nationen von 1992 (Watercon 1992), das sowohl von Deutschland als auch von der Schweiz ratifiziert wurde (UNTC 2019), geht über die Pflichten des Übereinkommens zum Schutz des Rheins nicht hinaus.

Einschätzung der ESchT

Weder zwischenstaatliche Übereinkommen zum Schutz des Bodensees noch zum Schutz des Rheins stehen der Standortfestlegung für die Schweizer Tiefenlager nach aktuellem Erkenntnisstand entgegen.

Allenfalls ist aus den Vorsorge- und Vorbeugeverpflichtungen der Übereinkommen, insbesondere des Übereinkommens zum Schutz des Rheins, ableitbar, dass im Rahmen des Verfahrens über die Auswahl der Standorte des Schweizer Tiefenlagers Untersuchungen durchgeführt werden, die klären, ob das Risiko einer – auch nur mittelbaren etwa durch das Grundwasser erfolgenden – Verunreinigung des Bodensees oder des Rheins durch Radionuklide besteht.

7. Referenzen

- BAFU 2013a Bundesamt für Umwelt BAFU, Sektion UVP und Raumordnung: NTB 13-01; Standortunabhängige Betrachtungen zur Sicherheit und zum Schutz des Grundwassers
Stellungnahme BAFU, Bern, 10. September 2013
- BAFU 2013b Bundesamt für Umwelt BAFU: NAGRA-Vorbericht NTB 13-01; Standortunabhängige Betrachtungen zur Sicherheit und zum Schutz des Grundwassers Informations- und Diskussionsveranstaltung, Benjamin Meylan, undatiert
- BFE 2013 Pressemitteilung des BFE: Bericht zur Sicherheit einer Oberflächenanlage und zum Grundwasserschutz, <https://www.ensi.ch/de/2013/09/16/bfe-bericht-zur-sicherheit-einer-oberflaechenanlage-und-zum-grundwasserschutz/> (aufgerufen am 02.05.2019)
- BMU 2008 Mitteilung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR), <https://www.bmu.de/themen/wasser-abfall-boden/binnengewasser/fluesse-und-seen/flussgebietskommissionen/iksr/> (aufgerufen am 02.05.2019)
- BUWAL 2004 Wegleitung Grundwasserschutz
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern, 2004
- ENSI 2013 Resultate der Prüfung von NTB 13-01 zuhanden des BFE
Schreiben des ENSI an das BFE, Brugg, 12.09.2013
- ESchT 2014 Stellungnahme der ESchT zu den Planungsstudien der Nagra für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers
Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager, 22.07.2014
- ESchT 2015 Stellungnahme der ESchT zur UVP-Voruntersuchung geologische Tiefenlager
Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager, 12.10.2015
- ESchT 2017a ESchT-Mitteilung: Übertragbarkeit der ESchT-Stellungnahme zur UVP-VU vom 12.10.2015 für die UVP-VU zur Variante NL-2-Kombi
Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager, 31.01.2017
- ESchT 2017b Stellungnahme der ESchT zum 2x2-Vorschlag der Nagra
Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager, 31.01.2017

- GSchG 1991 Gewässerschutzgesetz: Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GSchG, SR 814.20), <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19910022/index.html> (aufgerufen am 02.05.2019)
- GSchV 1998 Gewässerschutzverordnung (GSchV, 814.201), <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19983281/index.html> (aufgerufen am 02.05.2019)
- ICRP 2013 Radiological protection in geological disposal of long-lived solid radioactive waste
ICRP Publication 122. Ann. ICRP 42(3), 2013
- IKGB 1960 Übereinkommen über den Schutz des Bodensees gegen Verunreinigungen, <https://www.igkb.org/die-igkb-internationale-gewaesserschutz-kommission-fuer-den-bodensee/uebereinkommen-ueber-den-schutz-des-bodensees-gegen-verunreinigung/> (aufgerufen am 02.05.2019)
- IKSR 2019 Mitteilung der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR): Übereinkommen zum Schutz des Rheins, <https://www.iksr.org/de/iksr/rechtliche-basis/uebereinkommen/> (aufgerufen am 02.05.2019)
- INTERREG 2001 Abschlußbericht zum INTERREG II-Projekt: „Erkundung der Grundwasserleiter und Böden im Hochrheintal“. – 101 S.
Landratsamt Waldshut, Waldshut-Tiengen, 2001
- NAB 13-24 Hydrogeological model Zürich Nordost and Südranden
Arbeitsbericht der Nagra, Wettingen, Dezember 2013
- NAB 13-43 Hydrogeologische Daten der Tiefenaquifere als Grundlage für die hydrogeologischen Modelle SGT Etappe 2
Arbeitsbericht der Nagra, Wettingen, Dezember 2013
- NAB 13-75 Haldimann & Schatzmann: Charakterisierung der Lockergesteinsaquifere für die Modellierung der Biosphäre
Arbeitsbericht der Nagra, Wettingen, Juni 2014
- NAB 14-50 Bautechnische Risikoanalyse zur Realisierung der Zugangsbauwerke
Arbeitsbericht der Nagra, Wettingen, Dezember 2014
- NAB 14-51 Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Untertageanlagen der geologischen Tiefenlager in der Betriebsphase: Vorgaben, Vorgehen und Dokumentation der Ergebnisse
Arbeitsbericht der Nagra, Wettingen, Dezember 2014

- NAB 17-28 Grundwasseruntersuchungen am möglichen Standortareal ZNO-6b für eine Oberflächenanlage
Arbeitsbericht der Nagra, Wettingen, Dezember 2017
- NTB 02-02 Projekt Opalinuston. Konzept für die Anlage und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers. Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle
Technischer Bericht der Nagra, Wettingen, Dezember 2002
- NTB 02-03 Projekt Opalinuston. Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse. Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle
Technischer Bericht der Nagra, Wettingen, Dezember 2002
- NTB 05-02 Geologische Tiefenlagerung der abgebrannten Brennelemente, der hochaktiven und langlebigen mittelaktiven Abfälle. Darstellung und Beurteilung der aus sicherheitstechnisch- geologischer Sicht möglichen Wirtgesteine und Gebiete
Technischer Bericht der Nagra, Wettingen, August 2005
- NTB 08-04 Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager. Geologische Grundlagen.
Technischer Bericht der Nagra, Wettingen, Oktober 2008
- NTB 08-05 Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager. Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie. Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit
Technischer Bericht der Nagra, Wettingen, Oktober 2008
- NTB 13-01 Standortunabhängige Betrachtungen zur Sicherheit und zum Schutz des Grundwassers. Grundlagen zur Beurteilung der grundsätzlichen Bewilligungsfähigkeit einer Oberflächenanlage für ein geologisches Tiefenlager
Technischer Bericht der Nagra, Wettingen, August 2013
- NTB 14-02 Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Geologische Grundlagen. Dossier II: Sedimentologische und tektonische Verhältnisse
Technischer Bericht der Nagra, Wettingen, Dezember 2014
- NTB 14-04 Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien MIRAM 14
Technischer Bericht der Nagra, Wettingen, Dezember 2014
- NTB 16-01 Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen
Technischer Bericht der Nagra, Wettingen, Dezember 2016

- StfV 1991 Verordnung über den Schutz vor Störfällen,
<https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19910033/index.html>
(aufgerufen am 02.05.2019)
- TFS 2012 Umpackung in der Oberflächenanaloge
Technisches Forum Sicherheit (TFS), Frage 63, beantwortet im Mai 2012
- TFS 2016 Standortareale und Zugangstunnel – Beurteilung des Kriteriums Grundwasserschutz
Technisches Forum Sicherheit (TFS), Frage 88, beantwortet im März 2016
- UNTC 2019 United Nations Treaty Collection, Chapter XXVII, Environment, Ratifizierungen der Teilnehmer zu 5.Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes,
https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtmsg_no=XVII-5&chapter=27&lang=en (aufgerufen am 02.05.2019)
- ÜRWB 1967 Übereinkommen über die Regelung von Wasserentnahmen aus dem Bodensee,
<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010320> (aufgerufen am 02.05.2019)
- ÜSR 1999 Übereinkommen zum Schutz des Rheins,
https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Rechtliche_Basis/DE/legal_De_1999.pdf (aufgerufen am 27.01.2020)
- Watercon 1992 Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes,
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/pdf/watercon.pdf> (aufgerufen am 02.05.2019)

Anhang: Hydrogeologie

Oberste grundwasserführende Einheit in der Region bzw. im Grenzgebiet der Nordschweiz sind die quartären Kiese (Niederterrassenschotter) in den glazial ausgeräumten Taleinschnitten, in denen die Flüsse Rhein, Limmat, Reuss und Aare sowie einige kleinere Nebenflüsse auf weite Strecken verlaufen. Abschnittsweise verlaufen die Flüsse direkt auf dem Festgestein.

Regionale Tiefenaquifere werden durch die Obere Meeresmolasse und die Karstgrundwasserleiter des Malm (oberhalb des Opalinustons) und des Oberen Muschelkalks (unterhalb des Opalinustons) gebildet. Westlich des unteren Aaretals kommt der Hauptrogenstein-Aquifer (im Dogger oberhalb des Opalinustons) hinzu. Die Untere Süßwassermolasse ist generell als Grundwassergeringleiter anzusehen, kann aber einzelne wasserführende Schichten enthalten. Unterhalb des Opalinustons existieren im Oberen und Mittleren Keuper ebenfalls teilweise wasserführende Einschaltungen, die lokal als Aquifere ausgebildet sein können. Im zentralen Gebiet sind dies insbesondere Stubensandstein, Gansinger Dolomit und Schilfsandstein, im östlichen Gebiet können auch die Sandsteine des Rhät und der Kiesel-sandstein wasserführend sein. Im Buntsandstein und im aufgewitterten Kristallin existiert ebenfalls ein regionaler Aquifer (NAB 13-43).

Der Grundwasserstrom im Hochrheintal folgt weitgehend der Hauptrinne des Rheins. Zwischen dem Grundwasser in den quartären Kiesen und dem Rhein bestehen enge hydraulische Beziehungen. Bereichsweise tritt Grundwasser in den Rhein über, bereichsweise infiltriert der Rhein in das Grundwasser. Der Wechsel zwischen Infiltration und Exfiltration wird durch die Lage der Felsoberfläche (meist die Oberfläche der Molasse) bzw. durch den durchflusswirksamen Aquiferquerschnitt bestimmt. Direkte hydraulische Verbindungen zwischen dem Karstgrundwasser des Oberjura bzw. des Oberen Muschelkalks und dem Porengrundwasser in den quartären Kiesen bestehen dort, wo die Festgesteinsgrundwasserleiter an der Basis der Kiese anstehen, siehe unten (INTERREG 2001). Ansonsten ist der Rhein bezüglich des Grundwassers im Lockergesteinsaquifer eher als hydraulische Grenze anzusehen, da er als Vorfluter für die beiderseits von ihm gelegeneren Grundwassergebiete dient. Die natürlichen Grundwasserverhältnisse werden durch die Auswirkungen der zahlreichen technischen Stauwehre überprägt. Sie bedingen zusätzlich wiederholte Infiltrations- und Exfiltrationsstrecken entlang des Rheins.

Die Strömungsverhältnisse des Grundwassers im Malm-Aquifer im deutsch-schweizer Grenzgebiet und in der Nordschweiz sind komplex (NTB 02-03). Großräumig bilden die morphologisch tief liegenden Täler Exfiltrationsbereiche, in denen das Grundwasser in die Flüs-

se übertritt. Neben dem Rheintal sind dies entlang des Jurasüdfußes das Tal der Aare und innerhalb von Falten- und Tafeljura die Durchbrüche von Aare, Reuss und Limmat.

Im Süden Baden-Württembergs streicht der Malm-Grundwasserleiter in einem schmalen Südwest – Nordost verlaufenden Streifen zwischen Küssaberg/Dangstetten im Westen und südlich Klettgau aus. Ausgehend von diesem Neubildungsgebiet strömt das Grundwasser in süd- bis südwestliche Richtung dem Rhein zu, der die Vorflut bildet.

Auf Schweizer Gebiet liegt zwischen dem Rhein und Limmat, Reuss und Aare eine Grundwasserscheide. Nördlich davon strömt das Grundwasser im Malm-Aquifer dem Rhein zu, südlich davon den Flüssen Limmat, Reuss oder Aare. Malm-Grundwasser aus dem Raum Zürich Nordost tritt oberhalb des Rheinfalls bei Schaffhausen und im Rheinfall-Becken in Neuhausen in den Rhein und den alten Rheinlauf über (Modellierungen der Nagra, NTB 02-03).

Auf baden-württembergischer Seite strömt das Grundwasser des Muschelkalk-Aquifers im südlichen Alb-Wutach-Gebiet südlich einer breiten Grundwasserscheide, die vom Wutachknie bei Blumberg nach Südosten in Richtung Benken verläuft, nach Südwesten ab (Nagra, NTB 02-03). Der Muschelkalk steht ab etwa Wutöschingen im Kontakt mit der quartären Talfüllung im Wutachtal sowie weiter im Westen mit dem Rheintal. Dort tritt das Grundwasser aus dem Muschelkalk in die quartären Kiese über.

Im westlichen Abschnitt der Rheintalrinne werden die beiden Karstwassergrundwasserleiter lokal angeschnitten und kommen in Kontakt zu deren quartären Kiesen und dem darin befindlichen Grundwasser. Für den Grundwasserleiter des Oberjura ist dies in der Region zwischen Küssaberg/Dangstetten im Westen und südlich Klettgau gegeben und für den Grundwasserleiter des Muschelkalks weiter westlich im südlichen Alb-Wutach-Gebiet. Demzufolge kann in diesen Gebieten eine Exfiltration der Karstwässer in die Grundwässer im Rheintal stattfinden. Die Exfiltration folgt der Fließrichtung der Karstwässer und diese folgt generell dem Schichtfallen, von Nordwest nach Südost, also von der deutschen Seite her in Richtung des Rheintals. Die Nagra hat jedoch in Modellrechnungen unter bestimmten Annahmen (z.B. undurchlässige Störungen) dargestellt, dass Karstwasser auch von Schweizer Seite in die quartären Kiese des Rheintals exfiltrieren kann.

Auf Schweizer Seite strömt nach den Modellierungen der Nagra das Grundwasser großräumig in nördliche Richtung auf das Rheintal zu, dort bildet der Rhein die Vorflut (vgl. Kap. 4).

Zwischen den beiden Hauptaquiferen (Malm und Muschelkalk) liegen in allen Standortgebieten die tonreichen Formationen des Doggers und des tonigen Lias, die diese beiden Grundwasserstockwerke hydraulisch voneinander trennen (NAB 13-24). Zu ihnen gehört auch der Opalinuston. Eine Grundwasserzirkulation zwischen den beiden Grundwasserstockwerken kann nur über Störungen erfolgen, sofern diese grundwasserleitend sind. Da die Grenzen der Standortgebiete so gewählt wurden, dass innerhalb der Standortgebiete keine entsprechenden Störungen vorhanden sind, ist dies allenfalls außerhalb der Standortgebiete möglich (z.B. Neuhauser Störung).

Die Simulationen der Grundwasserströmung im unteren Grundwasserstockwerk mit dem Grundwassermodell zu den Standortgebieten Zürich Nordost und Südranden (NAB 13-75) zeigen vor allem im Keuper-Aquifer artesische Drücke. Nach den Modellergebnissen sind sie höher als im darüber liegenden Malm-Aquifer. Der hydraulische Gradient im Opalinuston wäre demzufolge aufwärts in den Oberjura gerichtet. Allerdings sind keine hydraulischen Verbindungen bekannt.