

Arbeitsbericht NAB 20-28 Rev.1

**Konzeptbericht Überwachung
Umwelt und geologisches Umfeld**

Januar 2022

**Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle**

Hardstrasse 73
Postfach 280
5430 Wettingen
Telefon 056 437 11 11
www.nagra.ch

Arbeitsbericht NAB 20-28 Rev.1

Konzeptbericht Überwachung Umwelt und geologisches Umfeld

Januar 2022

L. Fanger¹, H. R. Müller² & T. Vogt³

¹ Monitron AG

² CSD Ingenieure AG

³ Nagra

STICHWÖRTER

Monitoring, Nullmessung, Baseline,
radiologische Überwachung

Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73

Postfach 280

5430 Wettingen

Telefon 056 437 11 11

www.nagra.ch

Nagra Arbeitsberichte stellen Ergebnisse aus laufenden Aktivitäten dar, welche nicht zwingend einem vollumfänglichen Review unterzogen wurden. Diese Berichtsreihe dient dem Zweck der zügigen Verteilung aktueller Fachinformationen.

Dieser Bericht wurde im Juli 2021 fertiggestellt.

NAB 20-22, Juli 2021: Grund der Revision

Dieser Bericht wurde im Januar 2022 revidiert. In Tab. 4-1 wurde die Schreibweise der Radionuklide korrigiert.

"Copyright © 2022 by Nagra, Wettingen (Schweiz) / Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Nagra unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Übersetzungen, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen und Programmen, für Mikroverfilmungen, Vervielfältigungen usw."

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	II
Figurenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Gesetzliche Grundlagen.....	1
1.2 Begriffsdefinitionen und Richtlinien	2
1.2.1 IAEA.....	2
1.2.2 NEA	3
1.2.3 ENSI G03	4
1.3 Meilensteine und Phasen bei der Realisierung eines gTL	6
1.4 Geplante schrittweise Aktualisierungen und Präzisierungen.....	7
1.5 Anforderungen in den verschiedenen Stadien eines gTL	8
2 Ziele und Abgrenzungen	9
2.1 Ziele der Überwachung Umwelt und geologisches Umfeld (ÜUG).....	9
2.2 Abgrenzungen.....	11
3 Konzipierung der ÜUG	13
3.1 Thematische Gliederung.....	13
3.2 Zeitliche Gliederung	13
3.3 Methodische Gliederung.....	13
4 Überwachungskonzept	15
4.1 Probenahmen und Analysen	15
4.1.1 Hydrochemische Messungen im Rahmen der ÜUG.....	15
4.1.2 Radiologische Messungen im Rahmen der ÜUG	15
4.2 Messprogramme	17
4.2.1 Meteorologie.....	18
4.2.2 Boden und Bodenluft.....	19
4.2.3 Oberflächengewässer	20
4.2.4 Quellen.....	21
4.2.5 Grundwasser	22
4.2.6 Geodynamik und Geotechnik	24
4.2.7 Seismizität	27
5 Konzeptioneller Zeitplan.....	29

6	Langzeitdatenmanagement und Archivierung	31
6.1	Proben.....	31
6.2	Daten.....	33
7	Zusammenfassungen und Ausblick.....	35
8	Literaturverzeichnis	37
Anhang:	Beantwortung der Bundesratsaufgabe 5.5 für das Entsorgungsprogramms 2021	A-1

Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1:	Übersicht über die aus heutiger Sicht für ÜUG unmittelbar relevanten Gesetze, Verordnungen und Richtlinien	1
Tab. 1-2:	Wichtige Begriffsdefinitionen gemäss IAEA (2001)	2
Tab. 1-3:	Gründe für eine Überwachung eines gTL gemäss IAEA (2001), Seite 3 in Auszügen	3
Tab. 1-4:	Gründe für Nullmessungen gemäss NEA (2014), Seite 24 in Auszügen	3
Tab. 1-5:	Begriffsdefinition gemäss Richtlinie G03 (ENSI 2020a), Seite 23	4
Tab. 1-6:	Auszüge der Richtlinie G03 (ENSI 2020a), Seite 6	4
Tab. 1-7:	Auszüge aus dem Erläuterungsbericht der Richtlinie G03 (ENSI 2020b), Seiten 13 bis 16	5
Tab. 1-8:	Ausgewählte Gesuchseinreichungstermine gemäss Realisierungsplan des Entsorgungsprogramms 2021 (Nagra 2021)	6
Tab. 1-9:	Phasenplanung für die verschiedenen Lagertypen gemäss Realisierungsplan des Entsorgungsprogramms 2021, welches im Dezember 2021 veröffentlicht wird (Nagra 2021)	6
Tab. 4-1:	Zusammenfassung der radiologischen Messungen im Rahmen der ÜUG	16
Tab. 4-2:	Beispielhaftes Konzept für die Überwachung mittels meteorologischer Messstationen und Probenahmen	18
Tab. 4-3:	Beispielhaftes Konzept für die Überwachung mittels Bodenluft-Messstellen und Bodenproben.....	19
Tab. 4-4:	Beispielhaftes Konzept für die Überwachung mittels Gerinne-Messstellen und Probenahme	20
Tab. 4-5:	Beispielhaftes Konzept für die Überwachung mittels Quell-Messstellen und Probenahme	21
Tab. 4-6:	Beispielhaftes Konzept für die Überwachung mittels untiefen Grundwassermessstellen und Probenahme	22

Tab. 4-7:	Beispielhaftes Konzept für die Überwachung mittels Langzeitbeobachtungssystemen und Probenahmen.....	23
Tab. 4-8:	Beispielhaftes Konzept für die geplante Deformationsüberwachung von Bauwerken	24
Tab. 4-9:	Beispielhaftes Konzept für die geplante Überwachung der Lagerfelder mittels Nivellement-Messungen	25
Tab. 4-10:	Beispielhaftes Konzept für die geplante Überwachung mittels GNSS-Permanentmessstationen	26
Tab. 4-11:	Beispielhaftes Konzept für die geplante Überwachung mittels Seismometern	27

Figurenverzeichnis

Fig. 5-1:	Konzeptionelle Übersicht über die im Rahmen der ÜUG geplanten Überwachungsprogramme.....	29
-----------	---	----

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
AGNES	automatisches GNSS Netz der Schweiz
ASR	Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BEUU	Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag
BFE	Bundesamt für Energie
BR	Bundesrat
ENSI	Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat
EP	Entsorgungsprogramm
EUU	erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag
G03	ENSI-Richtlinie Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager
GIS	Geografisches Information System
GLONASS	russisches GNSS System
GNSS	global navigation satellite system
GPS	global positioning system (United States of Amerika)
gTL	geologisches Tiefenlager
HAA	Hochaktive Abfälle
IAEA	International Atomic Energy Agency
ISO	International Organization for Standardization
ISOT	Überwachung der stabilen Wasserisotope im Rahmen der nationalen Grundwasserbeobachtung (NAQUA) des BAFU
IT	Informationstechnik/-technologie
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
kPa	Kilo-Pascal
LBE	lagerbedingte Einflüsse
LZB	Langzeitbeobachtungssystem(e)
m ü. M.	Meter über Meer
m u. T.	Meter unter Terrain (beziehungsweise Geländeoberkante)
mA	Milli-Amper
MADUK	Messnetz (des ENSI) zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke
NABO	Nationale Bodenbeobachtung
NADAM	Netz (der NAZ) für automatische Dosisleistungsalarmierung und -messung
NaGNet	Nagra's permanents GNSS Netz

Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NAQUA	Nationale Grundwasserbeobachtung des BAFU
NAZ	Nationale Alarmzentrale
nBaGe	Nukleares Baugesuch für ein gTL
nBeGe	Nukleares Betriebsgesuch für ein gTL
NEA	OECD Nuclear Energy Agency
NZA	Nebenzugangsanlage(n)
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OFA	Oberflächenanlage(n)
OFI	Oberflächeninfrastruktur
QMS	Qualitätsmanagementsystem
QS	Qualitätssicherung
QUANT	Überwachung der Grundwasser-Quantität im Rahmen der nationalen Grundwasserbeobachtung (NAQUA) des BAFU
RB	Rahmenbewilligung
RBG	Rahmenbewilligungsgesuch
RN	Radionuklid(e)
SBN	Schwachbebennetz
SDSNet	Breitbandnetz des SED
SED	Schweizer Erdbebendienst
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
SPEZ	Überwachung der Schad- und Fremdstoffe im Rahmen der nationalen Grundwasserbeobachtung (NAQUA) des BAFU
SPS	samples per second
SSMNet	Starkbebennetz des SED
STAOG	Standortgebiet(e) für ein gTL
StSV	Strahlenschutzverordnung
SWIPOS	Swiss Positioning Service der swisstopo
swisstopo	Bundesamt für Landestopografie
TBO	Tiefbohrungen / Tiefbohrkampagne der Nagra
TREND	Überwachung der natürlichen Prozesse und des menschlichen Einflusses im Rahmen der nationalen Grundwasserbeobachtung (NAQUA) des BAFU
UBB	Umweltbaubegleitung
URA	Sektion Umweltradioaktivität des BAG
URAnet	Messnetz der Sektion Umweltradioaktivität des BAG
ÜUG	Überwachung Umwelt und geologisches Umfeld
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
WMO	World Metrological Organization
ZLL	Zentrales Zwischenlager, betrieben von der Zwischenlager Würenlingen AG

1 Einleitung

Die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) hat für das Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) ein integrales Überwachungskonzept einzureichen, das sich über alle Phasen der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers (gTL) erstreckt (ENSI 2018). Die Überwachung der Umwelt und des geologischen Umfelds (ÜUG) sowie die dazugehörigen Nullmessungen sind Teil des integralen Überwachungskonzepts.

Der vorliegende Bericht hat das Ziel, die ersten konzeptionellen, standortunabhängigen Überlegungen der Nagra zur ÜUG zu beschreiben. Im Kontext der Berichterstattung zum Entsorgungsprogramm 2021 (Nagra 2021) stellt dieses Dokument einen Hintergrundbericht dar, mit dem auch die Bundesratsaufgabe 5.5 zum Entsorgungsprogramm 2016 (Bundesrat 2018) bzgl. Nullmessungen und Umweltüberwachung beantwortet wird (Anhang 1). Ausserdem bildet dieser Bericht ein Grundlagendokument für die Entwicklung des integralen Überwachungskonzepts für das RBG sowie die damit einhergehende standortspezifische Planung der ÜUG.

Die Planungs- und Bewilligungsschritte eines gTL sind so ausgelegt, dass es sicher gebaut, betrieben und verschlossen wird. Ein Überschreiten festgelegter Grenzwerte oder ein Auftreten unerwünschter Auswirkungen auf Geologie oder Umwelt ist aufgrund stufengerechter Planung und fachgerechter Ausführung unter Einhaltung der behördlichen Auflagen nahezu ausgeschlossen. Mittels der umfangreichen ÜUG-Messprogramme wird die Grundlage geschaffen, um natürliche Schwankungen der Umwelt und Geologie von Veränderungen, die durch den Bau und Betrieb des gTL verursacht werden könnten, zu unterscheiden. Die ÜUG dienen der Vertrauensbildung sowie der Beweissicherung.

1.1 Gesetzliche Grundlagen

Im Zusammenhang mit der ÜUG werden in Zukunft zusätzlich zu den in Tabelle 1-1 aufgeführten Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien auch etwaige Bewilligungsaufgaben von Relevanz sein.

Tab. 1-1: Übersicht über die aus heutiger Sicht für ÜUG unmittelbar relevanten Gesetze, Verordnungen und Richtlinien

KEG (2003)	Kernenergiegesetz
KEV (2004)	Kernenergieverordnung
ENSI G03 (2020a+b)	Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen
StSV (2017)	Strahlenschutzverordnung
ENSI 33/649 (2018)	Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager
USG (1983)	Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG)
GSchG (1991)	Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG)

Gemäss KEV Art. 61 sind die im Rahmen der ÜUG geplanten Messungen keine "bewilligungspflichtigen erdwissenschaftlichen Untersuchungen" im Sinne des KEG Art. 35. Somit werden die für den Bau von Messstellen oder die Durchführung von Messkampagnen eventuell notwendige

Bewilligungen über die lokal zuständigen kommunalen und kantonalen Behörden beziehungsweise bundesbehördlichen Ämter eingeholt. Einzig weitere Tiefbohrungen, welche für den Einbau von Langzeitbeobachtungssystemen (LZB) zur Überwachung der Formationswasserdrücke ausgebaut werden, benötigen eine Bewilligung für erdwissenschaftliche Untersuchungen gemäss KEG Art. 35.

Zudem ist eine konzeptionelle Abstimmung mit dem Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) vorgesehen. Ausserdem müssen die Überwachungsprogramme sowie ihre Ergebnisse gemäss der Richtlinie G03 (ENSI 2020a+b) periodisch dem ENSI zur Prüfung vorgelegt werden.

1.2 Begriffsdefinitionen und Richtlinien

Vorliegendes Kapitel gibt Einblick in die wichtigsten Begriffsdefinitionen und Richtlinien. In Anbetracht der gesetzlichen Relevanz hält sich vorliegender Bericht schliesslich primär an die Richtlinie G03 (ENSI 2020a+b).

1.2.1 IAEA

Der von der International Atomic Energy Agency (IAEA) 2001 veröffentlichte Bericht "Monitoring of geological repositories for high level radioactive waste" definiert wichtige Begriffe (Tabelle 1-2) und gibt Ziele vor (Tabelle 1-3). In der in den Tabellen wiedergegebenen Auswahl der Textpassagen wird ersichtlich, welchen Themen sich vorliegender Bericht vornehmlich annimmt.

Tab. 1-2: Wichtige Begriffsdefinitionen gemäss IAEA (2001)

Monitoring (Seite 1)	Continuous or periodic observations and measurements of engineering, environmental or radiological parameters, to help evaluate the behaviour of components of the repository system, or the impacts of the repository and its operation on the environment.
Baseline Monitoring (Seiten 6 und 7)	Certain monitoring activities should begin at the earliest possible time within a repository development programme before the perturbations caused by repository construction and operation begin to accumulate. This early information is important because it allows an understanding to be developed of the nature and properties of the natural, 'undisturbed' environment of the disposal system. Baseline data should be established as part of the site characterisation activity, e.g. measurements from local and regional boreholes and surface investigations. Where important parameter values are found to follow an increasing or decreasing trend, baseline monitoring will need to be continued until that trend is established with confidence and the reasons for the trend are sufficiently well understood. The establishment of baseline values for surface environmental indicators is relatively straightforward, because the process of measurement will, in general, not affect the parameters being measured (e.g. measurements relating to climatic factors and surface hydrology). However, it is to be appreciated that invasive investigations will themselves perturb the natural groundwater system to a degree based on site specific conditions. In order to establish baseline conditions with which to judge later impacts, e.g. changes to groundwater pressures and hydrochemical conditions in response to repository construction, sufficient information needs to be collected in the surface exploration phase to have confidence that the undisturbed conditions have been adequately characterised both spatially and temporally.

Tab. 1-3: Gründe für eine Überwachung eines gTL gemäss IAEA (2001), Seite 3 in Auszügen

The primary objective of monitoring is to provide information to assist in making ... decisions.	
(1)	to provide information for making management decisions in a stepwise programme of repository construction, operation and closure;
(2)	to strengthen understanding of some aspects of system behaviour used in developing the safety case for the repository and to allow further testing of models predicting those aspects;
(3)	to provide information to give society at large the confidence to take decisions on the major stages of the repository development programme and to strengthen confidence, for as long as society requires, that the repository is having no undesirable impacts on human health and the environment;
(4)	to accumulate an environmental database on the repository site and its surroundings that may be of use to future decision makers;
(5)	to address the requirement to maintain nuclear safeguards , should the repository contain fissile material such as spent fuel or plutonium-rich waste.
In addition ... purely operational reasons during the emplacement of the wastes. Such activities are common to any nuclear facility or major industrial enterprise:	
(1)	to determine any radiological impacts of the operational disposal system (as with a nuclear installation, like a power plant) on the personnel and on the general population, in order to comply with statutory and regulatory requirements;
(2)	to determine non-radiological impacts on the environment surrounding the repository, to comply with environmental regulatory requirements (e.g. impacts of excavation and surface construction on local water supply rates and water quality);

1.2.2 NEA

Auch die Nuclear Energy Agency (NEA) der Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) beschäftigt sich mit der Überwachung von gTL. In einem der veröffentlichten Berichte werden Aussagen unter anderem zur Baseline gemacht (Tabelle 1-4).

Tab. 1-4: Gründe für Nullmessungen gemäss NEA (2014), Seite 24 in Auszügen

The general principle of establishing baseline conditions for monitoring is to create a set of reference data against which changes brought about by repository development and operation can be evaluated and distinguished from natural and other man-made temporal and spatial variations in the repository environment. Baseline conditions are understood to consist of "undisturbed data" from the site of interest, both surface and subsurface. Therefore, the relevant monitoring project should commence prior to the start of repository construction (before underground invasion), ideally as one element of surface and underground investigation.
--

1.2.3 ENSI G03

In der Richtlinie G03 (ENSI 2020a) definiert das ENSI den Begriff Überwachung (Tabelle 1-5).

Tab. 1-5: Begriffsdefinition gemäss Richtlinie G03 (ENSI 2020a), Seite 23

Überwachung	Überwachung ist die über längere Zeit kontinuierliche oder periodische Beobachtung einer Eigenschaft, die Messung einer Kenngrösse oder die Summe aller solcher Beobachtungen und Messungen.
--------------------	--

Die Richtlinie G03 (ENSI 2020a) und der zugehörige Erläuterungsberichts (ENSI 2020b) zeigen die aktuellen Anforderungen des ENSI bzgl. Überwachung eines gTL auf (Tabelle 1-6 und Tabelle 1-7). Wie der Richtlinie zu entnehmen ist, beginnen die Überwachungen spätestens mit der Rahmenbewilligung (RB) und halten so lange an, bis das gTL nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht.

Tab. 1-6: Auszüge der Richtlinie G03 (ENSI 2020a), Seite 6

a.	Für die Bau-, Betriebs- und gegebenenfalls Nachverschlussphase eines geologischen Tiefenlagers ist ein integrales Überwachungsprogramm zu erstellen.
b.	Das integrale Überwachungsprogramm hat mindestens die Überwachung des geologischen Umfelds, die radiologische Umweltüberwachung, die radiologische Überwachung während der Betriebsphase, die Überwachung im Pilotlager sowie die messtechnische Überwachung während Bau und Betrieb zu umfassen.
c.	Der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Überwachungsaspekten ist im Überwachungsprogramm aufzuzeigen.
d.	Das Überwachungsprogramm muss von den Entsorgungspflichtigen periodisch sowie zu den Bewilligungsgesuchen des geologischen Tiefenlagers auf seine Eignung hin geprüft, nach Bedarf aktualisiert und dem ENSI eingereicht werden.
e.	Die Überwachung eines geologischen Tiefenlagers muss rechtzeitig und spätestens mit der Rahmenbewilligung aufgenommen und solange fortgeführt werden, bis das geologische Tiefenlager nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht.
f.	Die Überwachung hat die Messungen aus der Standortcharakterisierung zu berücksichtigen.
g.	Der Einfluss der für die Überwachung vorgesehenen Installationen auf die Langzeitsicherheit ist aufzuzeigen und zu minimieren
h.	Die Ergebnisse der Überwachung sind mit der periodischen Berichterstattung zu dokumentieren und dem ENSI einzureichen.
i.	Rückstellproben sind aufzubewahren und den Behörden bei Bedarf zur Verfügung zu stellen.

Tab. 1-7: Auszüge aus dem Erläuterungsbericht der Richtlinie G03 (ENSI 2020b), Seiten 13 bis 16

Unter Überwachung wird eine über längere Zeiträume kontinuierliche oder periodische Beobachtung einer Eigenschaft oder Messung einer Kenngrösse verstanden. Gemäss den Vorgaben des ENSI für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager ist mit dem Rahmenbewilligungsgesuch ein integrales Überwachungskonzept einzureichen, das sich über alle Phasen der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers erstreckt und die relevanten Aspekte der Überwachung umfasst (z. B. Nullmessungen, Umweltüberwachung, Beobachtungen im geologischen Tiefenlager).
Der Begriff der Überwachung wird im Rahmen eines geologischen Tiefenlagers breit verwendet. Für ein geologisches Tiefenlager einschliesslich seiner Oberflächenanlage und Nebenzugangsanlagen gibt es mindestens die folgenden Überwachungsaspekte:
Die radiologische Umweltüberwachung zwecks Beweissicherung erfolgt in der Umgebung des geologischen Tiefenlagers. Sie dient der Beweissicherung für den Fall, dass während oder nach dem Bau eine Veränderung der Umwelteigenschaften auftritt oder angenommen werden muss. Sie hat insbesondere die Überwachung der Radioaktivität von Quell- und Grundwasser, Böden, Gewässern und Atmosphäre im Einflussgebiet eines geologischen Tiefenlagers einzubeziehen. Im Rahmen der radiologischen Umweltüberwachung können auch nicht-radiologische Beobachtungen, wie zum Beispiel die Überwachung von Tierarten in der Umgebung des Lagers sowie der Grundwasser- verhältnisse und Quellen vorgenommen werden, welche sicherheitsrelevant sein können. Änderungen der Schüttung von Quellen können beispielsweise auf sicherheitsrelevante Lücken oder Abweichungen des hydrogeologischen Modells hinweisen. Die Schnittstellen zu nicht sicherheitsrelevanten Umwelt- aspekten sollen frühzeitig geklärt werden. Nach dem ordnungsgemässen Verschluss des geologischen Tiefenlagers kann diese Überwachung als Kontrolle und Vertrauensbildung dienen, dass keine unerwarteten Einflüsse des geologischen Tiefenlagers an der Erdoberfläche zu beobachten sind. Für die radiologische Umweltüberwachung sind ebenfalls die StSV und entsprechende Richtlinien des ENSI zu berücksichtigen.
Die periodische (mit dem Entsorgungsprogramm bzw. der periodischen Berichterstattung oder den Bewilligungsgesuchen) Prüfung auf Eignung und die Aktualisierung nach Bedarf des Überwachungs- programms erfolgt gemäss Art. 36 KEV.
Die Pflicht zur Überwachung eines geologischen Tiefenlagers erstreckt sich über mehrere Jahrzehnte und endet mit der Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung. Nach dem ordnungsgemässen Verschluss des geologischen Tiefenlagers kann eine zusätzliche befristete Überwachung angeordnet werden (Art. 39 Abs. 3 KEG). Die Überwachung eines geologischen Tiefenlagers muss rechtzeitig aufgenommen werden, so dass für die Beweissicherung genügend aussagekräftige Daten zur Verfügung stehen. Der jeweilige Zeitraum zur Überwachung eines Parameters wird im Rahmen des Überwachungsprogramms individuell festgelegt. Dies gilt insbesondere für die Zeitdauer der Null- messung vor den ersten Bauaktivitäten am Standort des geologischen Tiefenlagers. Im Überwachungs- programm wird dargestellt, welche Parameter mit einer Nullmessung erfasst werden sollen und welche Zeitdauer dafür vorgesehen ist.
Die periodische Berichterstattung zur Überwachung ist in Art. 37 und Anhang 5 KEV geregelt.
Durch Dokumentation der Resultate aus der Überwachung, einschliesslich der Archivierung von Proben daraus, kann die Möglichkeit offengehalten werden, erweiternde Untersuchungen anzusetzen, wenn beispielsweise neue Analyseverfahren entwickelt worden sind oder die Notwendigkeit für unabhängige Messungen erkannt wird.

1.3 Meilensteine und Phasen bei der Realisierung eines gTL

Die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben sowie die Festlegung weiterer konzeptueller Vorgaben und Annahmen bilden den Ausgangspunkt für die Ableitung eines Realisierungsplans für ein Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) und ein Lager für hochaktive Abfälle (HAA) oder ein Kombilager. Der Realisierungsplan basiert auf einer Abschätzung des Zeitbedarfs für die Abwicklung der technischen Arbeiten und der behördlichen Verfahren. Im Rahmen des Entsorgungsprogramms 2021 (Nagra 2021), welches im Dezember 2021 veröffentlicht wird, werden die aktuellen Realisierungspläne dargestellt und erläutert, die in verschiedene Phasen aufgeteilt sind (Tabelle 1-9). Hinsichtlich der Gesuchseinreichungen sieht der Realisierungsplan die in Tabelle 1-8 dargestellten Termine vor.

Für die Planung der ÜUG sind diese Phasen und Meilensteine eine wichtige Basis, um den Start der Nullmessungen und die Gesamtdauer der verschiedenen Messungen sowie deren Häufigkeit und Intensität abzuschätzen, welche pro Phase unterschiedlich sein können.

Tab. 1-8: Ausgewählte Gesuchseinreichungstermine gemäss Realisierungsplan des Entsorgungsprogramms 2021 (Nagra 2021)

Meilensteine gemäss EP 21		Einreichung RBG	Einreichung Gesuch EUU	Einreichung nBaGe	Einreichung nBeGe
Einzellager	SMA	2024	2031	2039	2044
Kombilager		2024	2031	2039	2044
Einzellager	HAA	2024	2031	2049	2054
		2024	2031	2049	2054

Tab. 1-9: Phasenplanung für die verschiedenen Lagertypen gemäss Realisierungsplan des Entsorgungsprogramms 2021 (Nagra 2021)

Phasenplanung gemäss EP 21		Bau EUU	Weiterführung EUU	Bau Lager	Einlagerungsbetrieb	Beobachtungsphase 1	Verschluss Hauptlager	Beobachtungsphase 2	Verschluss Gesamtlager
Einzel-lager	SMA	2035 bis 2039	2039 bis 2044	2045 bis 2049	2050 bis 2064	2065 bis 2074	2075 bis 2080	2075 bis 2114	2115 bis 2118
Kombi-lager		2035 bis 2039	2039 bis 2044	2045 bis 2049	2050 bis 2064	2065 bis 2084	2085 bis 2090	2085 bis 2124	2125 bis 2126
Einzel-lager	HAA	2035 bis 2039	2039 bis 2054	2055 bis 2059	2060 bis 2074	2075 bis 2084	2085 bis 2090	2085 bis 2124	2125 bis 2126
		2035 bis 2040	2041 bis 2054	2055 bis 2059	2060 bis 2074	2075 bis 2084	2085 bis 2090	2085 bis 2124	2125 bis 2126

1.4 Geplante schrittweise Aktualisierungen und Präzisierungen

Aufgrund der stufen- beziehungsweise phasengerechten Planung und Realisierung eines gTL wird auch die Planung der Überwachung schrittweise verfeinert und bei Bedarf angepasst. Diese Aktualisierungen und Präzisierungen sind nötig, da für die verschiedenen zeitlichen Phasen und örtlichen Bereiche eines gTL Zielsetzungen und Umfang der Messprogramme variieren können. Ausserdem wird sich die Messtechnik über die nächsten Jahrzehnte weiterentwickeln, wodurch es zu Anpassungen in den verschiedenen Messprogrammen kommen kann. Um frühzeitig auf Technologieentwicklungen reagieren zu können, wird der Stand der Technik kontinuierlich verfolgt und evaluiert. Des Weiteren werden nicht nur die Messtechnik, sondern auch die Messresultate kontinuierlich evaluiert.

Das vorliegende Überwachungskonzept ist so gestaltet, dass es jederzeit angepasst werden kann, sollte es Änderungen bei der Planung oder Umsetzung eines gTL geben oder Entscheide aufgrund der Messdaten dies nötig machen.

Ein wichtiger Meilenstein bei der Planung der Überwachung bildet die Einreichung des RBG, im Zuge dessen gemäss KEV Art. 23 unter anderem ein "Konzept zur Überwachung und Beobachtungsphase"¹ zu erstellen beziehungsweise einzureichen ist. Der vorliegende Bericht stellt in diesem Zusammenhang ein erstes Grundlagendokument dar. Da die Standortwahl momentan noch nicht abgeschlossen ist, sind die hier beschriebenen Messprogramme generisch gehalten. Nach der Auswahl der Standorte für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche (ASR) und vor dem RBG wird ein standortspezifisches ÜUG-Konzept erarbeitet, bei dem die Messprogramme entsprechend angepasst werden.

Nach dem RBG sind die nächsten Konkretisierungsschritte bei der Planung der Überwachung die Einreichung des Gesuchs zu den erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU), mit denen untertage die geologische Situation vor Ort charakterisiert wird, und bei der Umsetzung der ÜUG die Erstellung neuer Messstellen und der Beginn zugehöriger Messungen beziehungsweise die Durchführung entsprechender Messkampagnen (Kapitel 4).

¹ Gemäss G03 (ENSI 2020a): "integrales Überwachungskonzept"

1.5 Anforderungen in den verschiedenen Stadien eines gTL

Die Anforderungen an die ÜUG werden sich während der schrittweisen Implementierung des gTL in den verschiedenen Phasen ändern. Vor Beginn der Erstellung der Zugangsbauwerke EUU wird die ÜUG zur Erreichung von aussagekräftigen Nullmessungen durchgeführt. Während der Erstellung der Zugangsbauwerke EUU, der Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (BEUU), in denen unter anderem Langzeitexperimente durchgeführt und sicherheitsrelevante Techniken erprobt und deren Funktionstüchtigkeit nachgewiesen werden, sowie dem Bau der Lagerfelder gibt es Anforderungen bezüglich Beweissicherung an die ÜUG. Die Beweissicherung wird durchgeführt, um einen möglichen Einfluss der Bautätigkeiten beziehungsweise Bauwerke auf die Umwelt und das geologische Umfeld zu quantifizieren und um natürliche von bauabhängigen Veränderungen während dieser Phasen zu detektieren. Im Übrigen werden während den Bauphasen die stärksten Einflüsse auf die Umwelt und das geologische Umfeld erwartet, weshalb in diesen Phasen die intensivste Überwachung geplant ist. Neben den Anforderungen für die Beweissicherung wird die ÜUG auch wertvolle Daten zur vertieften Charakterisierung des Standorts für ein gTL liefern.

Ab der Einlagerungsphase wird die ÜUG um ein kontinuierliches radiologisches Umweltmonitoring zur Beweissicherung ergänzt. Nach Abschluss der Bau- und Einlagerungsphasen startet die Beobachtungsphase, während der die Intensität der ÜUG reduziert wird, da alle relevanten Bautätigkeiten abgeschlossen sind. Eventuelle Auswirkungen auf die Umwelt und das geologische Umfeld gehen in dieser Zeit vor allem von sogenannten lagerbedingten Einflüssen (LBE) aus, die zum Beispiel durch den Wärmeeintrag von HAA verursacht werden können.

Während der EUU-, der Bau- und der Betriebsphase laufen neben der ÜUG auch untertägige Überwachungsprogramme, zum Beispiel die Überwachung der Pilotlager. Mit Abschluss der Beobachtungsphase steht der ordnungsgemässe Verschluss des Gesamtlagers an. Bestimmte Programme der ÜUG werden während der Verschlussarbeiten wieder intensiviert, um die Auswirkungen dieser Tätigkeiten beobachten und quantifizieren zu können. Nach dem vollständigen Verschluss des Gesamtlagers ist keine untertägige Überwachung mehr möglich, sodass allfällige, befristete Messungen, die durch den Bundesrat nach Verschluss verfügt werden können, nur noch im Rahmen der ÜUG an der beziehungsweise von der Erdoberfläche aus durchgeführt werden; dies bis zur Entlassung des ordnungsgemäss verschlossenen gTL aus der Kernenergiegesetzgebung (KEG Art. 39).

2 Ziele und Abgrenzungen

2.1 Ziele der Überwachung Umwelt und geologisches Umfeld (ÜUG)

Die ÜUG umfasst Messprogramme zur radiologischen Umweltüberwachung sowie zur nicht-radiologischen Überwachung der Umwelt und des geologischen Umfelds. Die ÜUG orientiert sich an den Anforderungen der ENSI-Richtlinie G03 (2020a+b). Die Messungen und Probenahmen im Rahmen der ÜUG erfolgen an beziehungsweise nahe der Erdoberfläche sowie von dieser ausgehend (zum Beispiel in Bohrungen).

Das übergeordnete Ziel der ÜUG liegt in der Erfassung von Veränderungen der Umwelteigenschaften sowie des geologischen Umfelds. Unerwünschte Auswirkungen auf Geologie oder Umwelt vor allem durch den Bau des gTL sind bei ordnungsgemäßer Planung und Ausführung nicht zu erwarten. Die im Zuge der ÜUG getätigten Messungen liefern aber Datengrundlagen, um natürliche Veränderungen (wie zum Beispiel geodynamische Deformationen oder natürliche Schwankungen von Quellschüttungen) von Veränderungen zu unterscheiden, die durch den Bau des gTL verursacht werden könnten. Dadurch trägt die ÜUG auch zu einer Vertiefung der Standortcharakterisierung bei. Darüber hinaus ist ein Überschreiten der festgelegten Grenzwerte bezüglich radioaktiver Stoffe in der Umwelt durch ein fachgerecht erstelltes, betriebenes und verschlossenes gTL mit seinem Mehrfachbarrierensystem (Nagra 2016) nahezu ausgeschlossen. Die geplante radiologische Umweltüberwachung dient also vor allem der Vertrauensbildung sowie der Beweissicherung, dass radiologische Auffälligkeiten in der Umwelt nicht auf das gTL zurückzuführen sind.

In diesem Kontext lassen sich für die ÜUG folgende weiterführenden Ziele ableiten:

- Bereitstellen von Informationen, um die Einhaltung von gesetzlichen Vorgaben und Festlegungen für ein gTL nachzuweisen
- Bereitstellen von Informationen, um das Vertrauen der verschiedenen Stakeholder in das Design beziehungsweise die Ausführung und vor allem die Sicherheit eines gTL zu stärken
- Bereitstellen von Informationen als ergänzende Datengrundlage während des schrittweisen Baus, Betriebs und Verschlusses eines gTL
- Bereitstellen von Informationen zur Ergänzung des Standortverständnisses
- Bereitstellen einer Datenbank zur Umwelt und Geologie im Umfeld eines gTL, die von zukünftigen Generationen als auch von Safeguards genutzt werden kann

Eines der zentralen Ziele des Überwachungskonzepts und besonders der ÜUG sind die Nullmessungen zur Erfassung einer sogenannten Baseline. Entsprechende Definitionen finden sich im Kapitel 1 dieses Berichts beziehungsweise in den Berichten der IAEA (2014) und der NEA (2014).

Die im Zuge der ÜUG-Nullmessungen gesammelten Daten dienen als Grundlage beziehungsweise Referenz für spätere Vergleiche und Entscheidungsfindungen. Die in NEA (2014) genannte Erfassung von "undisturbed data" bezieht sich bei der ÜUG auf die standortspezifischen Bedingungen und den vom gTL nicht gestörten Ausgangszustand vor dem Start der Bauarbeiten für die Zugangsbauwerke EUU und für die radiologische Umweltüberwachung, insbesondere auf die standortspezifischen radiologischen Umweltbedingungen vor dem Start der Einlagerung. Bei der Erfassung des natürlichen ungestörten Ausgangszustandes ist zu beachten, dass je nach Standort für ein gTL beziehungsweise die Oberflächenanlagen (OFA) bereits andere Kernanlagen in der Umgebung vorhanden sein können (vergleiche zum Beispiel unteres Aaretal).

Die Ziele der ÜUG-Nullmessungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Erfassung der natürlichen, vom gTL ungestörten Charakteristik der Umwelt und des geologischen Umfelds mit ihren Schwankungen im Bereich des gTL
- Erfassung der Level an Radionukliden (RN) oder allfälliger Kontaminanten in der Umwelt vor Beginn des Baus und des Betriebs des gTL
- Grundlage zur Beurteilung und Auswahl der Parameter für die nach den Nullmessungen folgenden Überwachungskampagnen

Nullmessungen werden über den gesamten Lebenszyklus eines gTL eine wichtige Grundlage für die Arbeiten in den verschiedenen Disziplinen bilden, von der Standortcharakterisierung und den geowissenschaftlichen Modellierungen, über die Beweissicherung bis hin zum ordnungsgemässen Verschluss des gTL und dessen Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung. Nullmessungen bilden auch eine Basis für die Festlegung von Interventionswerten.

Damit eine zuverlässige Baseline erfasst werden kann, müssen die Nullmessungen rechtzeitig vor Beginn des Baus der Zugangsbauwerke EUU sowie vor Beginn der Einlagerung gestartet werden. Die erhobenen Zeitreihen müssen umfangreich und von hoher Qualität sein, so dass sie statistische, saisonale und jährliche Schwankungen sowie auch gewisse Extremereignisse (zum Beispiel Trockenperioden oder Starkregenereignisse) abdecken und einen zuverlässigen Vergleich mit zukünftigen Datenreihen erlauben. Der Start der Nullmessungen und die damit verbundene Erfassung der Baseline ist für jeden Parameter unterschiedlich und hängt von den natürlichen Schwankungen, der eingesetzten Messtechnik und der Grössenordnung der erwarteten natürlichen Änderungen ab.

Ein wichtiger übergeordneter Grundsatz für alle Aktivitäten muss auch bei den ÜUG berücksichtigt werden: Sämtliche Probenahmen und Überwachungen sind so auszuführen, dass die Langzeitsicherheit eines gTL nicht beeinträchtigt wird.

Im vorliegenden Bericht wird im Kapitel 4 das erste standortunabhängige Konzept für die ÜUG-Nullmessungen präsentiert und ein Messbeginn für jeden ÜUG-Parameter vorgeschlagen. Je nach Standort kann im später folgenden standortspezifischen Konzept der Startzeitpunkt, falls nötig, noch angepasst werden.

Das hier vorgestellte ÜUG-Konzept bezieht sich nur auf die Messprogramme, die vom Betreiber des gTL geplant und durchgeführt werden. Auch bei der Überwachung wird es eine Rollentrennung zwischen Betreiber eines gTL und den Aufsichtsbehörden geben. Es ist davon auszugehen, dass verschiedene Behörden eigene, unabhängige Messnetze im Umfeld eines gTL betreiben werden und die Öffentlichkeit über die Resultate, wie bei den anderen nuklearen Anlagen in der Schweiz auch, zum Beispiel in Form von Jahresberichten oder online abrufbaren Messdatenbanken informieren werden.

2.2 Abgrenzungen

Der vorliegende Bericht behandelt nicht die untertägigen bau- und betriebsbegleitenden Überwachungen, also keine Messungen in den zukünftigen unterirdischen Bauwerken.

Nicht Teil dieser Zusammenstellung sind ausserdem sämtliche Messungen und Probenahmen, die es eventuell im Zuge einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) zu tätigen gilt. Damit entfällt auch eine Behandlung raumplanerischer und biologischer Aspekte. Gleiches gilt für die Überwachung wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Aspekte und Parameter, welche vom Bundesamt für Energie (BFE) initiiert und gesteuert wird (BFE 2020).

Dieser Bericht klammert ausserdem die Überwachung der Arbeits- und Betriebssicherheit beziehungsweise die Überwachung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes in und in unmittelbarer Umgebung der ober- und untertägigen Bauwerke eines gTL aus. Auswirkungen von und Massnahmen gegen etwaige Ereignisse in den gTL-Anlagen während des Betriebs werden im Rahmen des Betriebssicherheitskonzepts geplant und behandelt.

Überlappungen zu den zuvor genannten Messprogrammen sind möglich; diese werden im Rahmen des übergeordneten, integralen Überwachungskonzepts der Nagra aufgezeigt und behandelt.

3 Konzipierung der ÜUG

Im Folgenden wird die grundlegende Gliederung der ÜUG beschrieben.

3.1 Thematische Gliederung

Gemäss dem vorliegenden Konzept sind im Rahmen der ÜUG die im Kapitel 4 im Detail beschriebenen Messprogramme vorgesehen; diese lassen sich wie folgt thematisch gliedern:

- Meteorologie
- Boden und Bodenluft
- Oberflächengewässer
- Quellen
- Grundwasser
- Geodynamik und Geotechnik
- Seismizität

3.2 Zeitliche Gliederung

Auf der Zeitachse sowie hinsichtlich Messfrequenz und -umfang wird bei den Messprogrammen zwischen **Nullmesskampagnen** und den darauffolgenden **Überwachungskampagnen** unterschieden. Die Überwachungskampagne schliesst meist unmittelbar an die Nullmessungskampagne an und führt diese bedarfsgerecht in allfällig reduzierter Form weiter.

Zusätzlich kann zwischen zeitlich hochauflösenden **kontinuierlichen** und weniger häufigen **periodischen** Messungen beziehungsweise Analysen unterschieden werden. Kontinuierliche Messungen erfolgen klassischerweise automatisiert durch festinstallierte Messgeräte. Periodische Messungen und Probenahmen für anschliessende Analysen werden meist durch geschultes Personal oder automatisierte Probenehmer ausgeführt.

Auf den konkreten Zeitplan der Messkampagnen wird im Kapitel 5 eingegangen.

3.3 Methodische Gliederung

Methodisch wird bei den Messprogrammen zwischen **In-situ-Messungen** vor Ort und **Probenahmen** mit anschliessenden **Labormessungen** unterschieden. Labormessungen sind vor allem für hydrochemische und radiologische Analysen vorgesehen.

Ob ein Parameter in-situ oder im Labor, kontinuierlich oder periodisch respektive zeitlich hochauflösend oder weniger häufig, bestimmt wird, hängt von der verfügbaren Technologie, dem nötigen Ressourcenaufwand und der geforderten Genauigkeit ab. Gewisse Parameter (wie zum Beispiel die Temperatur) können nur sinnvoll in-situ gemessen werden, andere (wie zum Beispiel Spuren eines RN) können nur im Labor mit hochpräzisen Instrumenten erfasst werden. Parameter wie zum Beispiel der pH-Wert können mit der heutigen Technologie nur mit beträchtlichem Unterhaltsaufwand kontinuierlich in-situ gemessen werden. Über längere Zeiträume ist in solchen Fällen eine periodische Messung von Hand meist zielführender.

4 Überwachungskonzept

Die im vorliegenden Konzeptbericht beschriebenen Methoden basieren auf dem heutigen Stand der Technik. Dieser wird, wie im Kapitel 1.4 beschrieben, laufend überprüft; bei Bedarf wird die vorliegende Planung entsprechend angepasst.

4.1 Probenahmen und Analysen

Die in diesem Kapitel skizzierten Probenahmen und Analysen kommen im Rahmen mehrerer Messprogramme zur Anwendung. Für welche Messprogramme im Kontext der ÜUG diese Aspekte von Relevanz sind, kann den Zeilen "Beprobung" und "Radiologie" der Tabellen 4-2 bis 4-11 im Kapitel 4.2 entnommen werden. Details zur korrekten Probenahme und Probenaufbewahrung sind im Kapitel 6.1 zu finden.

4.1.1 Hydrochemische Messungen im Rahmen der ÜUG

Zur vertieften Charakterisierung des Standorts und zur Beweissicherung sind an Wasserproben ausgewählter Oberflächengewässer, Quellen und Grundwassermessstellen, neben der Messung von Temperatur, elektrischer Leitfähigkeit, gelöstem Sauerstoff und pH-Wert, folgende hydrochemische Analysen vorgesehen:

- Alkalinität/Säurekapazität
- Kationen: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}
- Anionen: Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , F^-
- NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-}
- Fe_{ges} und Mn_{ges}
- DOC
- Schwermetalle: Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn

Die vorgesehenen Messungen orientieren sich an der Grundwasserüberwachung, die beim zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZLL) der Zwischenlager Würenlingen AG (ZWILAG) und dem Paul Scherrer Institut durchgeführt wird, und berücksichtigen die Ergebnisse von Eichinger et al. (2013) und Häner et al. (2014).

4.1.2 Radiologische Messungen im Rahmen der ÜUG

Sämtliche Anlagenteile werden nach dem aktuellen Stand der Technik, auf Basis einer umfangreichen Risiko- und Massnahmenplanung, unter Einhaltung aller Auflagen betrieben. Die im Folgenden beschriebene, im Rahmen der ÜUG geplanten, radiologischen Messungen dienen auch der Ergänzung des erdwissenschaftlichen Systemverständnisses, aber vor allem der Vertrauensbildung und der vorsorglichen Beweissicherung. Für die Entlassung des ordnungsgemäss verschlossenen gTL aus der Kernenergiegesetzgebung werden sie ebenfalls eine wichtige Rolle spielen. Ausserdem können sie von Bedeutung sein, um das Auftreten von RN in der Umgebung des gTL aufgrund regionaler oder weltweiter Vorkommnisse (Kernwaffentests, Waldbrände etc.) beurteilen zu können.

Aktuell betreibt die Nagra kein Messprogramm zur radiologischen Umweltüberwachung. Derzeit kann auf das europäische Messnetz (EURDEP) und (via www.radenviro.ch) auf die zahlreichen Schweizer Messnetze für Luft (UraNet des BAG, NADAM der NAZ, MADUK des ENSI) und Wasser (UraNet Aqua des BAG) verwiesen werden.

Basierend auf dem Überwachungsprogramm des ZLL und anderen Empfehlungen (zum Beispiel IAEA 2001 und IAEA 2014) sowie Überlegungen zu den Nachweisgrenzen und der Messbarkeit fokussieren die radiologischen Messungen im Rahmen der ÜUG auf Laboranalysen ausgewählter RN. Diese sollen an Luftfiltern und Staubfangplatten sowie an Boden-, Bodenluft- und Wasserproben erfolgen. Zusätzlich sollen an den Proben die totale Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung gemessen werden (Tabelle 4-1).

Für die radiologischen Messungen im Rahmen der ÜUG sind zwei umfangreiche Nullmessungskampagnen vorgesehen: eine vor Baubeginn der Zugangsbauwerke EUU und eine vor Beginn der Einlagerung der radioaktiven Abfälle. Dazwischen und danach ist ein reduzierter Mess- beziehungsweise Analyseumfang in Form von periodischen Überwachungskampagnen in Bezug auf wenige, ausgewählte RN vorgesehen (Tabelle 4-1).

Tab. 4-1: Zusammenfassung der radiologischen Messungen im Rahmen der ÜUG

Nullmesskampagnen (vor Baubeginn der Zugangs-bauwerke zu den BEUU sowie vor Beginn der Einlagerung)	• ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Am und $^{243/244}\text{Cm}$ • ^{60}Co, ^{99}Tc, ^{134}Cs, ^{137}Cs • ^{90}Sr, ^{63}Ni • ^3H, ^{14}C • ^{129}I, ^{131}I, ^{85}Kr und ^{133}Xe • ^{40}K, ^{238}U und ^{232}Th und relevante Folgeprodukte • ^{222}Rn • ^{36}Cl und ^{79}Se • Alpha total, Beta + Gamma total
Überwachungskampagnen (während EUU und Bauphase)	• ^3H • ^{222}Rn
Überwachungskampagnen (während Betriebs-, Beobachtungs- und Verschlussphase)	• ^{137}Cs • ^3H, ^{14}C • ^{222}Rn • Alpha total, Beta + Gamma total

Gemäss Kapitel 2.2 wird bezüglich Strahlungs- bzw. Dosismessungen zur Kontrolle der Abgabegrenzwerten auf die Planung der Emissionsmessungen der "Betriebssicherheit" verwiesen, welche in Absprache mit dem ENSI geplant und durchgeführt und in weiterer Folge vom ENSI kontrolliert werden. Es wird erwartet, dass das ENSI zusätzlich die Nahumgebung des gTL überwacht und eine eventuelle Beeinflussung der Umwelt durch radioaktive Emissionen beurteilt. Darüber hinaus ist die Überwachung und Bewertung der Radioaktivität in der Umwelt Aufgabe des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) und insbesondere dessen Sektion Umwelt-radioaktivität (URA). Bei Überschreitung von Abgabegrenzwerten stimmen die beteiligten Behörden sowie die nationale Alarmzentrale (NAZ) ein zusätzliches, der jeweiligen Situation angepasstes Messprogramm untereinander ab.

4.2 Messprogramme

Für die in diesem Kapitel beschriebenen Messprogramme werden die folgenden Aspekte systematisch behandelt (Tabelle 4-2 bis Tabelle 4-11):

- **Kontext:** In diesem Feld wird beschrieben, in welchem Kontext das Messprogramm zu verstehen ist und welchen Zweck es innerhalb der ÜUG erfüllt.
- **Programme von Dritten:** In diesem Feld werden die vorhandenen oder ergänzenden Messprogramme von Dritten, die einen räumlich oder inhaltlich relevanten Bezug zu den ÜUG aufweisen, beschrieben.
- **Programme der Nagra:** In diesem Feld werden die vorhandenen oder ergänzenden Messprogramme der Nagra, die einen räumlich oder inhaltlich relevanten Bezug zu den ÜUG aufweisen, beschrieben.
- **Parameter:** In diesem Feld werden die zur Überwachung vorgeschlagenen Parameter aufgelistet sowie Angaben zu den angestrebten Messgenauigkeiten gemacht.
- **Technik:** In diesem Feld wird die absehbar zum Einsatz kommende Messtechnik skizziert; diese entspricht dem heutigen Stand der Technik, wie sie derzeit auf dem Markt erhältlich ist.
- **Messfrequenz:** In diesem Feld wird beschrieben mit welcher Frequenz die Messungen ausgeführt werden sollen. Meist kann die Messfrequenz (in Abhängigkeit von Überlegungen zur Notwendigkeit, Machbarkeit, Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit) frei gewählt werden.
- **Ort:** In diesem Feld wird aufgelistet, an welchen Lokalitäten die genannten Parameter überwacht werden sollen. Da zum jetzigen Zeitpunkt die Standortwahl für ein gTL noch nicht abgeschlossen ist, sind im Rahmen der ÜUG derzeit nur allgemeingültige Aussagen möglich.
- **Zeitplan:** In diesem Feld werden Aussagen über die geplante Dauer der Überwachung getätigt. Zeitliche Angaben erfolgen meist relativ zur aktuellen Phasenplanung für ein gTL (Kapitel 1.3); konkrete zeitliche Angaben sind Kapitel 5 zu entnehmen.
- **Beprobung:** In diesem Feld sind Angaben zu den geplanten Probenahmen und Analysen zu finden; hydrochemische Messungen und Analysen sind ausserdem im Kapitel 4.1.1 skizziert. Sind keine physischen Beprobungen möglich, wird das Feld nicht geführt beziehungsweise weggelassen.
- **Radiologie:** In diesem Feld wird beschrieben, welche Probenahmen, Messungen und Analysen im Rahmen der radiologischen Umweltüberwachung geplant sind; detaillierte Angaben über die relevanten RN sind im Kapitel 4.1.2 zu finden.

4.2.1 Meteorologie

Tab. 4-2: Beispielhaftes Konzept für die Überwachung mittels meteorologischer Messstationen und Probenahmen

Kontext	Die Erfassung meteorologischer Messdaten dient dem besseren Verständnis der Grundwasser- und Oberflächenmessdaten. Die Daten eignen sich aber auch als Input für numerische Modellierungen. Ausserdem werden bestimmte meteorologische Daten im Ereignisfall während des Einlagerungsbetriebs benötigt.
Programme von Dritten	Das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie betreibt ein flächendeckendes Netz von meteorologischen Messstationen in der Schweiz; dies nach den Richtlinien der World Meteorological Organization (WMO 2018) und zum Teil mit langen historischen Messreihen. www.meteoschweiz.ch
Programme der Nagra	Abgesehen von der Überwachung der Tiefbohrkampagne (TBO), verfügt die Nagra derzeit über kein entsprechendes Messprogramm.
Parameter	• Niederschlagsmenge (± 1 mm) • Lufttemperatur (± 0.1 °C) • Luftdruck (± 0.5 hPa) • Relative Luftfeuchtigkeit (± 2 %) • Windgeschwindigkeit und -richtung (± 2 %)
Technik	Es ist die Erstellung von meteorologischen Messstationen vorgesehen, die die Erfassung der relevanten Parameter (beispielhaft) wie folgt ermöglichen: • Niederschlag: Wägeprinzip • Temperatur: Widerstandsthermometer (zum Beispiel PT1000) • Luftdruck: kapazitive Sensoren • Relative Luftfeuchtigkeit: kapazitive Sensoren • Windgeschwindigkeit und -richtung: Ultraschall-Anemometer
Messfrequenz	Die Parameter werden kontinuierlich 1× alle 60 Minuten aufgezeichnet. Während des Einlagerungsbetriebs erfolgt die Aufzeichnung 1× alle 10 Minuten.
Ort	Es werden eine oder zwei meteorologische Messstationen an repräsentativer Lage im Bereich der Oberflächeninfrastruktur (OFI) erstellt und betrieben.
Zeitplan	Die Inbetriebnahme der ersten meteorologischen Messstation in der Nähe der Nebenzugangsanlage (NZA) und der Messbeginn sind nach der fachtechnischen RBG-Begutachtung (ca. sieben Jahre vor Baubeginn der Zugangsbauwerke zu den BEUU) vorgesehen (= Nullmessungen). Die Messstation nahe der NZA dient der Überwachung bis nach Verschluss des Gesamtlagers. Ggf. wird eine weitere Messstation nahe der OFA vor Einlagerungsbetrieb auf- und danach wieder abgebaut.
Beprobung (exklusive Radiologie)	Derzeit sind keine Probenahmen und Analysen geplant.
Radiologie	Gemäss Kapitel 4.1.2 ist an den meteorologischen Messstationen eine periodische Beprobung mit Hilfe von Luftfiltern und Staubfangplatten sowie von Niederschlagswasser geplant. Die im Rahmen der beiden Nullmesskampagnen gesammelten Proben werden im Labor umfangreich radiologisch untersucht (Tabelle 4-1, oben). Während des Einlagerungsbetriebs werden im Rahmen der Überwachungskampagnen einmal jährlich Proben genommen, welche im Labor eine reduzierte radiologische Untersuchung durchlaufen (Tabelle 4-1, unten).

4.2.2 Boden und Bodenluft

Tab. 4-3: Beispielhaftes Konzept für die Überwachung mittels Bodenluft-Messstellen und Bodenproben

Kontext	Der Boden ist Teil der geforderten Umweltüberwachung. Ausserdem kann das natürlich vorkommende, radioaktive Gas Radon durch unterirdische Bautätigkeiten freigesetzt werden, weshalb an ausgewählten Standorten im Umfeld der NZA und der OFA periodische Messungen der Bodenluft angedacht sind. Die Messungen dienen der Vertrauensbildung und der Beweissicherung sowie der ergänzenden Standortcharakterisierung.
Programme von Dritten	Die Nationale Bodenbeobachtung (NABO) erfasst und beurteilt an ausgewählten Standorten die zeitliche Entwicklung von Böden in der Schweiz. www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/umwelt-ressourcen/boden-gewaesser-nachstoffe/nabo.html . Eine kontinuierliche Überwachung von Radon in der Bodenluft der Schweiz ist nicht bekannt; die Überwachung von Radon in Gebäuden ist hingegen Standard.
Programme der Nagra	Die Nagra verfügt derzeit über kein entsprechendes Messprogramm.
Parameter	Radon in der Bodenluft (10 % bei 50 kBq/m³)
Technik	Es ist die Erstellung von (ggf. auch temporären) Messstellen vorgesehen, bei denen Filterrohre in den Boden eingebracht werden, mit deren Hilfe die Bodenluft abgesaugt und gesammelt wird und die Radonkonzentration (beispielhaft) wie folgt gemessen werden kann: Analyse des Radon-Gehalts mittels Ionisation in einem Oberflächensperrschichtdetektor aus Silizium oder einer Lucas-Zelle
Messfrequenz	Während des Baus der Zugangsbauwerke zu den BEUU und den vorgängigen Nullmessungen sind saisonale Radon-Messungen geplant, danach jährliche. Ein geeigneter Zeitpunkt für die periodischen Messungen im Jahresverlauf wird anhand der Nullmessungen festgelegt.
Ort	Bodenluftmessstellen an ausgewählten Lokationen im Umfeld um die OFI.
Zeitplan	Die saisonalen Messungen von Radon in der Bodenluft sollen nach der fachtechnischen RBG-Begutachtung starten, bis zum Baubeginn der Zugangsbauwerke zu den BEUU (ca. sieben Jahre) andauern (= Nullmessungen) und bis zur Fertigstellung der Zugangsbauwerke zu den BEUU fortgesetzt werden. Danach finden jährliche Messungen bis nach Verschluss des Gesamtlagers statt.
Beprobung (exklusive Radiologie)	Derzeit sind keine Probenahmen und Analysen geplant.
Radiologie	Gemäss Kapitel 4.1.2 ist im Umfeld um OFI eine periodische Entnahme von oberflächennahen Bodenproben geplant. Bei der Auswahl der Entnahmestellen sollen die bevorzugten Windrichtungen berücksichtigt werden. Die im Rahmen der beiden Nullmesskampagnen gesammelten Proben werden im Labor umfangreich radiologisch untersucht (Tabelle 4-1, oben). Während des Einlagerungsbetriebs werden im Rahmen der Überwachungskampagnen einmal jährlich Proben genommen, welche im Labor eine reduzierte radiologische Untersuchung durchlaufen (Tabelle 4.1, unten).

4.2.3 Oberflächengewässer

Tab. 4-4: Beispielhaftes Konzept für die Überwachung mittels Gerinne-Messstellen und Probenahme

Kontext	Unabhängig vom Bergwasseranfall in den Zugangsbauwerken zum gTL ist die Errichtung einzelner Messstellen an hydrologisch sinnvollen Lokalität an ausgewählten Oberflächengewässern geplant. Die Messungen dienen der Vertrauensbildung und der Beweissicherung. Die Daten eignen aber auch als Input für numerische Berechnungen beziehungsweise Modellierungen.
Programme von Dritten	Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und die Kantone betreiben ein dichtes Netz von Messstellen zur flächendeckenden Erfassung, unter anderem von Pegelständen, Durchflussmenge, Wassertemperaturen etc. in der Schweiz; dies zum Teil mit langen historischen Zeitreihen. www.hydrodaten.admin.ch
Programme der Nagra	Die Nagra verfügt derzeit über kein entsprechendes Messprogramm.
Parameter	• Pegelstand ($\pm 0.5 \%$) und / oder Abflussmenge ($\pm 5.0 \%$) • Wassertemperatur ($\pm 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$) • Elektrische Leitfähigkeit ($\pm 1.5 \%$)
Technik	Es ist die Erstellung von Gerinne-Messstellen vorgesehen, die die Erfassung der relevanten Parameter (beispielhaft) wie folgt ermöglichen: • Wasserstand: piezoresistive Drucktransmitter respektive Relativdrucksonde mit keramischer Druckmesszelle oder berührungsloses Puls-Radar • Abflussmenge: zum Beispiel mittels Verdünnungsverfahren oder Berechnung über eine zu bestimmende Pegel/Abfluss-Beziehung • Wassertemperatur: Widerstandsthermometer (zum Beispiel PT1000) • Elektrische Leitfähigkeit: Elektrodenmesszelle
Messfrequenz	Die Parameter werden kontinuierlich $1 \times$ alle 60 Minuten aufgezeichnet. Während des Baus der Zugangsbauwerke zu den BEUU erfolgt die Aufzeichnung der Parameter $1 \times$ alle 10 Minuten.
Ort	Ausgewählte Oberflächengewässer im hydrologischen Umfeld des gTL werden mit Gerinne-Messstellen überwacht.
Zeitplan	Nach der fachtechnischen RBG-Begutachtung (ca. sieben Jahre vor Baubeginn der Zugangsbauwerke zu den BEUU) sind der Bau der Gerinne-Messstellen und der Messbeginn vorgesehen (= Nullmessungen). Die Gerinne-Messstellen dienen der Überwachung bis nach Verschluss des Gesamtlagers.
Beprobung (exklusive Radiologie)	Während des Baus der Zugangsbauwerke zu den BEUU und den vorgängigen Nullmessungen ist eine saisonale Beprobung ausgewählter Oberflächengewässer für hydrochemische Messungen beziehungsweise Analysen gemäss Kapitel 4.1.1 geplant. Danach erfolgt eine jährliche Beprobung für hydrochemische Messungen beziehungsweise Analysen. Ein geeigneter Zeitpunkt für die periodischen Probenahmen im Jahresverlauf wird anhand der Nullmessungen festgelegt.
Radiologie	Gemäss Kapitel 4.1.2 ist an den Gerinne-Messstellen eine periodische Wasserprobenahme geplant. Die im Rahmen der beiden Nullmesskampagnen gesammelten Proben werden im Labor umfangreich radiologisch untersucht (Tabelle 4-1, oben). Dazwischen und danach werden im Rahmen der Überwachungskampagnen einmal jährlich Proben genommen, welche im Labor eine reduzierte radiologische Untersuchung durchlaufen (Tabelle 4-1, unten).

4.2.4 Quellen

Tab. 4-5: Beispielhaftes Konzept für die Überwachung mittels Quell-Messstellen und Probenahme

Kontext	Quellen als Austrittsstellen von Grundwasser aus Locker- und Festgesteinen ermöglichen Rückschlüsse auf das langfristige Verhalten eines hydrogeologischen Systems sowie auf dessen Reaktion auf etwaige Veränderungen. Quell-Messungen dienen der Vertrauensbildung und der Beweissicherung sowie der ergänzenden Standortcharakterisierung. Die Daten eignen sich aber auch als Input für numerische Berechnungen beziehungsweise Modellierungen.
Programme von Dritten	Das BAFU und die Kantone betreiben seit 2000 im Rahmen des Programms NAQUA ein flächendeckendes Netz von Quell- und Grundwassermessstellen in der Schweiz. NAQUA wird in die Module QUANT, TREND, SPEZ und ISOT unterteilt. www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-des-grundwassers/nationale-grundwasserbeobachtung-naqua.html
Programme der Nagra	Die Nagra hat im Rahmen ihrer bisherigen Erkundungsarbeiten (zum Beispiel im Zuge der 2D- und 3D-seismischen Messungen) Quellen Dritter in Form von Katasterblättern erfasst und temporär überwacht.
Parameter	• Schüttung ($\pm 5.0 \%$) • Wassertemperatur ($\pm 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$) • Elektrische Leitfähigkeit ($\pm 1.5 \%$) • pH-Messungen sind vor allem im Zusammenhang mit der Überwachung der Bauaktivitäten (Betonarbeiten) angezeigt und werden deshalb im Rahmen der geplanten UBB durchgeführt.
Technik	Es ist die Erstellung von Quell-Messstellen vorgesehen, die die Erfassung der relevanten Parameter (beispielhaft) wie folgt ermöglichen: • Schüttungsmessung: Durchflussmessung mit Hilfe eines Flowmeters oder Berechnung über eine zu bestimmende Pegel/Abfluss-Beziehung • Wassertemperatur: Widerstandsthermometer (zum Beispiel PT1000) • Elektrische Leitfähigkeit: Elektrodenmesszelle
Messfrequenz	Die Parameter werden kontinuierlich $1 \times$ alle 60 Minuten aufgezeichnet. Während des Baus der Zugangsbauwerke zu den BEUU erfolgt die Aufzeichnung der Parameter $1 \times$ alle 10 Minuten.
Ort	Repräsentative und bereits gefasste Quellen, deren Einzugsgebiet im hydrogeologischen Umfeld des gTL liegt, werden mit Quell-Messstellen überwacht.
Zeitplan	Der Bau von Quell-Messstellen und der Messbeginn sind nach der fachtechnischen RBG-Begutachtung (ca. sieben Jahre vor Baubeginn der Zugangsbauwerke zu den BEUU) vorgesehen (= Nullmessungen). Die Quell-Messstellen dienen der Überwachung bis nach Verschluss des Gesamtlagers.
Beprobung (exklusive Radiologie)	Während des Baus der Zugangsbauwerke zu den BEUU und den vorgängigen Nullmessungen ist eine saisonale Beprobung ausgewählter Quellen für hydrochemische Messungen beziehungsweise Analysen gemäss Kapitel 4.1.1 geplant. Danach erfolgt eine jährliche Beprobung für hydrochemische Messungen beziehungsweise Analysen. Ein geeigneter Zeitpunkt für die periodischen Probenahmen im Jahresverlauf wird anhand der Nullmessungen festgelegt.
Radiologie	Gemäss Kapitel 4.1.2 ist an den Quell-Messstellen eine periodische Wasserprobenahme geplant. Die im Rahmen der beiden Nullmesskampagnen gesammelten Proben werden im Labor umfangreich radiologisch untersucht (Tabelle 4-1, oben). Dazwischen und danach werden im Rahmen der Überwachungskampagnen einmal jährlich Proben genommen, welche im Labor eine reduzierte radiologische Untersuchung durchlaufen (Tabelle 4-1, unten).

4.2.5 Grundwasser

Tab. 4-6: Beispielhaftes Konzept für die Überwachung mittels untiefen Grundwassermessstellen und Probenahme

Kontext	Im Bereich der NZA und der OFA ist eine Überwachung des oberflächennahen Lockergesteingrundwassers mit Hilfe von untiefen Grundwassermessstellen geplant. Die Messungen dienen der Vertrauensbildung und der Beweissicherung sowie der ergänzenden Standortcharakterisierung. Die Daten eignen sich aber auch als Input für numerische Berechnungen beziehungsweise Modellierungen.
Programme von Dritten	Das BAFU und die Kantone betreiben seit 2000 im Rahmen des Programms NAQUA ein flächendeckendes Netz von Quell- und Grundwassermessstellen in der Schweiz. NAQUA wird in die Module QUANT, TREND, SPEZ und ISOT unterteilt. www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-des-grundwassers/nationale-grundwasserbeobachtung-naqua.html
Programme der Nagra	Die Nagra hat im Zuge der 2D- und 3D-seismischen Messungen Grundwassermessstellen Dritter in Form von Katasterblättern erfasst und temporär überwacht. Ausserdem hat die Nagra im Rahmen ihrer weiteren Erkundungsarbeiten vereinzelte untiefe Grundwassermessstellen erstellt und temporär überwacht.
Parameter	- Wasserstand ($\pm 0.1 \%$) - Wassertemperatur ($\pm 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$) - Elektrische Leitfähigkeit ($\pm 1.5 \%$)
Technik	Es werden Bohrungen erstellt, die zu untiefen Grundwassermessstellen ausgebaut werden, in denen das oberflächennahe Lockergestein-Grundwasser hinsichtlich folgender Parameter (beispielhaft) wie folgt überwacht werden kann: - Wasserstand: piezoresistive Drucktransmitter respektive Relativdrucksonde mit keramischer Druckmesszelle - Wassertemperatur: Widerstandsthermometer (zum Beispiel PT1000) - Elektrische Leitfähigkeit: Elektrodenmesszelle
Messfrequenz	Die Parameter werden kontinuierlich $1 \times$ alle 60 Minuten aufgezeichnet. Während des Baus der Zugangsbauwerke zu den BEUU erfolgt die Aufzeichnung der Parameter $1 \times$ alle 10 Minuten.
Ort	Falls in unmittelbarer Nähe um die OFI Lockergestein-Grundwasserleiter vorliegen, werden ober- und unterstromig der Anlagen beziehungsweise Bauwerke untiefe Grundwassermessstellen erstellt und überwacht.
Zeitplan	Die Erstellung der untiefen Grundwassermessstellen um die NZA und somit der Messbeginn ist nach der fachtechnischen RBG-Begutachtung (ca. sieben Jahre vor Baubeginn der Zugangsbauwerke zu den BEUU) vorgesehen (= Nullmessung). Weitere untiefe Grundwassermessstellen werden bei Bedarf drei Jahre vor Baubeginn der OFA erstellt. Sämtliche untiefen Grundwassermessstellen werden bis nach Verschluss des Gesamtlagers überwacht.
Beprobung (exklusive Radiologie)	Während des Baus der Zugangsbauwerke zu den BEUU und den vorgängigen Nullmessungen ist eine saisonale Beprobung ausgewählter untiefer Grundwassermessstellen für hydrochemische Messungen beziehungsweise Analysen gemäss Kapitel 4.1.1 geplant. Danach erfolgt eine jährliche Beprobung für hydrochemische Messungen beziehungsweise Analysen. Ein geeigneter Zeitpunkt für die periodischen Probenahmen im Jahresverlauf wird anhand der Nullmessungen festgelegt.
Radiologie	Gemäss Kapitel 4.1.2 ist in den untiefen Grundwassermessstellen eine periodische Wasserprobenahme geplant. Die im Rahmen der beiden Nullmesskampagnen gesammelten Proben werden im Labor umfangreich radiologisch untersucht (Tabelle 4-1, oben). Dazwischen und danach werden im Rahmen der Überwachungskampagnen einmal jährlich Proben genommen, welche im Labor eine reduzierte radiologische Untersuchung durchlaufen (Tabelle 4-1, unten).

Tab. 4-7: Beispielhaftes Konzept für die Überwachung mittels Langzeitbeobachtungssystemen und Probenahmen

Kontext	Ausgewählte Tiefbohrungen werden zur Überwachung der Formationswasserdrücke im Opalinuston und in den Rahmengesteinen sowie in den tiefen Grundwasserleitern zu sogenannten Langzeitbeobachtungssystemen (LZB) ausgebaut. Ähnliches ist für die Bohrungen im Bereich der Zugangsbauwerke und der Lagerfelder vorgesehen. Die Messungen dienen der Vertrauensbildung und der Beweissicherung sowie der ergänzenden Standortcharakterisierung. Die Daten eignen sich aber auch als Input für numerische Berechnungen beziehungsweise Modellierungen und zur Erfassung der LBE.
Programme von Dritten	Im Zuge von anderen, internationalen gTL-Projekten wurden LZB installiert.
Programme der Nagra	In die Bohrung Benken ZH wurde 1999 ein Multi-Packersystem eingebaut, welches 2009 durch ein neues Multi-Packersystem ersetzt wurde (Nagra 2017).
Parameter	• Formationswasserdrücke ($\pm 0.1 \%$) • Formations(wasser)temperaturen ($\pm 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$)
Technik	Es werden Bohrungen, mit ausreichendem Sicherheitsabstand zu den unterirdischen Bauwerken eines gTL, erstellt und mit Multi-Packersystemen ausgebaut, die die Erfassung relevanter Parameter (beispielhaft) wie folgt ermöglichen: • Wasserdruck: piezoresistive Drucktransmitter • Temperatur: Widerstandsthermometer (zum Beispiel PT1000) oder Glasfaser
Messfrequenz	Die Parameter werden kontinuierlich $1 \times$ alle 60 Minuten aufgezeichnet. Während des Baus der Zugangsbauwerke zu den BEUU und der NZA erfolgt die Aufzeichnung der Parameter in den nahen Bohrungen $1 \times$ alle 10 Minuten.
Ort	Zusätzlich zur Bohrung Benken ist geplant, in jedem Standortgebiet (STAOG) eine TBO zu einem LZB auszubauen. Im Bereich der Zugangsbauwerke EUU ist die Erstellung einer Bohrung und im Bereich der SMA- & HAA-Lagerfelder die Erstellung von jeweils zwei weiteren Bohrungen geplant, welche zu LZB ausgebaut werden.
Zeitplan	Die Instrumentierung der TBO ist für 2021 geplant (= Nullmessungen). Der Ausbau der Bohrungen im Bereich der Zugangsbauwerke zu den BEUU ist drei Jahre vor Baubeginn vorgesehen (= Nullmessungen). Die Bohrungen zur Überwachung der LBE werden drei Jahre vor Auffahren der entsprechenden Lagerfelder instrumentiert. Ausgewählte LZB werden bis nach Verschluss des Gesamtlagers betrieben.
Beprobung (exklusive Radiologie)	Während des Baus der Zugangsbauwerke zu den BEUU und den vorgängigen Nullmessungen ist eine saisonale Beprobung ausgewählter Beobachtungsintervalle für hydrochemische Messungen beziehungsweise Analysen gemäss Kapitel 4.1.1 geplant. Danach erfolgt eine jährliche Beprobung für hydrochemische Messungen beziehungsweise Analysen. Ein geeigneter Zeitpunkt für die periodischen Probenahmen im Jahresverlauf wird anhand der Nullmessungen festgelegt.
Radiologie	Es sind keine Probenahmen für radiologische Analysen vorgesehen.

4.2.6 Geodynamik und Geotechnik

Tab. 4-8: Beispielhaftes Konzept für die geplante Deformationsüberwachung von Bauwerken

Kontext	Im Bereich der Baustellen beziehungsweise Baugruben mit eventuellen Hangeinschnitten im Zusammenhang mit der NZA und den Portalbereichen für die Zugangsbauwerke zu den BEUU beziehungsweise für die OFA sind je nach Topografie und geotechnischen Gegebenheiten lokale Deformationsüberwachungen und ggf. weitere bauwerksüberwachende geotechnische Massnahmen geplant. Diese Messungen dienen der Beweissicherung und der Vertrauensbildung. Diese Messungen liefern aber auch wichtige Inputs für die Überwachung der Bau-durchführung und für die Detailplanung der weiteren Bauwerke.
Programme von Dritten	Die geplante Bauwerksüberwachung wird sich am Standard anderer Bauprojekte vergleichbarer Grösse und ähnlicher Randbedingungen orientieren.
Programme der Nagra	Die Nagra betreibt derzeit keine Deformationsüberwachung nuklearer Anlagen.
Parameter	Abhängig von den Erfordernissen des Projekts und geotechnischen Randbedingungen, werden Standardparameter mit der üblichen Genauigkeit gemessen; beispielhafte Parameter und Techniken sind in der folgenden Zeile aufgeführt.
Technik	Setzung beziehungsweise Verschiebung beziehungsweise Deformation: tachymetrische Verschiebungsmessungen, Extensometer, Inklinometer • Strain beziehungsweise Druck: Druckmessdosen, Messanker
Messfrequenz	Die Parameter werden kontinuierlich 1× alle 60 Minuten aufgezeichnet. Während der Erstellung der Baustellen beziehungsweise Baugruben mit eventuellen Hangeinschnitten und während der Bautätigkeiten in den Portalbereichen der Zugangsbauwerke kann eine erhöhte Messfrequenz durchgeführt werden.
Ort	Diese Überwachung ist in unmittelbarer Nähe um die Baustellen beziehungsweise Baugruben für die OFI vorgesehen.
Zeitplan	Die Bauwerksüberwachung wird unmittelbar vor Baubeginn beziehungsweise im Laufe der Erstellung der Baustellen in Betrieb genommen und bis nach Verschluss des Gesamtlagers fortgesetzt. Vor Baubeginn sind keine langen Nullmessungen notwendig.

Tab. 4-9: Beispielhaftes Konzept für die geplante Überwachung der Lagerfelder mittels Nivellement-Messungen

Kontext	Im Bereich der STAOG ist eine Verdichtung des überregionalen Nivellement-Messnetzes (Schlatter & Marti 2007) des Bundesamtes für Landestopografie (swisstopo) angedacht. Mit diesen Messungen können eventuelle (aus den LBE auf das Gebirge resultierende) Hebungen beziehungsweise Setzungen überwacht werden. Die Messungen dienen der Vertrauensbildung und der Beweissicherung und sowie der ergänzenden Standortcharakterisierung.
Programme von Dritten	Bei Bauwerken, wie zum Beispiel dem Gotthard-Strassentunnel, dienen derartige Messungen zur Erfassung der Oberflächensetzung (Zangerl et al. 2008). Die swisstopo unterhält und überwacht seit über 100 Jahren ein Fixpunktnetz für Nivellement-Messungen in der Schweiz. www.swisstopo.admin.ch/de/wissen-fakten/geodaesie-vermessung.html
Programme der Nagra	Abgesehen von den lokalen Nivellement-Messungen 2018 über den Bözberg führt die Nagra derzeit keine Nivellement-Messkampagnen aus. https://www.nagra-blog.ch/tag/nivellement-messungen
Parameter	• Hebung oder Senkung von Fixpunkten (± 0.2 mm/Jahr)
Technik	Es werden Fixpunkte erstellt, zwischen denen mit Nivelliergeräten und Messlatten Nivellement-Messungen vorgenommen werden. Zur Minimierung störender Signale (zum Beispiel Grundwasserspiegelschwankungen) müssen die Fixpunkte gut fundiert und bestmöglich geologisch angebunden sein.
Messfrequenz	Vor Baubeginn und während der Bautätigkeiten werden die Messkampagnen in ein- bis vierjährigen, später in bis zu 10-jährigen Abständen durchgeführt.
Ort	Messlinien aus gut fundierten Nivellement-Fixpunkten sind in den STAOG mit einem Fokus auf die Zugangsbauwerke, die zentralen Bereiche und vor allem die Lagerfelder zu installieren und wiederholt zu messen.
Zeitplan	Der Bau der Fixpunkte und die erste Messkampagne ist zwei Jahre vor Baubeginn der Zugangsbauwerke zu den BEUU vorgesehen (= Nullmessung). Die Messkampagnen werden bis zum Verschluss des Gesamtlagers wiederholt.

Tab. 4-10: Beispielhaftes Konzept für die geplante Überwachung mittels GNSS-Permanentmessstationen

Kontext	Die Nagra hat in Antizipation der geringen tektonischen Deformationsraten in der Nordschweiz bereits frühzeitig mit geodynamischen Messungen begonnen. Die Erfassung erfolgt derzeit mit elf Permanentmessstationen, die ab 2009 als gezielte Verdichtung des von der swisstopo betriebenen, automatischen GNSS Messnetzes der Schweiz (AGNES) in der Nordschweiz erstellt wurden (Studer & Zanini 2013). Aufgezeichnet werden Signale des Global Navigation Satellite System (GNSS), welches unter anderem das Global Positioning System (GPS) der U.S.A. sowie das russische GLONASS inkludiert. Die Messungen dienen der Beweissicherung und der Vertrauensbildung sowie der Standortcharakterisierung.
Programme von Dritten	Für den Echtzeit-Positionierungsdienst Swiss Positioning Service (SWIPOS) betreibt die swisstopo ein flächendeckendes Netz von etwa 30 GNSS-Permanentmessstellen in der Schweiz. https://www.swisstopo.admin.ch/de/wissen-fakten/geodaesievermessung/permanentnetze.html
Programme der Nagra	2009 wurde das AGNES in der Nordschweiz mit den Messstationen des permanenten GNSS-Messnetzes der Nagra (NaGNet) verdichtet. http://pnac.swisstopo.admin.ch/pages/en/nagnet-status.html
Parameter	• Antennenkoordinaten (± 0.2 mm/Jahr)
Technik	Mit Hilfe von auf Permanentmessstationen installierten Antennen werden GNSS-Signale von Satelliten empfangen und zu Antennenkoordinaten umgerechnet, deren langfristige Veränderung als geodynamische Deformation interpretiert werden kann. Bei der Erstellung der Permanentmessstationen muss auf eine bestmögliche Fundierung im geologischen Untergrund, auf eine möglichst gute Sichtbarkeit der Satellitenbahnen und auf eine Minimierung von elektromagnetischen Störsignalen geachtet werden.
Messfrequenz	Die Parameter werden kontinuierlich $1 \times$ alle 30 Sekunden aufgezeichnet; es erfolgt eine stündliche und tägliche Mittelwertbildung.
Ort	Das NaGNet wird auf das gewählte STAOG fokussiert; dabei werden nicht mehr benötigte Messstationen rückgebaut und im Bereich des gTL zusätzliche GNSS-Permanentmessstationen errichtet.
Zeitplan	Die Überwachung mittels NaGNet erfolgt seit 2010 (= Nullmessung). Die Inbetriebnahme zusätzlicher GNSS-Permanentmessstationen ist nach der fachtechnischen RGB-Beurteilung (ca. sieben Jahre vor Baubeginn der Zugangsbauwerke zu den BEUU) vorgesehen. Ausgewählte Messstationen werden bis zum Verschluss des Gesamtlagers weiterbetrieben.

4.2.7 Seismizität

Tab. 4-11: Beispielhaftes Konzept für die geplante Überwachung mittels Seismometern

Kontext	Für die Langzeitsicherheit eines gTL sind Häufigkeit, Magnitude und Lokalität von Erdbeben von Relevanz. Daher soll die Seismizität der Nordschweiz, insbesondere in und um die STAOG, mit Hilfe von Seismometern aufgezeichnet werden. Die Messungen dienen der Vertrauensbildung und der Beweissicherung sowie der ergänzenden Standortcharakterisierung.
Programme von Dritten	Der Schweizer Erdbebendienst (SED) betreibt in der ganzen Schweiz ein dichtes Netz an Messstellen, wobei unter anderem zwischen dem Breitbandnetz (SDSNet) und dem Starkbebennetz (SSMNet) unterschieden wird. http://www.seismo.ethz.ch/de/earthquakes/monitoring
Programme der Nagra	Die Nagra beteiligt sich seit geraumer Zeit an den regionalen Messungen der Seismizität durch den SED. 2012 wurde zur Verdichtung und Erhöhung der Lokalisierungs Genauigkeit in der Nordschweiz das sogenannte Schwachbebennetz (SBN), mit sieben Oberflächen- und drei Bohrloch-Seismometer in der Nähe der Kernkraftwerke sowie in den und um die potentiellen STAOG, in Betrieb genommen (Plenkers 2014).
Parameter	Beschleunigung und daraus abgeleitet Erdbeben oder Sprengungen: • Magnitude > 1.0; Lokalisierungs Genauigkeit < 500 m
Technik	Es ist geplant, dass bereits sehr dichte Messnetz in der Nordschweiz gezielt mit Seismometern zu verdichten.
Messfrequenz	Die Datenaufzeichnung erfolgt kontinuierlich mit 120 bis 250 Samples per Second (SPS); die Datenübertragung an das Rechenzentrum und die automatisierte Datenauswertung erfolgen innert weniger Sekunden.
Ort	Ein zusätzliches Seismometer wird an der Erdoberfläche im Bereich der OFI in Betrieb genommen und betrieben; später kommt ein zusätzliches Seismometer auf Lagerebene hinzu.
Zeitplan	Die Überwachung mittels SBN erfolgt seit 2012 (= Nullmessung). Die Inbetriebnahme eines zusätzlichen Oberflächen-Seismometers ist drei Jahre vor Baubeginn der Zugangsbauwerke zu den BEUU vorgesehen. Der Seismometer auf Lagerebene wird in Betrieb genommen, sobald die BEUU für Untersuchungen zur Verfügung stehen. Sämtliche Seismometer werden in das SBN integriert und bis zum Verschluss des Gesamtlagers weiterbetrieben.

5 Konzeptioneller Zeitplan

Aufbauend auf der aktuellen Planung des Entsorgungsprogramms 2021 (Nagra 2021) hinsichtlich Phasen und Meilensteinen (Kapitel 1.3) und den Angaben in Tabelle 4-2 bis Tabelle 4-11, zeigt Figur 5-1 zusammenfassend und konzeptionell, wann welche Messungen und Probenahmen beziehungsweise Analysen im Rahmen der ÜUG geplant sind. Wie aus der Legende ersichtlich ist, stehen die unterschiedlichen Farben für unterschiedlich intensive Überwachungsphasen; so stehen die grünen Balken zum Beispiel für die Nullmessungen.

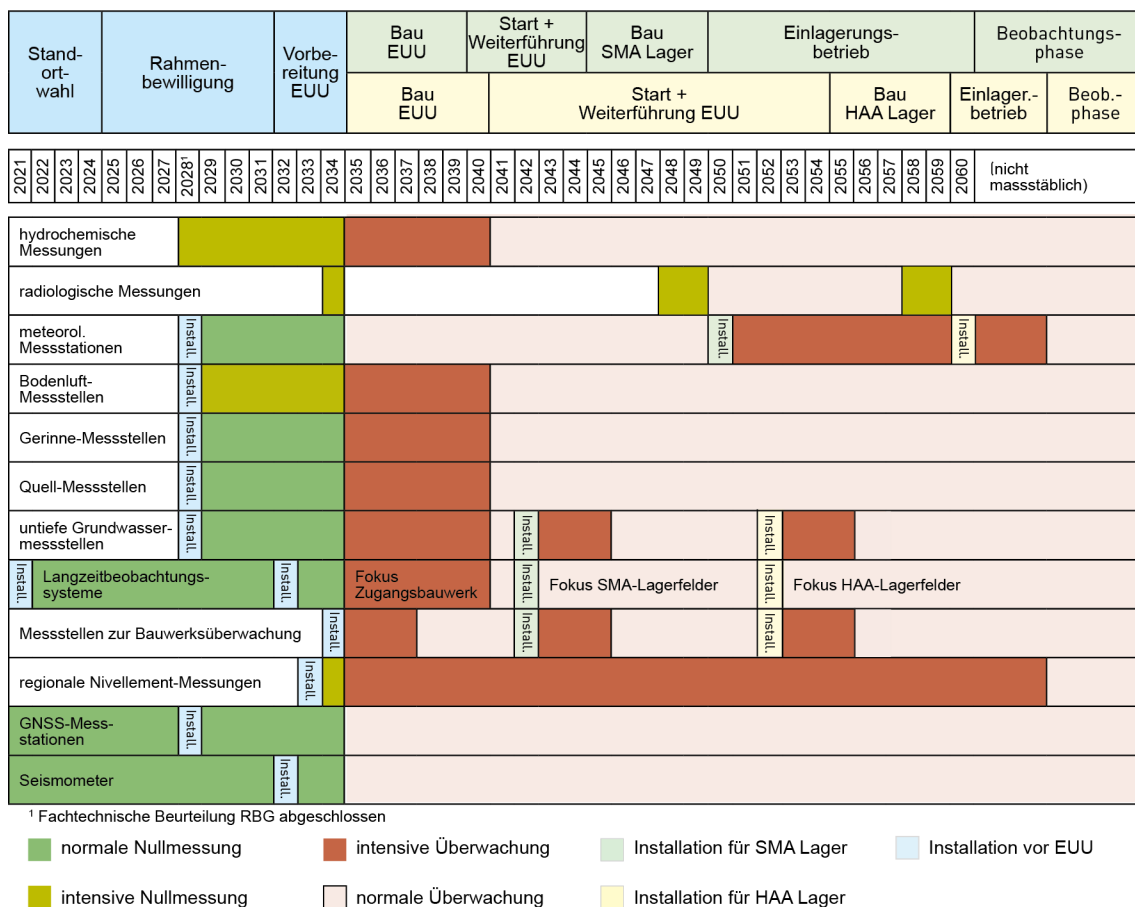


Fig. 5-1: Konzeptionelle Übersicht über die im Rahmen der ÜUG geplanten Überwachungsprogramme

Wie aus Figur 5-1 ersichtlich ist, werden bestimmte Nullmessungen bereits aufgezeichnet (zum Beispiel GNSS-Permanentmessstationen und Seismometer). Für einen Grossteil der restlichen Messprogramme ist der Start der Nullmessungen mit dem Abschluss der fachtechnischen Beurteilung des RBG geplant. Mit sieben beziehungsweise drei Jahren beginnen die Nullmessungen derart frühzeitig vor Baubeginn der Zugangsbauwerke zu den BEUU, dass statistische, saisonale und jährliche Schwankungen fachlich fundiert erfasst werden können (Kapitel 2.1).

Während des Baus der Zugangsbauwerke werden die stärksten Einflüsse auf die Umwelt und das geologische Umfeld erwartet, weshalb in dieser Phase die intensivste ÜUG mit erhöhter Mess- und/oder Probenahmefrequenz geplant ist. Für die Einlagerungs- und Beobachtungsphase können dann die meisten Messprogramme stark reduziert werden. Je nach Parameter laufen die Überwachungen mit oder nach Verschluss des Gesamtlagers aus; zur Verbesserung der Lesbarkeit sind diese weit rechts liegenden Punkte am Zeitstrahl in Figur 5-1 nicht dargestellt.

6 Langzeitdatenmanagement und Archivierung

Das langfristige Datenmanagement und die Archivierung von Proben und Daten sind ein wichtiges Thema bei Überwachungsprogrammen eines gTL. Zum einen müssen Daten und Proben für langen Zeiträume aufbewahrt werden, zum anderen muss sichergestellt werden, dass sie auch langfristig nutzbar sind, damit sie als Datengrundlage für Entscheidungen auch für zukünftige Generationen zur Verfügung stehen.

Konkrete Arbeiten zur Planung, Vorbereitung und Beschaffungen bezüglich dem Management und der Archivierung von Proben und Daten werden erst nach dem RBG ausgeführt (dazu gehören dann auch die Prozessbeschreibungen, Datenmodelle etc.), allerdings früh genug, damit entsprechende Systeme ab dem Start der ersten Messungen und Probenahmen zur Verfügung stehen. Die Ausführungen im vorliegenden Bericht stellen deshalb die momentane Sichtweise bzw. den aktuellen Wissensstand dar, der vor allem auf Nagra-internen Erfahrungen sowie auf Literaturrecherchen und Recherchen bei Partnerorganisationen und internationalen Umweltprobenbanken (Environmental Specimen Bank) beruht. Im Folgenden wird die grundlegende Gliederung der ÜUG beschrieben.

6.1 Proben

Im Rahmen der ÜUG werden verschiedene Proben, z.B. von Grundwasser, Flusswasser, Niederschlag, Boden sowie Staubfangplatten und Luftfiltern, genommen. Die Probenahme ist dabei von entscheidender Bedeutung, da durch unsachgemässe Probenahme die Zusammensetzung der Probe verfälscht werden kann oder eine Probe nicht repräsentativ für den Entnahmeort sein kann. Des Weiteren müssen gewisse Proben direkt nach der Probenahme konserviert werden, damit chemische, physikalische und mikrobielle Prozesse die Zusammensetzung der Probe nicht verändern. Für die Probenahmen und Konservierung gibt es verschiedene ISO-Normen, Praxis-hilfen und Leitfäden, die bei der Planung und Durchführung der Probenahmen berücksichtigt werden, z.B. EN ISO 5667-1:2006 (ISO 2006) für Wasserprobenahmen oder BAFU (2003).

Um bei Bedarf zu einem späteren Zeitpunkt Vergleichsmessungen oder Messungen mit neuartiger Messtechnik durchführen zu können, werden im Rahmen der ÜUG Rückstellproben genommen. Schon heute sind Rückstellproben Teil von Probenahmeprogrammen der Nagra; so werden zum Beispiel im Rahmen der TBO-Kampagne Bohrspülungs-, Gesteins- und Grundwasserproben als Rückstellproben eingelagert.

Im Moment wird von folgenden Archivierungsdauern der ÜUG-Rückstellproben ausgegangen:

- ca. 90 – 100 Jahre für Proben aus den ersten Nullmessungen, die vor dem Schachtbau durchgeführt werden und bis zum Verschluss des Gesamtlagers archiviert werden
- ca. 70 Jahre für Proben aus den Nullmessungsproben, die vor dem Start der Einlagerung der radioaktiven Abfälle durchgeführt werden und bis zum Verschluss des Gesamtlagers archiviert werden
- 1 Jahr für Proben, die während der regulären Überwachung genommen werden (dies in Anlehnung an ENSI 2019)

Folgende Methoden werden, abhängig von Probenart und Parameter, für die Konservierung bzw. Archivierung empfohlen (Nagra 2020):

- Wasserproben sind für die meisten Parameter gefroren kryogen (bei Temperaturen $< -150\text{ °C}$) zu lagern, teilweise mit vorhergehender Behandlung. Für wenige Parameter ist eine chemische Fixierung und anschließende dunkle Lagerung bei 4 °C zu empfehlen.
- Bei Bodenproben empfiehlt sich, die Proben entweder gefrierzutrocknen und bei geringer Luftfeuchte trocken bei Raumtemperatur (18 °C) zu lagern, oder eine Kryolagerung.
- Aerosole sind auf Filtern zu sammeln und mit diesen getrocknet in Glasampullen bei Raumtemperatur zu lagern.

Allerdings gibt es grundsätzlich einige Einschränkungen und Grenzen der Konservierung und Archivierung von Proben:

- Organoleptische (Geruch, Geschmack, Färbung und Trübung) und physiko-chemische Parameter (Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt und Redoxpotential) sowie chemisch leicht flüchtige, instabile Stoffe sind schwer bis gar nicht lagerbar und immer als Vorort-Parameter oder zeitnah im Labor zu messen.
- RN mit einer kurzen Halbwertszeit (kürzer als Lagerungszeit bzw. 30 a) sind nach der Lagerung in sehr geringen Konzentrationen vorhanden und gegebenenfalls nicht mehr messbar. Zum Teil können diese jedoch über die Zerfallsprodukte indirekt bestimmt werden.
- Es könnten Probleme bei den eingelagerten Proben durch Entgasung, chemische Reaktionen oder biologische Prozesse auftreten, wenn die Probenkonservierung oder die Lagerungsbedingungen nicht optimal waren.
- Eine Langzeitstabilität von bisher nicht relevanten oder in Zukunft neu zu messenden/entdeckten Stoffen und eine Kontamination der Probengefäße mit diesen lässt sich nicht vorhersehen, und es kann möglicherweise durch die Konservierung oder durch Lagerungsbedingungen zu verfälschten Konzentrationen dieser Stoffe kommen.

Zum Management der Proben werden die jeweiligen Metadaten in einer Datenbank erfasst. Die konkrete Prozessbeschreibung und das Datenmodell dazu werden im Rahmen der weiteren Planung der Arbeiten erstellt. Dabei ist zu beachten, dass neben den eingelagerten Proben auch alle Analysedaten der jeweiligen Probe verknüpft werden.

In der Datenbank sollten die folgenden, wichtigen Daten zu den Proben enthalten sein:

- Probenart
- beprobtes und abgefülltes Volumen bzw. Gewicht
- Welches Gefäß wurde verwendet?
- Probenbehandlung
- Konservierungs- bzw. Einlagerungsart und Lagerungsort
- Vorort-Dokumentation der Probenahme (z.B. Probenname, Probennehmer, Probenahmeort, Art der Probenahme, Datum und Uhrzeit, Wetterverhältnisse, Vorort-Messungen etc.) inklusive fotografische Dokumentation
- Verknüpfung mit Analysedaten in der dazugehörigen Datenbank
- An wen werden die Proben zur Analyse weitergegeben?

Die Lagerungsorte der Proben werden logistisch beschriftet sein, um den Proben bestimmte Plätze zuweisen zu können und diese später einfach wieder zu finden. Neben der Logistik und der Datenbankpflege ist es auch wichtig, alle Probenahmemethoden und Arbeitsanweisungen für Probenahme, Konservierung und Archivierung langfristig zu dokumentieren.

Im vorliegenden Bericht wird nur der aktuelle Stand der praktizierten Technik berücksichtigt. Probenahme und Archivierungstechniken können sich über relativ kurze Zeiträume ändern. Das heisst, heute praktizierte Techniken können sich mit Beginn der Probenahme und Archivierung im Rahmen der ÜUG bereits geändert haben. Deshalb werden neue Entwicklungen und der Stand der Technik kontinuierlich verfolgt und regelmässig neu evaluiert.

6.2 Daten

Die Monitoring-Daten werden bis zum Verschluss des Gesamtlagers durch den Betreiber des gTL gesammelt und gemeinsam mit den Metadaten in einer Datenbank gespeichert und für allfällige Auswertungen zur Verfügung gestellt. Das Management der Metadaten ist dabei von zentraler Bedeutung für die Nutzung und Archivierung der Monitoring-Daten. Sie enthalten unter anderem Informationen zur Planung und Handhabung der Datenflüsse, der Qualitätskontrollen und der Organisation der Datenbank. Die gewählten Technologien für das Datenmanagement und das notwendige Datenmodell werden möglichst robust und nachhaltig sein. Auf Grund der erwarteten digitalen Technologieentwicklungen in den nächsten Jahrzehnten entstehen besondere Anforderungen an die Langzeitlegbarkeit und Verfügbarkeit von digitalen Daten, Datenmanagement- und IT-Systemen. Redundanz soll durch die Datenspeicherung auf mindestens zwei Servern (bei dem Betreiber des gTL sowie auf einem externen Server) gewährleistet werden sowie durch jährliche Berichte mit einer Zusammenfassung der Monitoring-Daten. Ausserdem werden bei der langfristigen Dokumentation der Monitoring-Ergebnisse auch die Anforderungen gemäss KEV Art. 71 berücksichtigt.

Es ist geplant, dass auch alle Daten, die bei Feld- oder Labormessungen erhoben werden, in einer Datenbank gespeichert werden, die über ein Interface zu einem Geographischen Informationssystem (GIS) verfügt.

Die erhobenen Daten müssen von der Person, die verantwortlich für die Feldaktivität war, geprüft und zugelassen werden. Nachdem die Daten in der Datenbank erfasst wurden, werden sie nochmals auf Fehlerfreiheit kontrolliert. Die Aspekte der Qualitätssicherung vor der Datenarchivierung und die Art der Zurverfügungstellung bedarf einer engen Abstimmung mit allfälligen Datennutzern und muss für jedes Messprogramm separat festgelegt werden. Dieser Prozess der Qualitätssicherung (QS) wird in konkreten Dokumenten des Qualitätsmanagementsystems (QMS) detailliert festgelegt und beschrieben werden. Die daraus entstehenden Metadaten werden im Datenmodell adäquat abgebildet.

Viele Monitoring-Daten werden durch automatische Messungen mittels Sensoren in-situ erhoben, wodurch Zeitreihen mit hoher zeitlicher Auflösung entstehen. Diese Zeitreihen können entweder direkt in die Datenbank eingespielen oder müssen vorgängig prozessiert werden. Für jeden Monitoring-Parameter werden eigene adäquate Routinen entwickelt, um die Datenprozessierung und Qualitätskontrollen durchzuführen. Neben den eigentlichen Messwerten der Sensoren, zum Beispiel Grundwasserstand in "Meter über Meer" (m ü. M.) oder in "Meter unter Terrain" (m u. T.), werden jetzt schon bei aktuellen Nagra-Projekten sowohl die Rohdaten des Sensors, zum Beispiel Milli-Ampere (mA) für einen piezoresistiven Drucksensor, als auch die daraus berechnete Grösse, zum Beispiel Wasserdruck oberhalb des Sensors in Kilopascal (kPa), sowie die zugrunde gelegte Umrechnungsformel inklusiv Parameter aus der Kalibrierung dokumentiert. Da nicht nur das Datenmanagement und die IT, sondern auch die Messtechniken sich während

der Dauer des Monitorings, von den Nullmessungen bis zum Verschluss des gTL, weiterentwickeln und ändern werden, ist geplant, zusammen mit den Messdaten auch Meta-informationen wie Messmethoden, Kalibrierungen und Umrechnungsformeln umfassend zu dokumentieren und zu archivieren.

In den nächsten Jahren ist der Datenfluss zwischen der Nagra beziehungsweise dem Betreiber des gTL und der Aufsichtsbehörde zu regeln, und die Schnittstellen sind zu definieren, sodass spätestens ab Baubeginn der Zugangsbauwerke EUU das Vorgehen festgelegt ist. Da Aufsichtsbehörde und BAG eigene Messnetze betreiben werden (Kapitel 2.1), sind sie auch für deren Betreuung und die Messdatenarchivierung ihrer eigenen Netze verantwortlich.

7 Zusammenfassungen und Ausblick

Die Planungs- und Bewilligungsschritte eines gTL sind so ausgelegt, dass es sicher gebaut, betrieben und verschlossen wird. Mit Hilfe der umfangreichen ÜUG-Messprogramme wird die Grundlage geschaffen, um natürliche Schwankungen der Umwelt und Geologie von Veränderungen, die durch den Bau und Betrieb des gTL verursacht werden könnten, zu unterscheiden. Die ÜUG dienen vor allem der Vertrauensbildung sowie der Beweissicherung.

Dieser Bericht zeigt erste konzeptionelle, standortunabhängige Überlegungen zu beispielhaften Messprogrammen, Probenahmen und Nullmessungen im Rahmen der ÜUG auf, die vom Betreiber des gTL geplant und durchgeführt werden. Des Weiteren wird der aktuelle Planungsstand zum Langzeit-Datenmanagement und zur Archivierung von Proben beschrieben.

Das vorliegende standortunabhängige ÜUG-Konzept stellt einen Hintergrundbericht zum Entsorgungsprogramm 2021 (Nagra 2021) dar und beantwortet damit die Bundesratsaufgabe 5.5 (Anhang 1) vom Entsorgungsprogramm 2016 (Bundesrat 2018). Ausserdem bildet vorliegendes Dokument eine Grundlage für die Entwicklung des geforderten integralen Überwachungskonzepts, das mit dem RBG einzureichen ist, sowie die damit einhergehende standortspezifische Planung der ÜUG.

Im ÜUG-Konzept sind folgende Messprogramme, Probenahmen und Analysen vorgesehen:

- Meteorologie (meteorologische Messstationen, Beprobung mit Hilfe von Luftfiltern und Staubfangplatten sowie von Niederschlagswasser, radiologische Analysen der Proben)
- Boden und Bodenluft (Bodenluft-Messstellen für Radon, Bodenproben, radiologische Analysen der Proben)
- Oberflächengewässer (Gerinne-Messstellen, Oberflächengewässerproben, hydrochemische und radiologische Analysen der Proben)
- Quellen (Quell-Messstellen, Quellwasserproben, hydrochemische und radiologische Analysen der Proben)
- Grundwasser (untiefe Grundwassermessstellen sowie Langzeitbeobachtungssystemen in Tiefbohrungen und in Bohrungen im Bereich der Zugangsbauwerke und der Lagerfelder, Grundwasserproben, hydrochemische und radiologische Analysen der Proben)
- Geodynamik und Geotechnik (Deformationsüberwachung von Bauwerken sowie Überwachung der Lagerfelder und Standortregion mittels Nivellement-Messungen und GNSS-Permanentmessstationen)
- Seismizität (Seismometer)

Nullmessungen zur Erfassung des ungestörten Ausgangszustandes sind einer der zentralen Aspekte der ÜUG, da sie über den gesamten Lebenszyklus eines gTL eine wichtige Grundlage bilden, von der Standortcharakterisierung über die Beweissicherung bis hin zum ordnungsgemässen Verschluss eines gTL und dessen Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung. Sie stellen auch eine Basis für die Festlegung von Interventionswerten dar. Für die zuverlässige Erfassung müssen die Nullmessungen rechtzeitig vor Beginn des Baus der Zugangsbauwerke EUU sowie vor Beginn der Einlagerung gestartet werden, um statistische, saisonale und jährliche Schwankungen abzudecken.

Einige Messprogramme wurden bereits in den möglichen Standortregionen implementiert (zum Beispiel: SBN, NaGNet, LZB), und erste Nullmessungen werden aufgezeichnet. Der Beginn der

Nullmessungen für die Messprogramme zu Meteorologie, Oberflächengewässer, Quellen und untiefes Grundwasser sowie die Verdichtung bereits laufender Messprogramme ist nach Abschluss der fachtechnischen RBG-Beurteilung (ca. sieben Jahre vor Baubeginn der Zugangsbauwerke) geplant, respektive zu Beginn der Phase "Vorbereitung EUU" (ca. drei Jahre vor Baubeginn der Zugangsbauwerke) im Falle von Nivellement, Seismometer, tiefes Grundwasser. Intensive radiologische Nullmessungskampagnen sind vor Baubeginn der Zugangsbauwerke sowie vor Einlagerungsbetrieb geplant.

Die nächsten Schritte sind der Einbau der LZB in ausgewählten TBO, die standortspezifische Planung der ÜUG im Hinblick auf das RBG sowie der Austausch bzgl. des ÜUG-Konzepts und der geplanten behördlichen radiologischen Umweltüberwachung in der Umgebung eines gTL mit der Aufsichtsbehörde und anderen relevanten Behörden.

Die nächsten Jahre werden auch Messtechniken aus dem Bereich "Remote Sensing" weiter evaluiert und getestet. Momentan läuft bereits eine Studie zur Fusion von INSAR-Daten mit GNSS- und Nivellement-Daten (Heck et al. 2019), um räumliche, hochpräzise, tektonische Deformationsraten in den Standortgebieten aufzulösen. Es ist geplant, diese Methodik auch im Rahmen der ÜUG zu testen. Zusätzlich werden auch Messtechnikentwicklungen für die anderen Messprogramme weiterverfolgt.

8 Literaturverzeichnis

- BAFU (2003): Paxishilfe Grundwasserprobennahme. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, Schweiz. www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/publikationen-wasser/grundwasserprobennahme.html
- BFE (2020): Studien zu Wirtschaft und Gesellschaft sowie Monitoring im Sachplan geologische Tiefenlager. Übersichts- und Steuerungsdokument. Bundesamt für Energie (BFE), Bern, Schweiz. <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/8642>
- Bundesrat (2018): Verfügung zum Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen, Schweizerischer Bundesrat, 9. Nov. 2018.
- Eichinger F., Lorenz G., Eichinger L. & Heidinger M. (2013): Hydrochemische Aspekte der Wasserhaltung in den Zugangsbauwerken eines zukünftigen geologischen Tiefenlagers der Nordschweiz. Arbeitsbericht NAB 13-84.
- ENSI (2018): Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager. ENSI 33/649. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI).
- ENSI (2019): Reglement für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des zentralen Zwischenlagers Würenlingen (ZLL). Verfügung 32/633, Revision 1. Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI).
- ENSI (2020a): Richtlinie für die Schweizer Kernanlagen G03. Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI).
- ENSI (2020b): Erläuterungsbericht zur Richtlinie G03. Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI).
- GSchG (1991): Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24. Januar 1991, Stand am 1. Januar 2020.
- Häner A., Mayer G., Schwyn B. & Schweingruber M. (2014): Chemische Risikobewertung – Beurteilung von Stoffen in einem geologischen Tiefenlager für radioaktive Abfälle aufgrund ihrer Chemotoxizität. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-35.
- Heck A., Weisgerber J., Westerhaus M., Sumaya H., Even M., Kutterer H. & Heck B. (2019): Heck A., Weisgerber, J., Westerhaus, M., Sumaya, H., Even, M., Kutterer, H. & Heck, B. (2019): Fusion of SAR-Interferometry, GNSS and Precise Levelling: Latest Deformation Fields in Northern Switzerland derived from PS-InSAR and GNSS. Abstract Volume of 17th Swiss Geoscience Meeting, p504.
- IAEA (2001): Monitoring of geological repositories for high level radioactive waste. AEA-TECDOC-1208. International Atomic Energy Agency (IAEA).
- IAEA (2014): Monitoring and Surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities. Specific Safety Guide. No. SSG-31. International Atomic Energy Agency (IAEA).
- ISO (2006): Standard EN ISO 5667-1:2006. Water quality - Sampling - Part 1: Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques. International Organization for Standardization (ISO).

- KEG (2003): Kernenergiegesetz vom 21. März 2003 (Stand am 1. Januar 2018). Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.1. Bundesrat (BR). <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20010233/index.html>
- KEV (2004): Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (Stand am 1. Februar 2019). Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.11. Bundesrat (BR). <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20042217/index.html>
- Nagra (2016): Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen. Nagra Technischer Bericht NTB 16-01.
- Nagra (2017): Sondierbohrung Benken - Gesuch um Verlängerung einer erteilten Bewilligung für erdwissenschaftliche Untersuchungen. Nagra Sondiergesuch NSG 20 Benken.
- Nagra (2020): Konservierung und Archivierung von Umweltproben. Unveröffentlichter Bericht der Firma Hydroisotop GmbH zur Planung der ÜUG.
- Nagra (2021): Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen. Nagra Technischer Bericht NTB 21-01 D. *In Bearbeitung*.
- NEA (2014): Preservation of records, knowledge and memory across generations (RK&M). Monitoring of geological disposal facilities – technical and societal aspects. NEA/RWM/R(2014)2, OECD Nuclear Energy Agency (NEA).
- Plenkers, K. (2014): Das neue Schwachbebennetz in der Nordschweiz: Standortsuche, Standortauswahl, realisierte Stationen. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-56.
- Schlatter, A. & Marti, U. (2007): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95' – Teil 12: Landeshöhenetz 'LHN95': Konzept, Referenzsystem, kinematische Gesamtausgleichung und Bezug zum Landesnivellement 'LN02'. Bericht 20. Bundesamt für Landestopografie (swisstopo).
- StSV (2017): Strahlenschutzverordnung vom 26. April 2017 (Stand am 1. Februar 2019). Systematische Sammlung des Bundesrechts AS 2017 4261. Bundesrat (BR). www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20163016/index.html
- Studer, M. & Zanini, M. (2013): Aufbau und Betrieb eines eigenständigen CORS-GNSS Netzes - Kurzbericht (für interessierte Dritte). Nagra Arbeitsbericht NAB10-14.
- USG (1983): Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz USG) vom 7. Oktober 1983, Stand am 1. Januar 2021. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.01, Schweiz.
- WMO (2018): Guide to instruments and methods of observation. Volume I: Measurement of meteorological variables. WMO report No. 8. World Metrological Organization (WMO). https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10179
- Zangerl, C., Evans, K.F., Eberhard, E. & Löw, S. (2008): Consolidation settlements above deep tunnels in fractured crystalline rock: Part 1 - Investigations above the Gotthard highway tunnel. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 45, Issue 8, December 2008, Pages 1195-1210, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2008.02.002>

Anhang: Beantwortung der Bundesratsaufgabe 5.5 für das Entsorgungsprogramm 2021

Bundesratsaufgabe 5.5: Die Nagra hat im Entsorgungsprogramm 2021 Vorarbeiten zu Nullmessungen zu dokumentieren. Darin ist begründet darzulegen, welche Prozesse und Parameter wichtig für die Umweltüberwachung und die Nullmessungen sind und wie diese zu erfassen sind.

Die Überwachung der Umwelt und des geologischen Umfelds (ÜUG) sowie die dazugehörigen Nullmessungen sind Teil des integralen Überwachungskonzepts für das geologische Tiefenlager. Die ÜUG-Daten bilden die Grundlagen, um natürliche Veränderungen und Schwankungen in der Umwelt und im geologischen Umfeld des geologischen Tiefenlagers von Veränderungen zu unterscheiden, die durch den Bau, Betrieb und Verschluss des geologischen Tiefenlagers verursacht werden könnten. Der vorliegende Bericht (NAB 20-28) beschreibt generisch anhand konzeptioneller und standortunabhängiger Überlegungen beispielhafte Messprogramme des Betreibers des geologischen Tiefenlagers sowie den aktuellen Planungsstand zum Langzeitdatenmanagement und zur Archivierung der Proben. Nach der Standortwahl und vor dem RBG werden die Messprogramme standortspezifisch konkretisiert.

Im ÜUG-Konzept sind folgende Messprogramme, Probenahmen und Analysen vorgesehen:

- Meteorologie (meteorologische Messstation, Beprobung mit Hilfe von Luftfiltern und Staubfangplatten sowie von Niederschlagswasser, radiologische Analysen der Proben)
- Boden (Bodenluft-Messstellen für Radon, Bodenproben, radiologische Analysen der Proben)
- Oberflächengewässer (Gerinne-Messstellen, Oberflächengewässerproben, hydrochemische und radiologische Analysen der Proben)
- Quellen (Quell-Messstellen, Quellwasserproben, hydrochemische und radiologische Analysen der Proben)
- Grundwasser (untiefe Piezometer sowie Langzeitbeobachtungssysteme in Tiefbohrungen, Grundwasserproben, hydrochemische und radiologische Analysen der Proben)
- Geodynamik und Geotechnik (Deformationsüberwachung von Bauwerken sowie Überwachung der Lagerfelder und der Standortregion mittels Nivellement-Messungen und GNSS-Permanentmessstationen)
- Seismizität (Seismometer)

Nullmessungen zur Erfassung des ungestörten Ausgangszustands sind einer der zentralen Aspekte der ÜUG, da sie über den gesamten Lebenszyklus eines geologischen Tiefenlagers eine wichtige Grundlage bilden, von der Standortcharakterisierung über die Beweissicherung bis hin zum ordnungsgemässen Verschluss des geologischen Tiefenlagers und dessen Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung. Sie stellen auch eine Basis für die Festlegung von Interventionswerten dar. Für die zuverlässige Erfassung müssen die Nullmessungen rechtzeitig vor Beginn des Baus der Zugangsbauwerke EUU sowie vor Beginn der Einlagerung gestartet werden und statistische, saisonale und jährliche Schwankungen abdecken.

Einige Messprogramme wurden bereits in den möglichen Standortregionen implementiert (GNSS-Permanentmessstationen, Seismometer, Langzeitbeobachtung in Tiefbohrungen), und erste Nullmessungen werden aufgezeichnet. Der Beginn der Nullmessungen für die Messprogramme zu Meteorologie, Oberflächengewässer, Quellen und untiefes Grundwasser sowie die Verdichtung bereits laufender Messprogramme sind nach Abschluss der fachtechnischen RBG-Beurteilung (ca. 7 Jahre vor Baubeginn der Zugangsbauwerke) geplant resp. zu Beginn der Phase "Vorbereitung EUU" (ca. 3 Jahre vor Baubeginn der Zugangsbauwerke) im Falle von Nivellement, Seismometer, tiefes Grundwasser. Intensive radiologische Nullmessungskampagnen sind vor Baubeginn der Zugangsbauwerke sowie vor Einlagerungsbetrieb geplant.