Stand der Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz

Sicherheitstechnischer Vergleich in Etappe 2 – Vorschläge der Nagra für Etappe 3

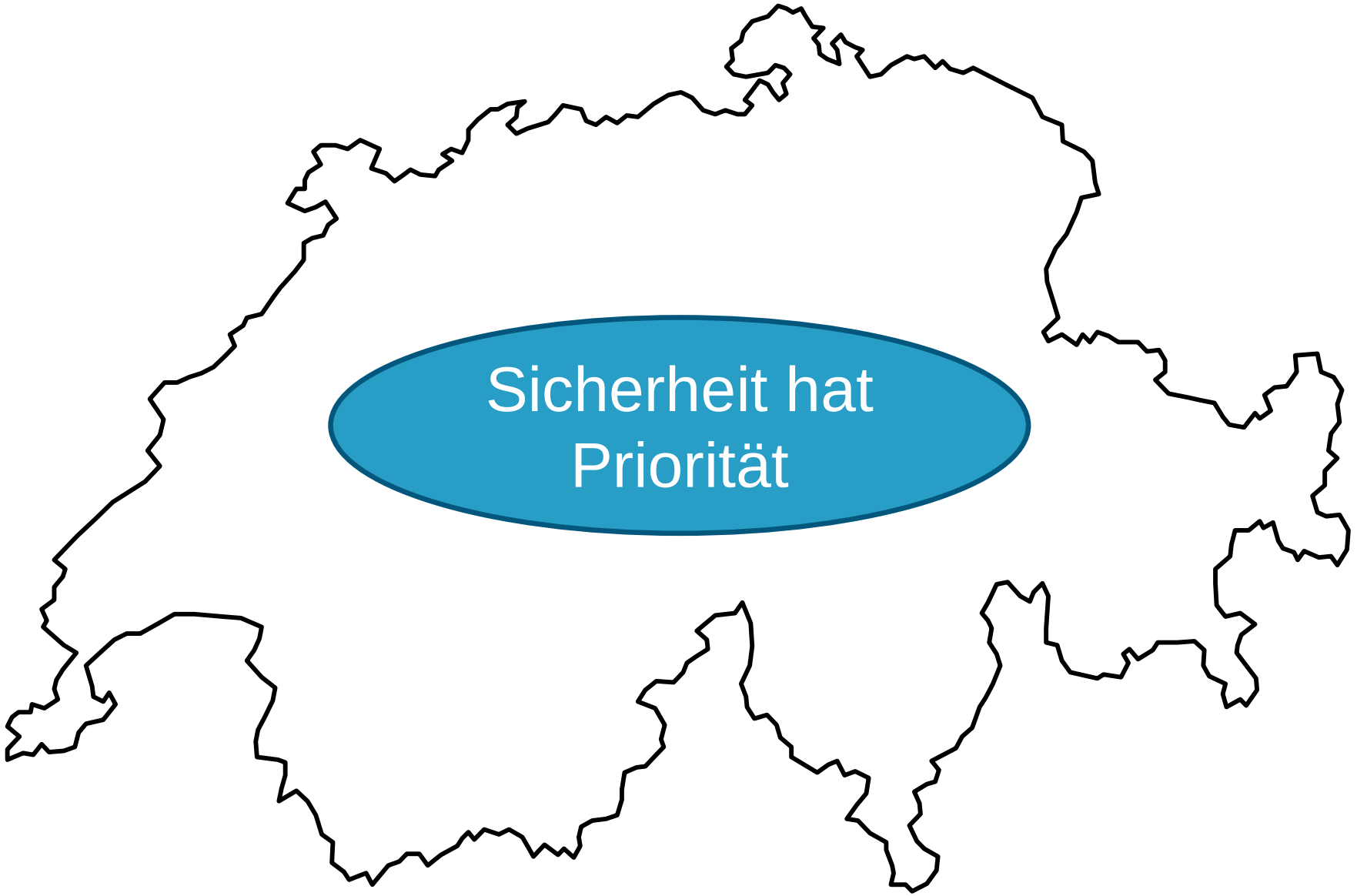
Sitzung des Kreistags Waldshut

Waldshut, 11. März 2015

Markus Fritschi, Mitglied Geschäftsleitung

nagra. aus verantwortung

Ausgangslage Standortwahlverfahren



Etappe 1: Kriterien definiert

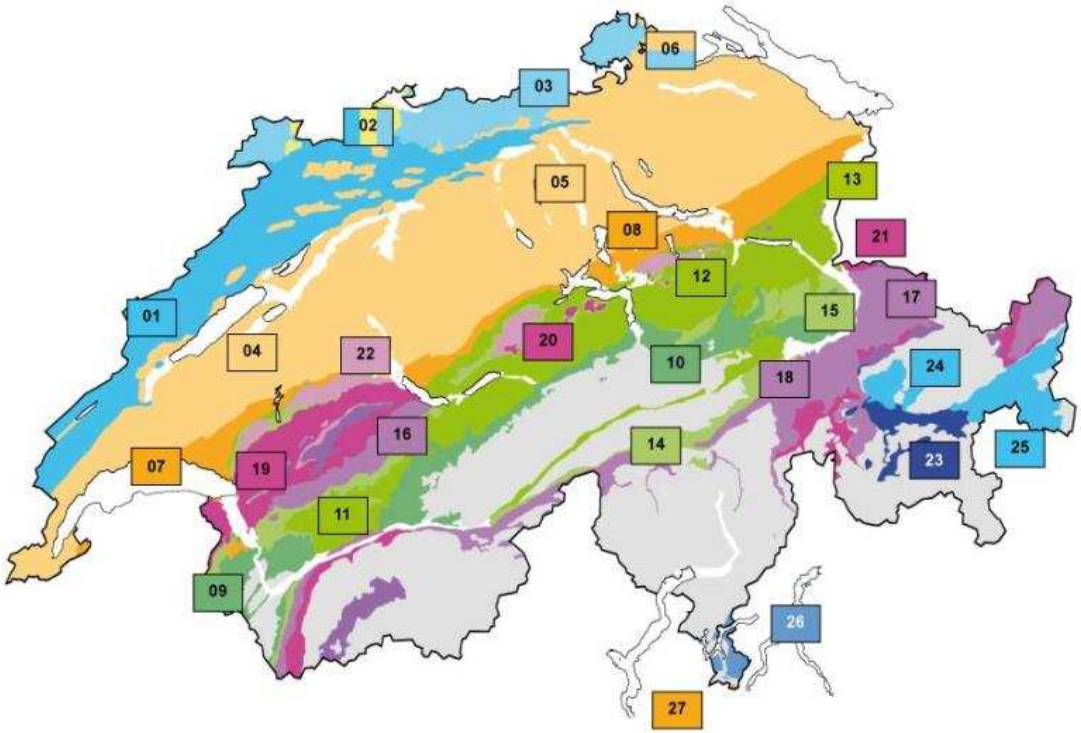
Die 13 Kriterien des SGT zur Standortevaluation hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit	
1 Eigenschaften des Wirtgesteins (bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs)	1.1 Räumliche Ausdehnung 1.2 Hydraulische Barrierenwirkung 1.3 Geochemische Bedingungen 1.4 Freisetzungspfade
2 Langzeitstabilität	2.1 Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften 2.2 Erosion 2.3 Lagerbedingte Einflüsse 2.4 Nutzungskonflikte
3 Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen	3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine 3.2 Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse 3.3 Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen
4 Bautechnische Eignung	4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung

Etappe 1: Grossräume

- Räumliche Verhältnisse und ihre Explorierbarkeit
- Langzeitstabilität

Etappe 1: Wirtgesteine

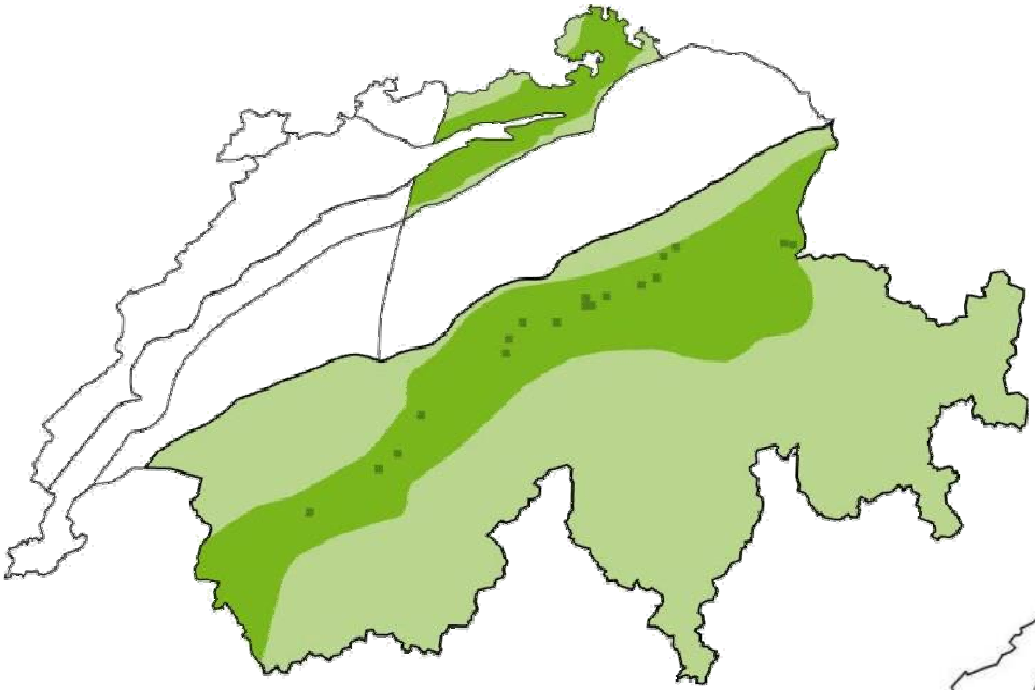
- Prüfung der Wirtgesteinsoptionen

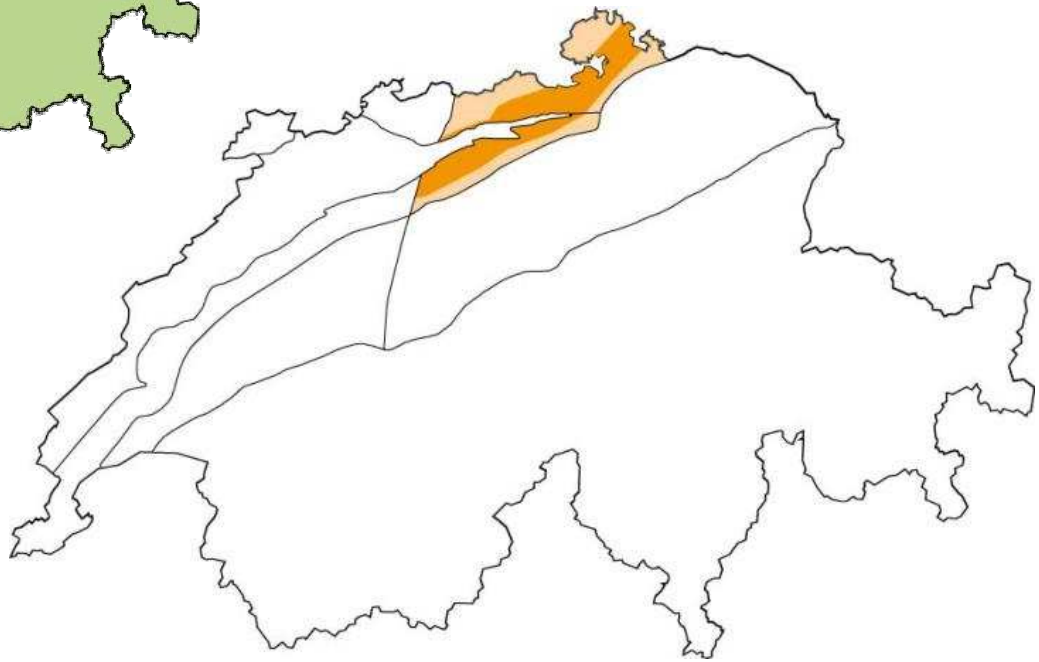


SMA	HAA	Gesteinseinheit
		Karbonatgesteins-Formationen verschiedenen Alters
		Sandstein-Formationen verschiedenen Alters
		Verrucano-Schiefer, Schiefer des Karbons
		Playa-Serie
		Evaporitabfolgen der Trias
		Kössen-Allgäu-Formation (tonige Fazies)
		Lias (Lias indifférent)
		Opalinuston (westl. Tafeljura / Faltenjura / westl. Subjurass. Zor
		Opalinuston (östl. Tafeljura / östl. Subjurass. Zone)
		Aalénien-Tonschiefer
		Staldengraben-Formation (tonige Fazies)
		Tongesteinsabfolge Brauner Dogger (östl. Tafeljura)
		Effinger Schichten (Faltenjura / westl. Subjurassische Zone)
		Effinger Schichten (östl. Tafeljura /östl. Subjurassische Zone)
		Renggeri-Ton und Terrain à Chailles
		Tonschiefer-Abfolgen der Bündnerschiefer
		Scaglia
		Mergel-Formationen des Helvetikums
		Flysch-Formationen
		Untere Süsswassermolasse (USM; Marnes Bariolées s. str.)
		Meletta-Schichten
		Formazione di Chiasso
		Brendenbach-Mergel-Formation
		Obere Süsswassermolasse (OSM; Basiszone und Bodensee-Sc
		Quartäre Seeablagerungen
		Kristallingesteine (wenig deformierte Blöcke) (Nordschweiz)
		Kristallingesteine (wenig deformierte Blöcke) (Alpen)

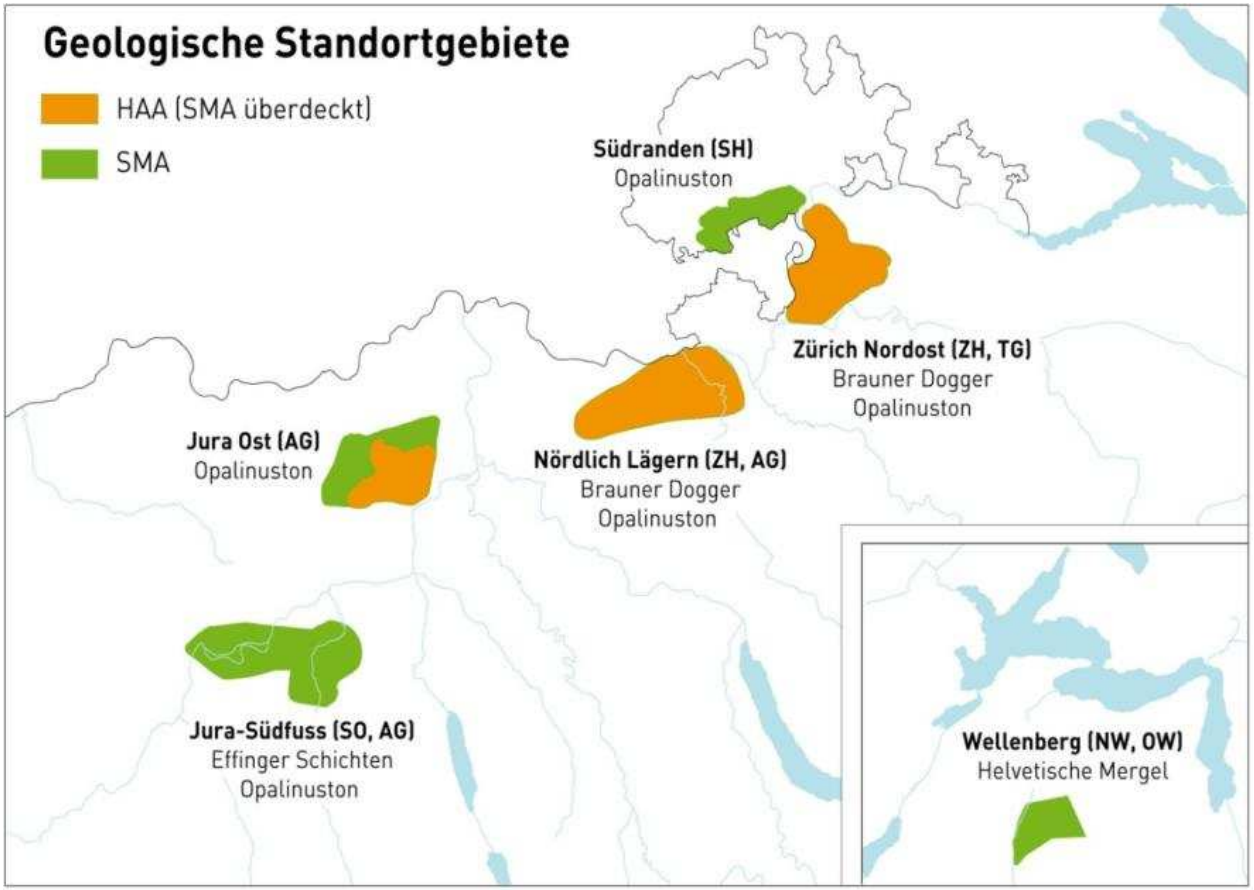
Etappe 1: Verbreitung Wirtgesteine

- Grossräume und bevorzugte Wirtgesteine





Etappe 1: Resultat



- Resultat systematischer Anwendung der **Vorgaben im Sachplan**
- berücksichtigt die geologischen Möglichkeiten der **ganzen Schweiz**
- abgeleitet mit systematischer, **schrittweiser Einengung** aus Sicht **Sicherheit** und **technischer Machbarkeit**

Etappe 1: Beurteilung durch die Deutsche ESchT

Auf Basis ihrer Bewertungen zu den fünf Schritten in Etappe 1 des Sachplan Geologische Tiefenlager kommt die ESchT insgesamt zu der Einschätzung, dass die **Nagra aus geowissenschaftlicher und sicherheitstechnischer Sicht nach fundiertem und aktuellem Stand der Wissenschaft vorgegangen** ist.

Das Standortauswahlverfahren **folgt** in Etappe 1 der im Sachplan Geologische Tiefenlager **vorgegebenen methodischen Vorgehensweise**.

Die Identifizierung der weiter im Verfahren bleibenden und damit in die Etappe 2 zu übernehmenden potenziellen Standortgebiete erfolgt damit durch einen in erster Linie sicherheitsgerichteten und über Kriterien gesteuerten sowie flächen- und raumbezogen wirksam werdenden schrittweisen Einengungsprozess.

Implizite Vorfestlegungen wurden nicht identifiziert.

Quelle: Medienmitteilung ESchT (März 2010)

Aufgaben in Etappe 2

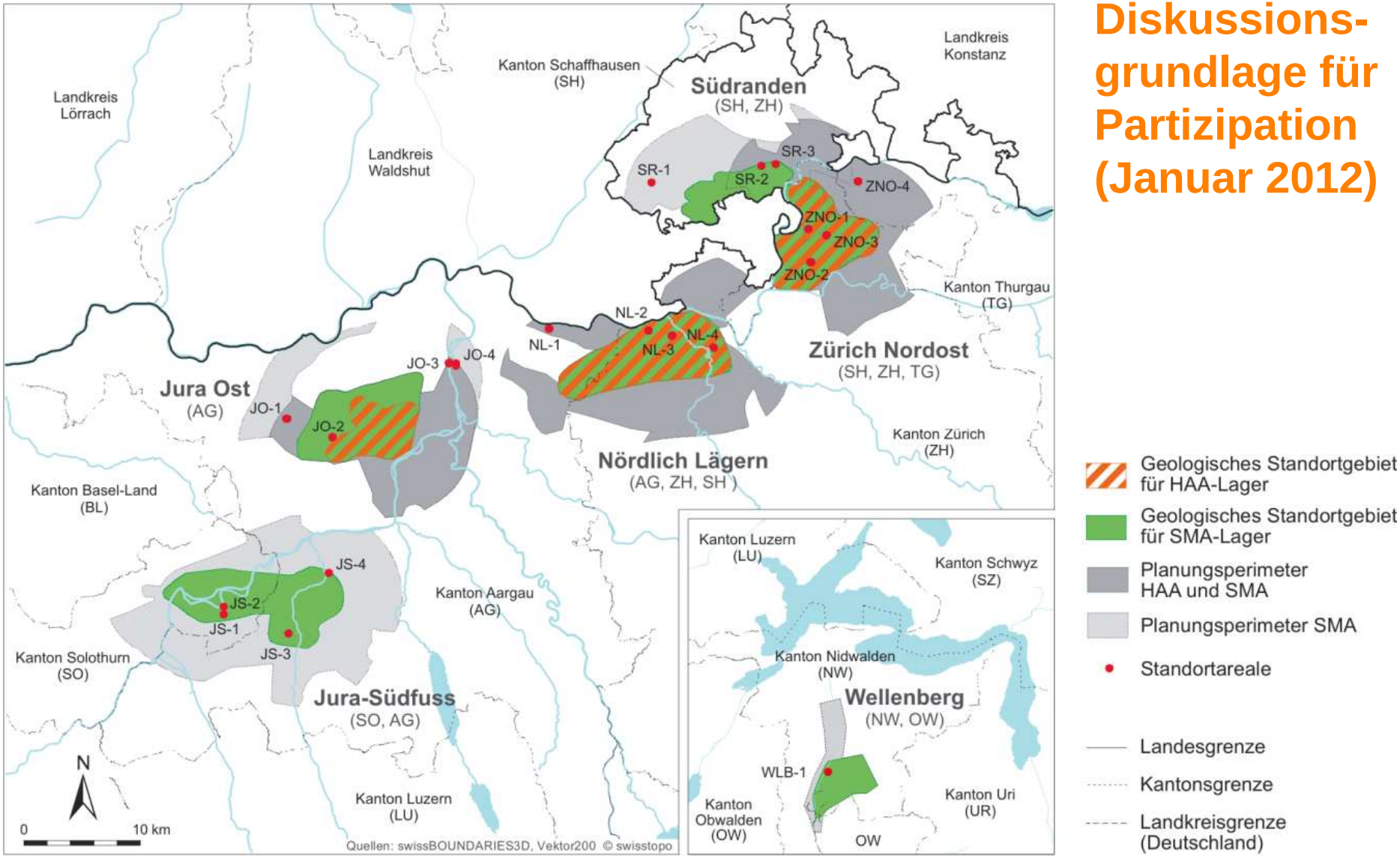
Festlegung der **Standortareale für die Oberflächenanlage und deren Erschliessung** in Zusammenarbeit mit den Standortregionen

Erhöhung Kenntnisstand und Sicherheitstechnischer Vergleich der geologischen Standortgebiete aus Etappe 1

Resultat Zusammenarbeit Region und Sicherheitsvergleich:

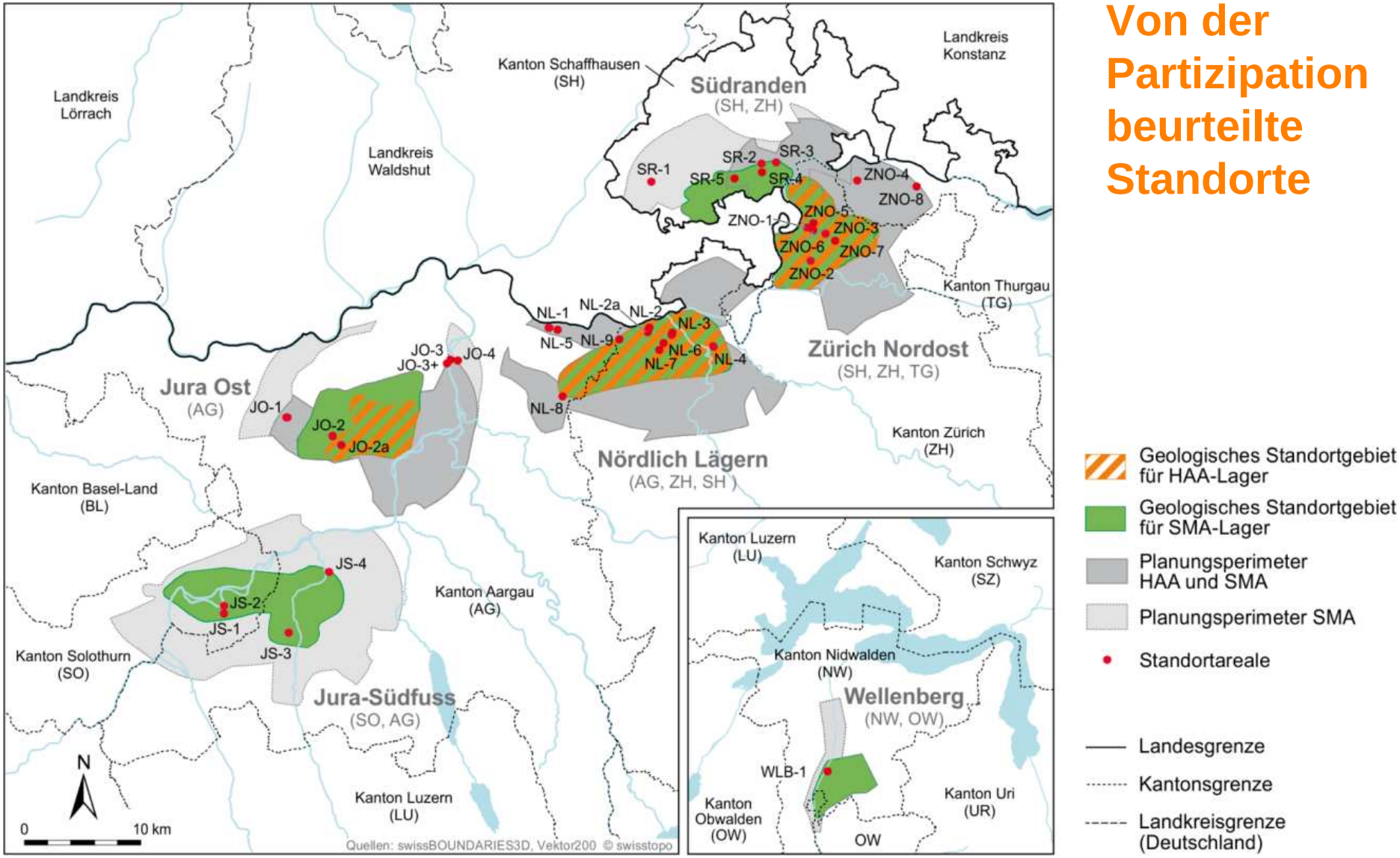
Vorschlag der Nagra von **mindestens je 2 geologischen Standort-gebieten pro Lagertyp mit den zugehörigen Standortarealen** für die weitere Untersuchung in Etappe 3

Standorte Oberflächenanlagen – Vorschläge Nagra



Diskussions-grundlage für Partizipation (Januar 2012)

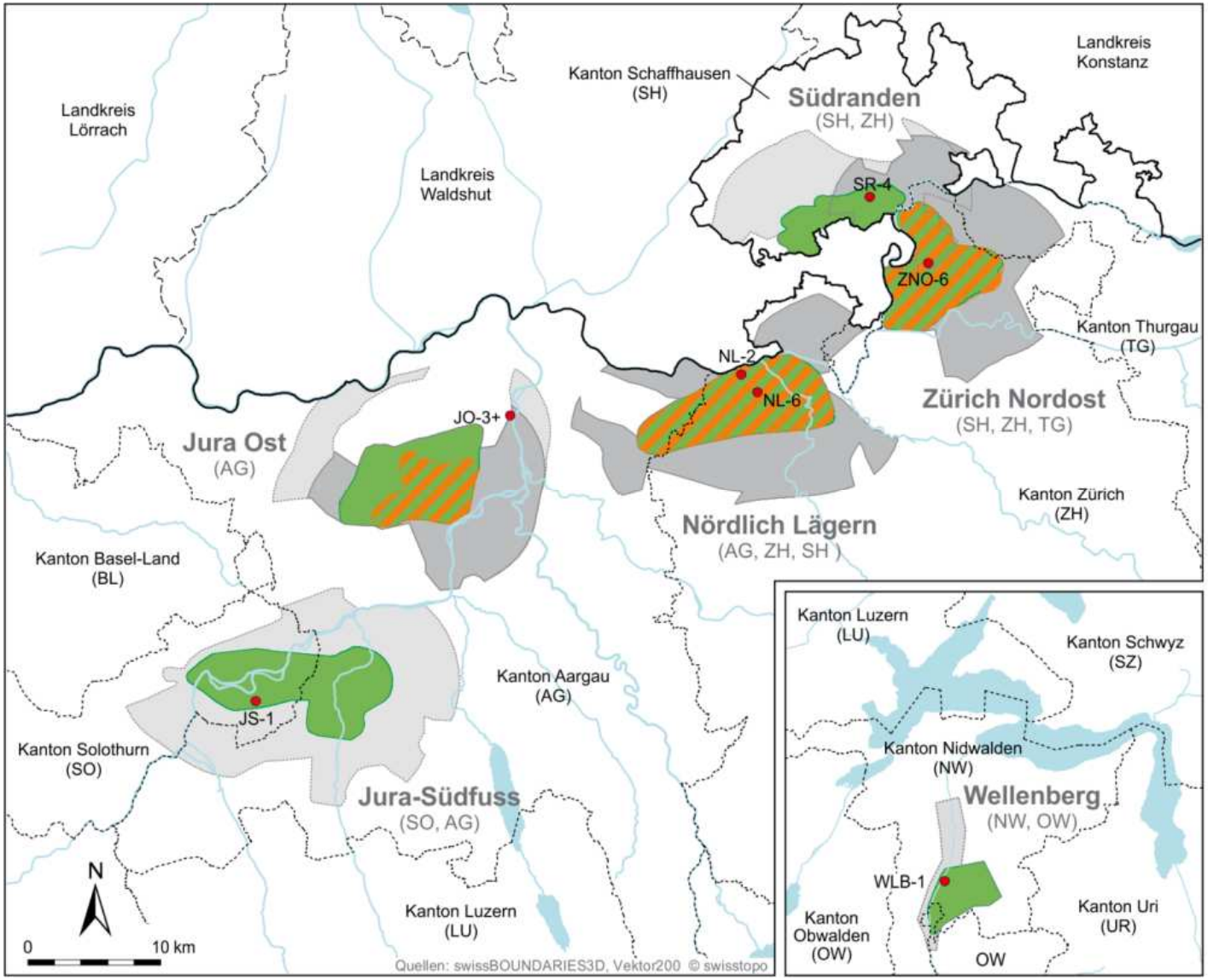
Standorte Oberflächenanlagen – Zwischenstand



Von der Partizipation beurteilte Standorte

- Geologisches Standortgebiet für HAA-Lager
- Geologisches Standortgebiet für SMA-Lager
- Planungsperimeter HAA und SMA
- Planungsperimeter SMA
- Standortareale
- Landesgrenze
- Kantonsgrenze
- Landkreisgrenze (Deutschland)

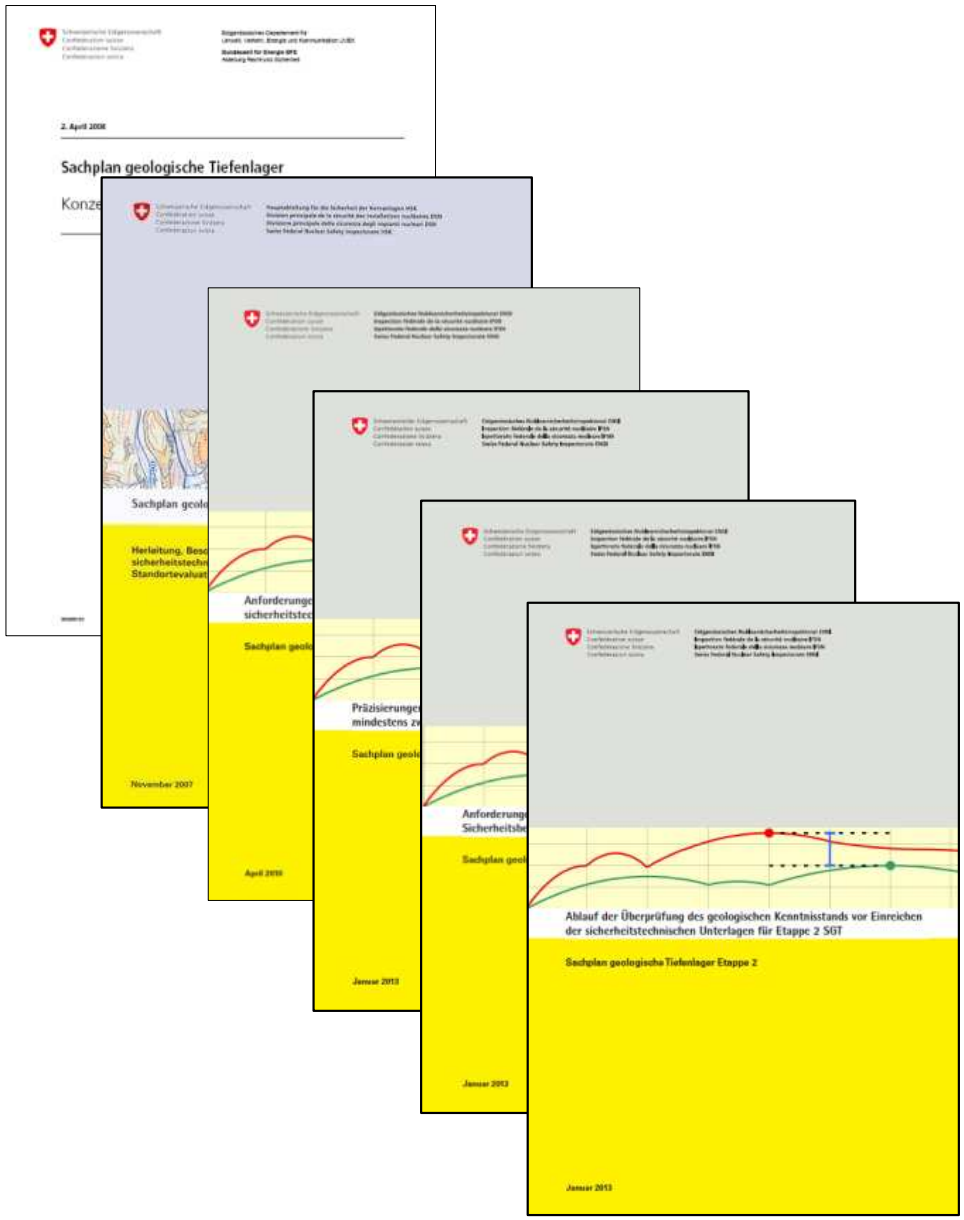
Standorte Oberflächenanlagen – Resultat



Aufgrund Partizipation von der Nagra bezeichnete Standorte

- Geologisches Standortgebiet für HAA-Lager
- Geologisches Standortgebiet für SMA-Lager
- Planungsperimeter HAA und SMA
- Planungsperimeter SMA
- bezeichnete Standortareale
- Landesgrenze
- Kantonsgrenze
- Landkreisgrenze (Deutschland)

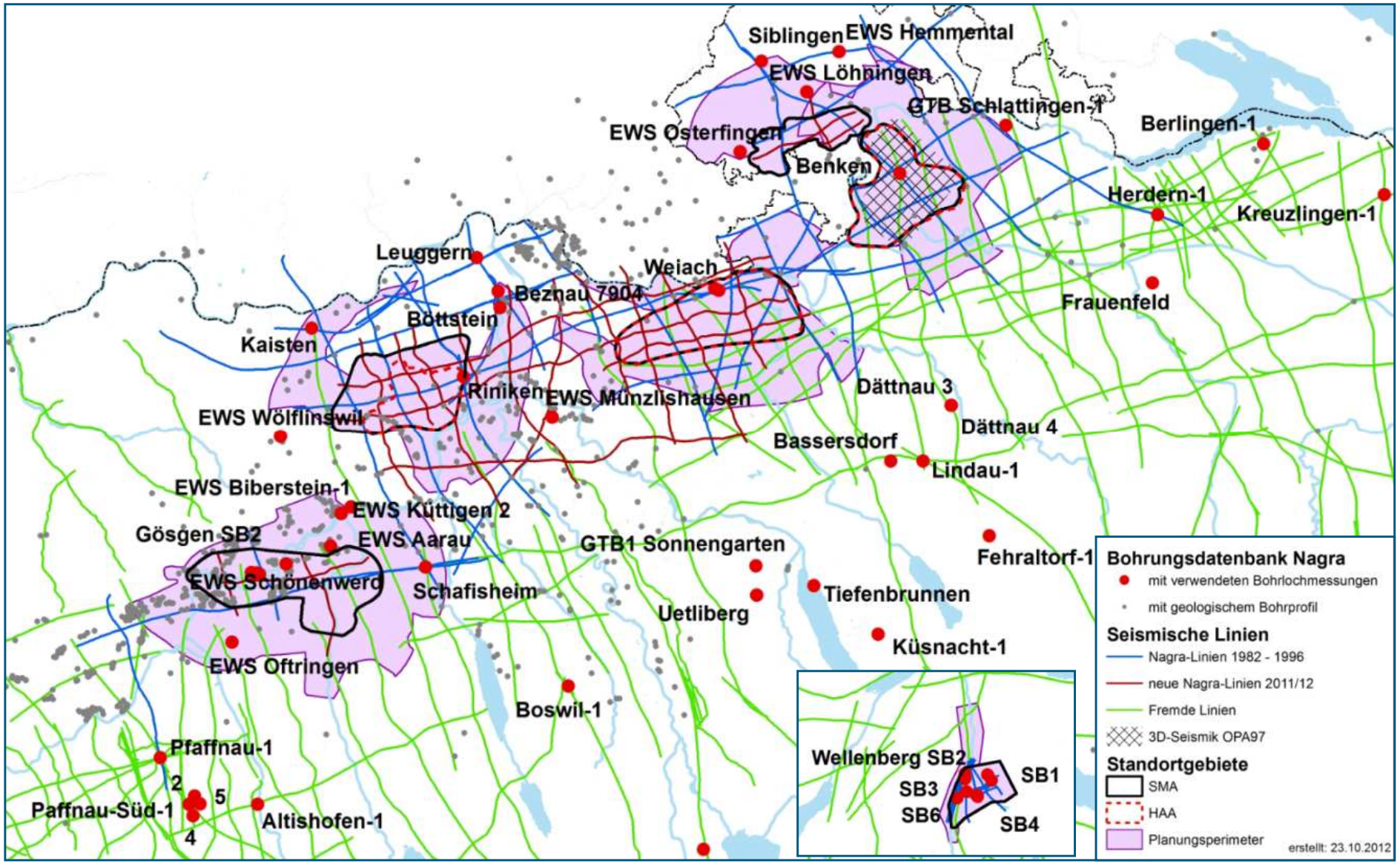
Sicherheitstechnischer Vergleich: Vorgaben



- Bundesrat: Sachplan geologische Tiefenlager, Konzeptteil
- ENSI: Herleitung, Beschreibung und Anwendung der sicherheitstechnischen Kriterien für die Standortevaluation
- ENSI: Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich (Etappe 2 SGT)
- ENSI: Präzisierungen zum sicherheitstechnischen Vorgehen für die Auswahl von mindestens zwei Standortgebieten je für HAA und SMA in Etappe 2 SGT
- ENSI: Anforderungen an die bautechnischen Risikoanalysen und an ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Zugangsbauwerke in Etappe 2 SGT
- ENSI: Ablauf der Überprüfung des geologischen Kenntnisstands vor Einreichen der sicherheitstechnischen Unterlagen für Etappe 2 SGT.

Etappe 2: Vertiefung Kenntnisstand

Etappe 2: Datenlage (Stand 2014)



Dokumentation sicherheitstechnischer Vergleich

Haupt- und Schlüsselberichte und…

…weitere rund 200 Grundlagen- und Referenzberichte.

nagra.

Erarbeitung Vorschläge – Stufenweises Vorgehen

Festlegen des Vorgehens Schritt 1

gestützt auf Vorgaben (z.B. Kriterien)

⇩

Wirtgesteine: Bewertung und Vergleich je Region Schritt 2

Festlegen prioritäres Wirtgestein in Regionen mit mehreren Optionen

⇩

Abgrenzung optimierter Lagerperimeter je Region Schritt 3

innerhalb des Standortgebiets, verschärfte Anforderungen

⇩

Bewertung der optimierten Lagerperimeter Schritt 4

mittels Dosisberechnungen (DB) und qualitativer Bewertung

⇩

Vergleichende Gesamtbewertung und Identifikation Schritt 5

eindeutiger Nachteile: Vorschlag Nagra für Etappe 3

Sicherheitstechnische Optimierung in Etappe 2

- **Grundsatz: Optimale Nutzung der geologischen Standortgebiete** aus Etappe 1 bezüglich **Sicherheit,** nämlich:

  1 Für **Wirtgesteine:** innerhalb von Standortgebiet, bei mehreren Wirtgesteinen nur jene ohne «eindeutige Nachteile» (Barrierenwirkung!) berücksichtigen

  → **prioritäre Wirtgesteine**

  2 Für **jedes Standortgebiet:** Wahl optimaler räumlicher Konfiguration für prioritäre Wirtgesteine innerhalb Standortgebiet

  → **Optimierte Lagerperimeter**

  3 **Vergleich Standortgebiete:** Abwägung Stärken und Schwächen bzw. vergleichende Bewertung zugehöriger Lagerperimeter

  → **eindeutige Nachteile**
  → **sicherheitsgerichteter Vorschlag für Etappe 3**

Zurückstellen von Standortgebieten – Leitfragen

Ein Standortgebiet kann in Etappe 2 gemäss Vorgaben ENSI nur dann **zurückgestellt** werden, falls mindestens eine der folgenden Leitfragen **belastbar mit ‘JA' beantwortet** wird:

1 Erfüllt das Standortgebiet das **Dosis-Schutzkriterium nicht**?

2 Ist das Standortgebiet aufgrund der **Ergebnisse der Dosis-Berechnungen** eindeutig **weniger geeignet**?

3 Ist die **Gesamtbewertung** des Standortgebiets **schlechter als 'geeignet'**?

4 Weist das Standortgebiet anhand der Kriterien zur Sicherheit und technischen Machbarkeit belastbare **eindeutige Nachteile** gegenüber anderen Standortgebieten auf?

Erarbeitung Vorschläge – Stufenweises Vorgehen

Festlegen des Vorgehens — Schritt 1

gestützt auf Vorgaben (z.B. Kriterien)

⇩

Wirtgesteine: Bewertung und Vergleich je Region — Schritt 2

Festlegen prioritäres Wirtgestein in Regionen mit mehreren Optionen

⇩

Abgrenzung optimierter Lagerperimeter je Region — Schritt 3

innerhalb des Standortgebiets, verschärfte Anforderungen

⇩

Bewertung der optimierten Lagerperimeter — Schritt 4

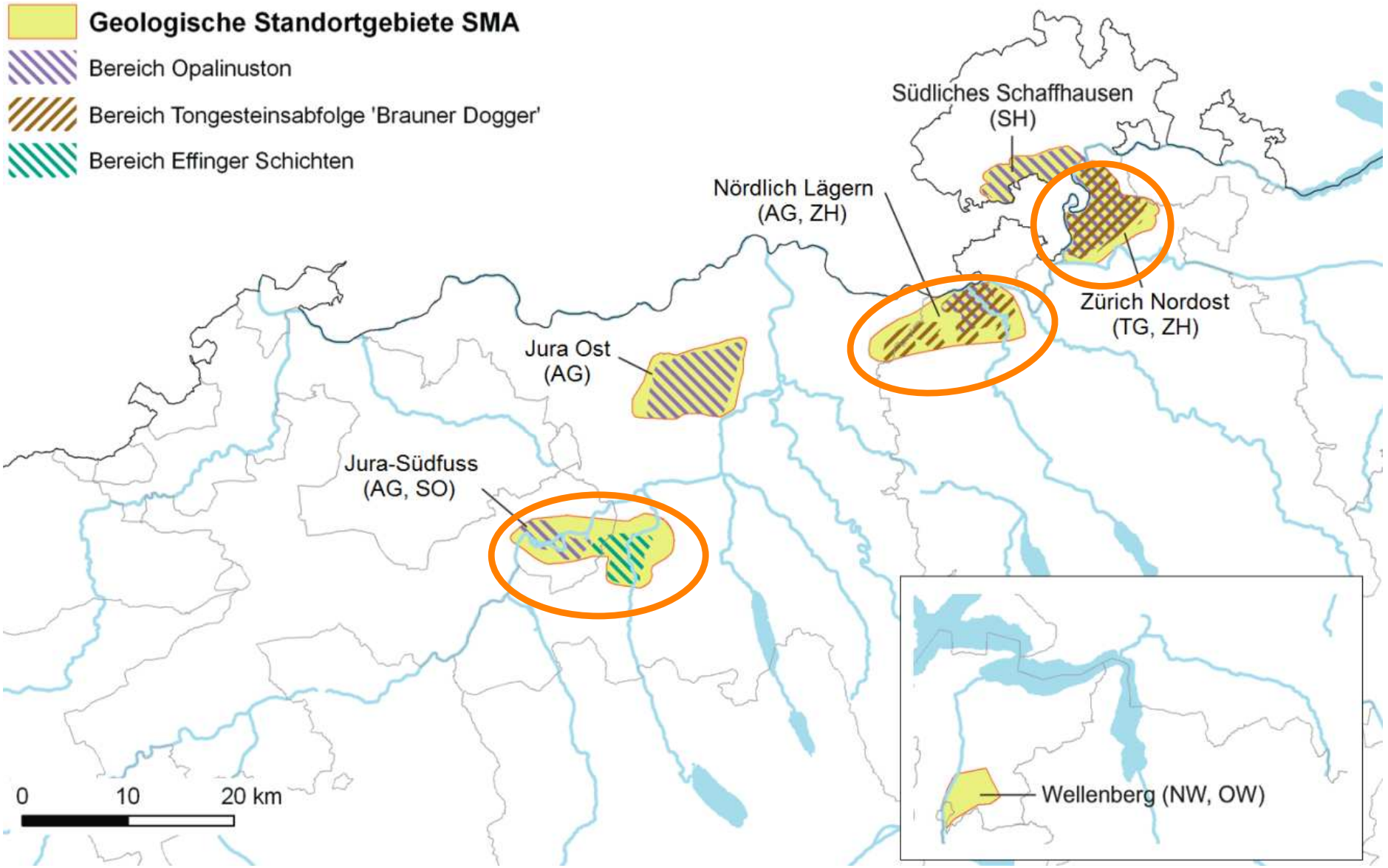
mittels Dosisberechnungen (DB) und qualitativer Bewertung

⇩

Vergleichende Gesamtbewertung und Identifikation — Schritt 5

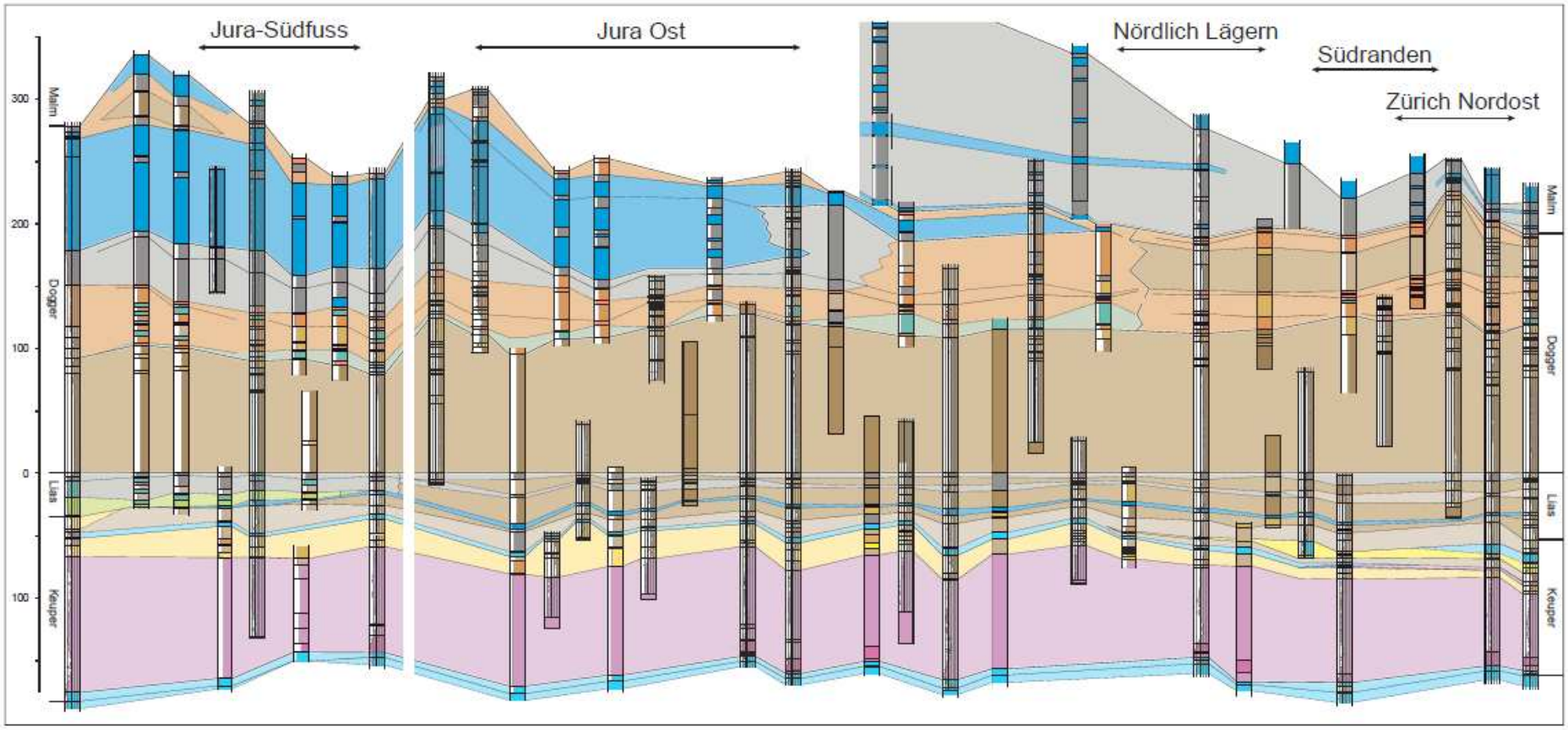
eindeutiger Nachteile: Vorschlag Nagra für Etappe 3

Geologische Standortgebiete SMA



Erweiterte Datenbasis Wirt- und Rahmengesteine

- Profil durch die Standortgebiete von Südwest nach Nordost



Vergleich Wirtgesteine je Region SMA

Entscheidrelevante Merkmale / Entscheidrelevante Indikatoren	Zürich Nordost Opalinuston	Nördlich Lägern Opalinuston	Jura-Südfuss Opalinuston	Zürich Nordost 'Brauner Dogger'	Nördlich Lägern 'Brauner Dogger'	Jura-Südfuss Effinger Schichten
Wirksamkeit der geologischen Barriere						
Mächtigkeit						
Hydraulische Durchlässigkeit						
Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums						
Transmissivität präferenzieller Freisetzungspfade						
Selbstabdichtungsvermögen						
Homogenität des Gesteinsaufbaus						
Länge der massgebenden Freisetzungspfade						
Kolloide						
Langzeitstabilität der geologischen Barriere						
Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)						
Selbstabdichtungsvermögen						
Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere im Standortgebiet						
Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit						
Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund						

sehr günstig
günstig
bedingt günstig
ungünstig

Opalinuston qualifiziert sich im Vergleich klar als **prioritäres Wirtgestein.**

Erarbeitung Vorschläge – Stufenweises Vorgehen

Festlegen des Vorgehens — Schritt 1

gestützt auf Vorgaben (z.B. Kriterien)

⇩

Wirtgesteine: Bewertung und Vergleich je Region — Schritt 2

Festlegen prioritäres Wirtgestein in Regionen mit mehreren Optionen

⇩

Abgrenzung optimierter Lagerperimeter je Region — Schritt 3

innerhalb des Standortgebiets, verschärfte Anforderungen

⇩

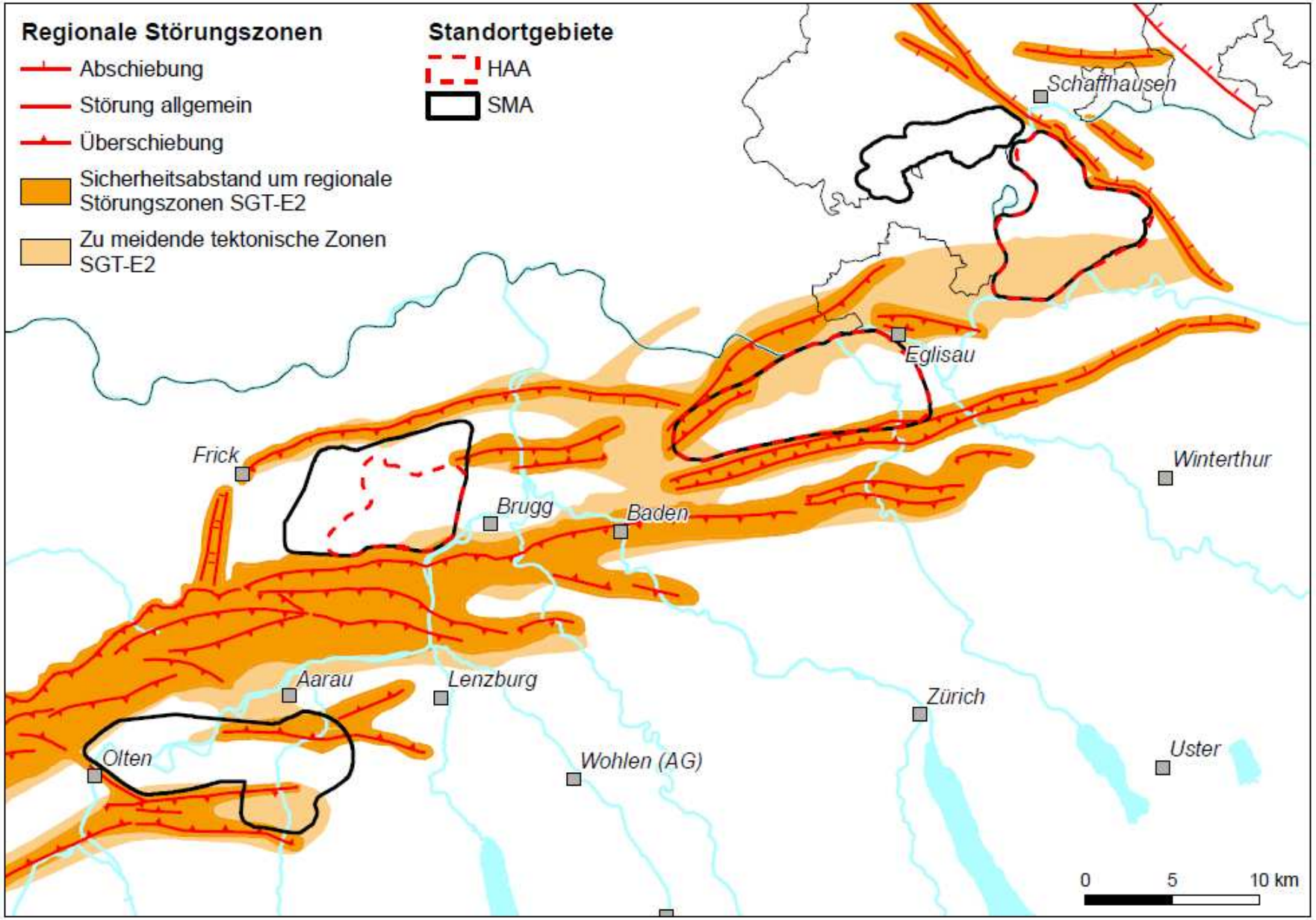
Bewertung der optimierten Lagerperimeter — Schritt 4

mittels Dosisberechnungen (DB) und qualitativer Bewertung

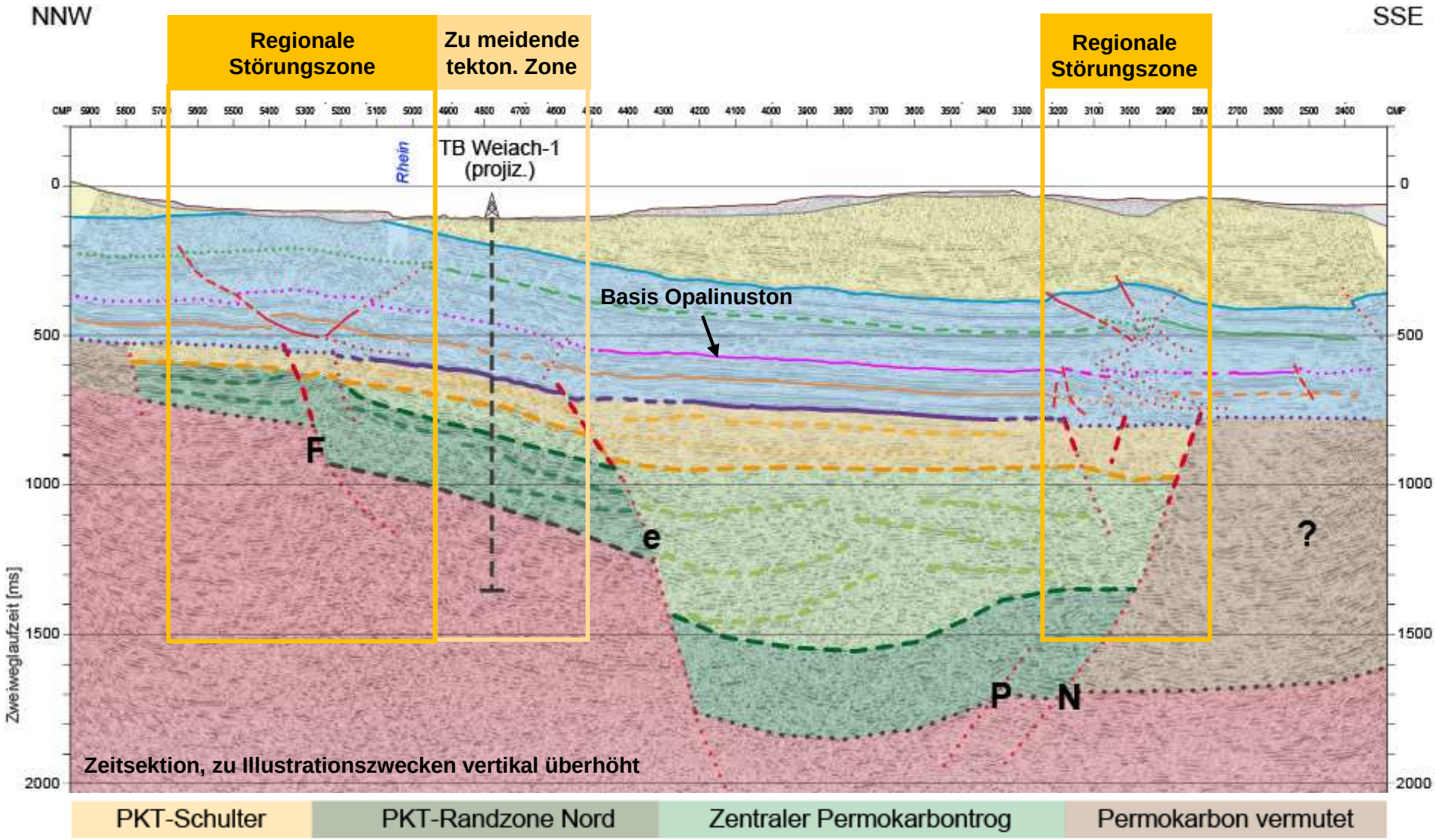
⇩

Vergleichende Gesamtbewertung und Identifikation eindeutiger Nachteile: Vorschlag Nagra für Etappe 3 — Schritt 5

Zu meidende tektonische Zonen

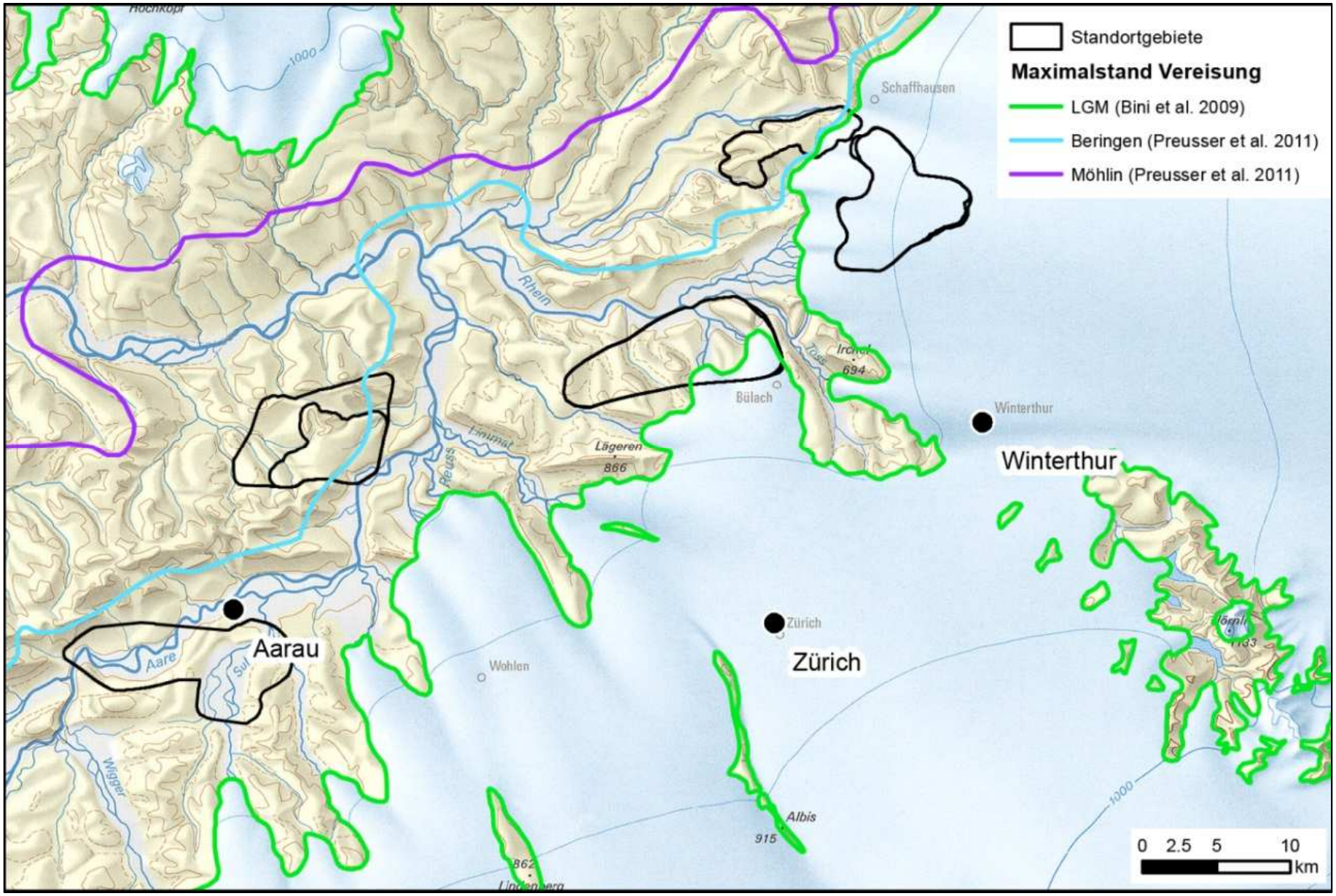


Regionale tektonische Elemente

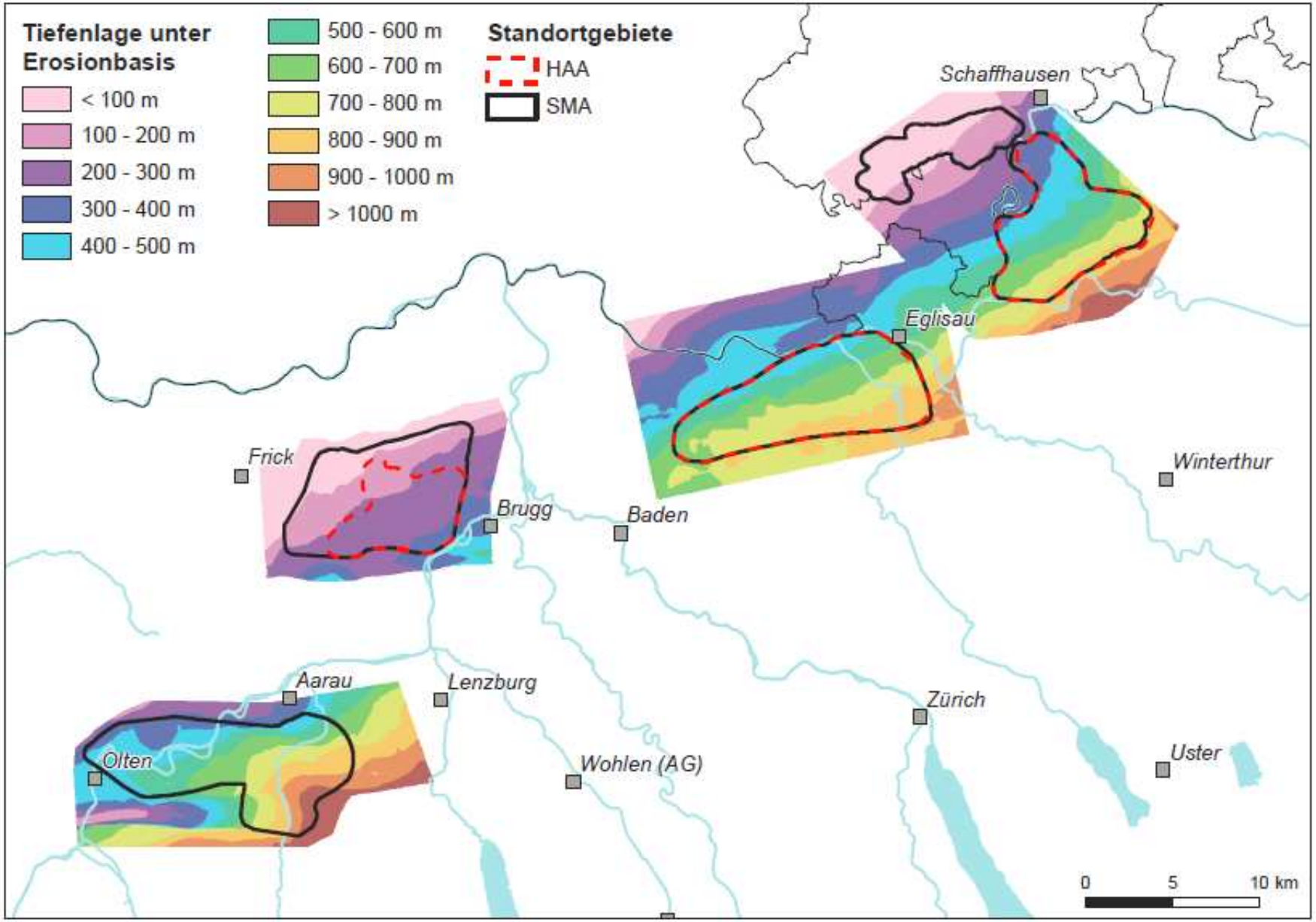


Aktuelle Interpretation der 2D-Seismik 11-NS-20 (Nördlich Lägern)

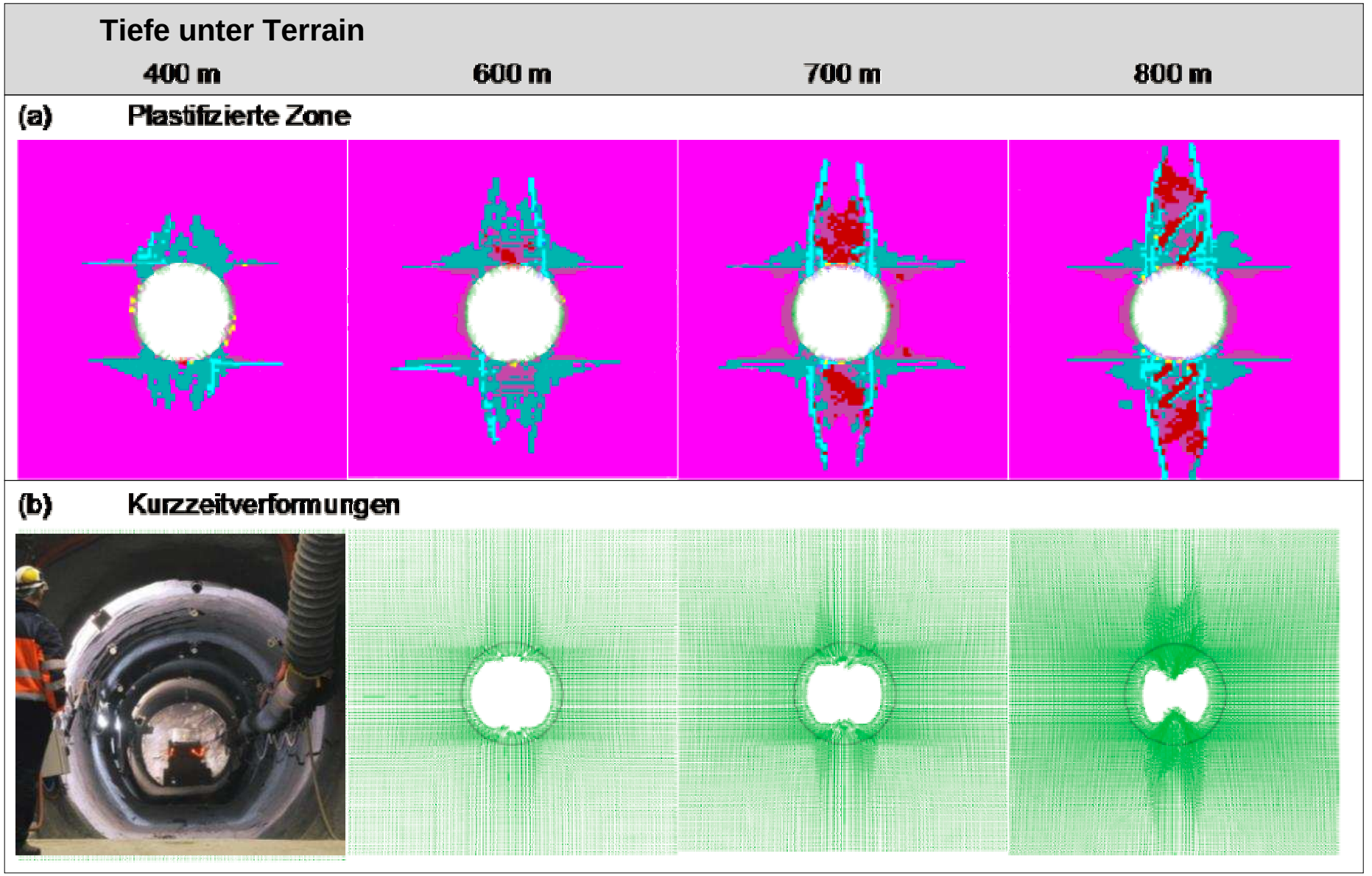
Erosion – Beispiel Vergletscherungen



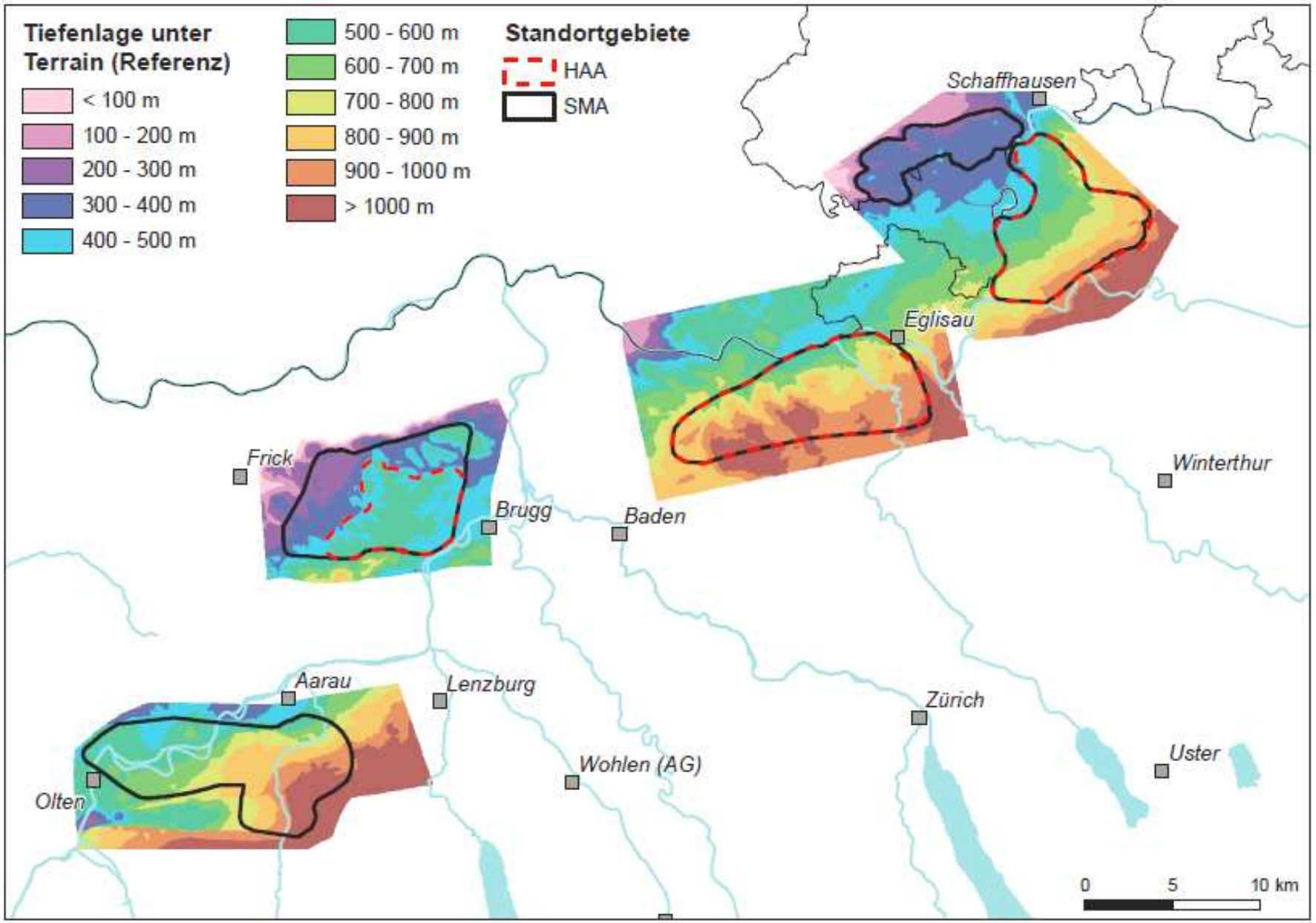
Minimale Tiefenlage



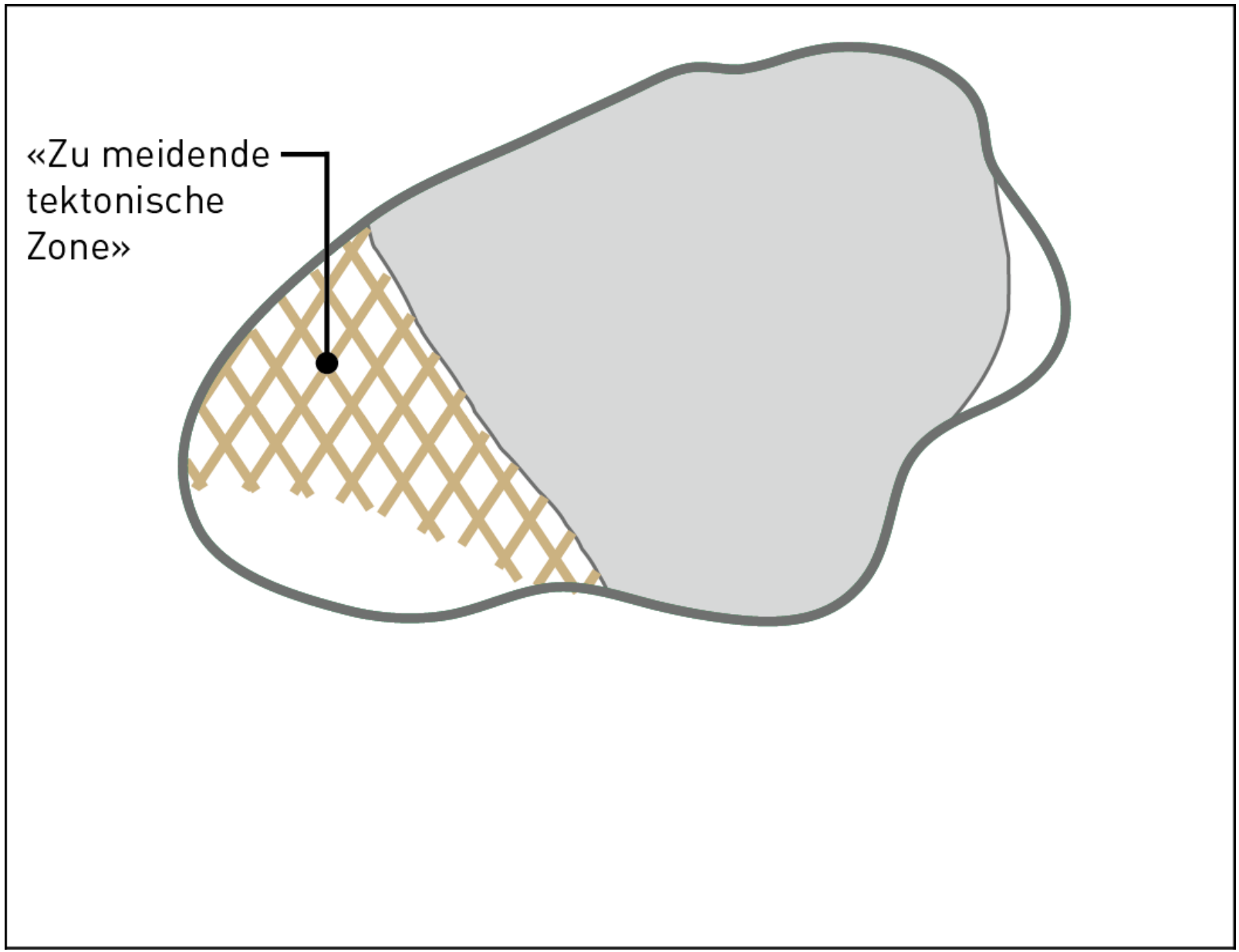
Felsmechanische Berechnungen (BE/HAA-Lagerstollen)



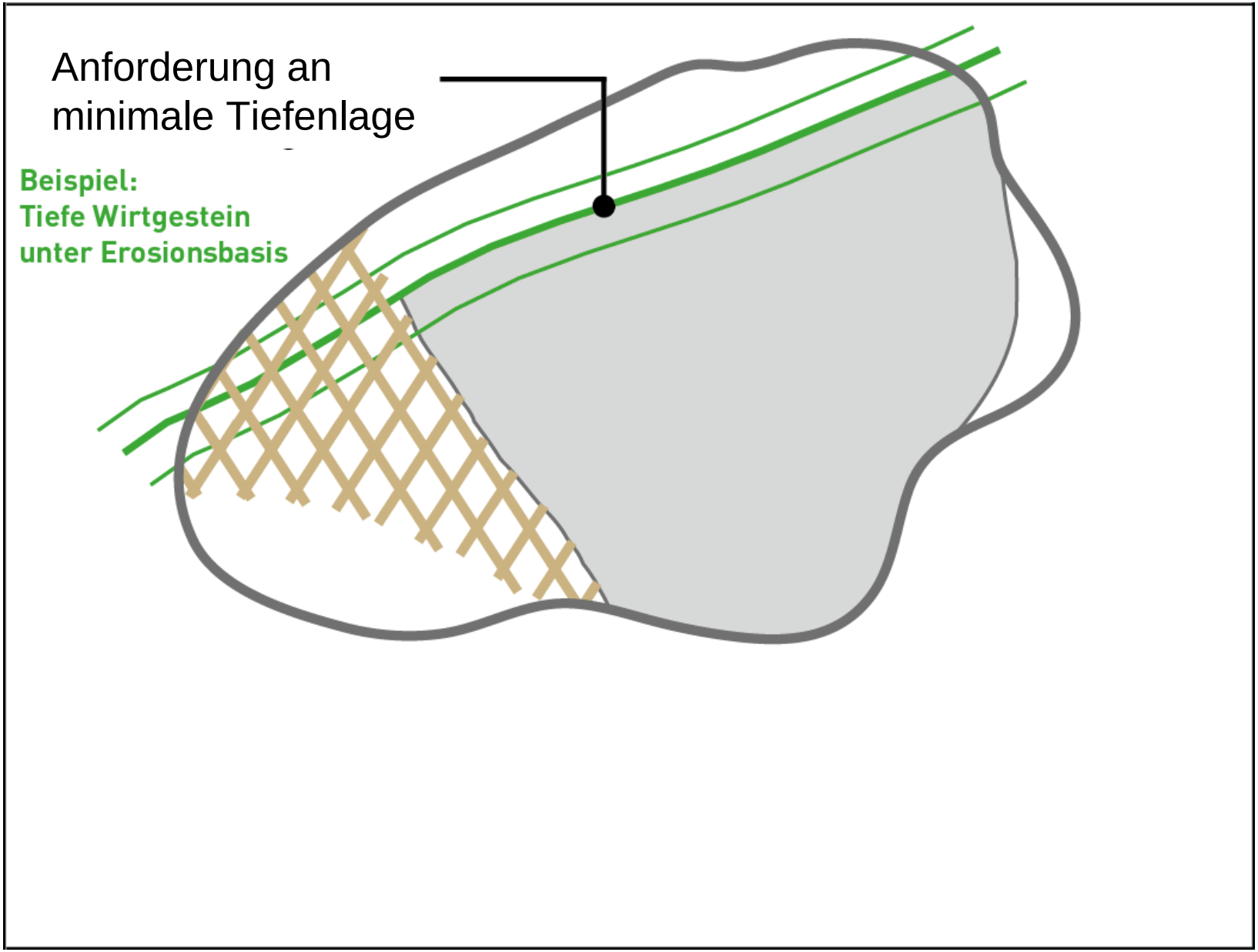
Maximale Tiefenlage



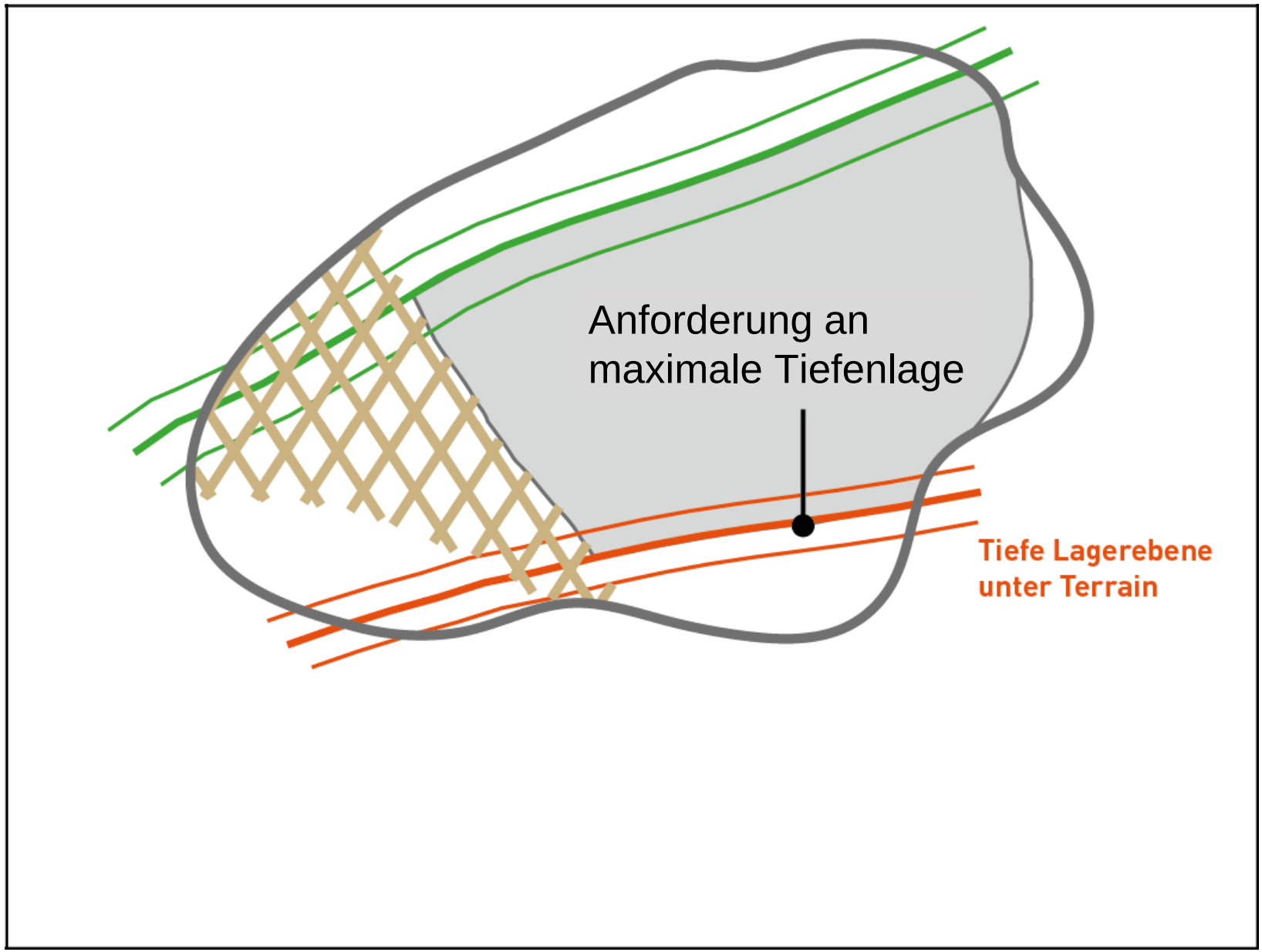
«Zu meidende tektonische Zonen»



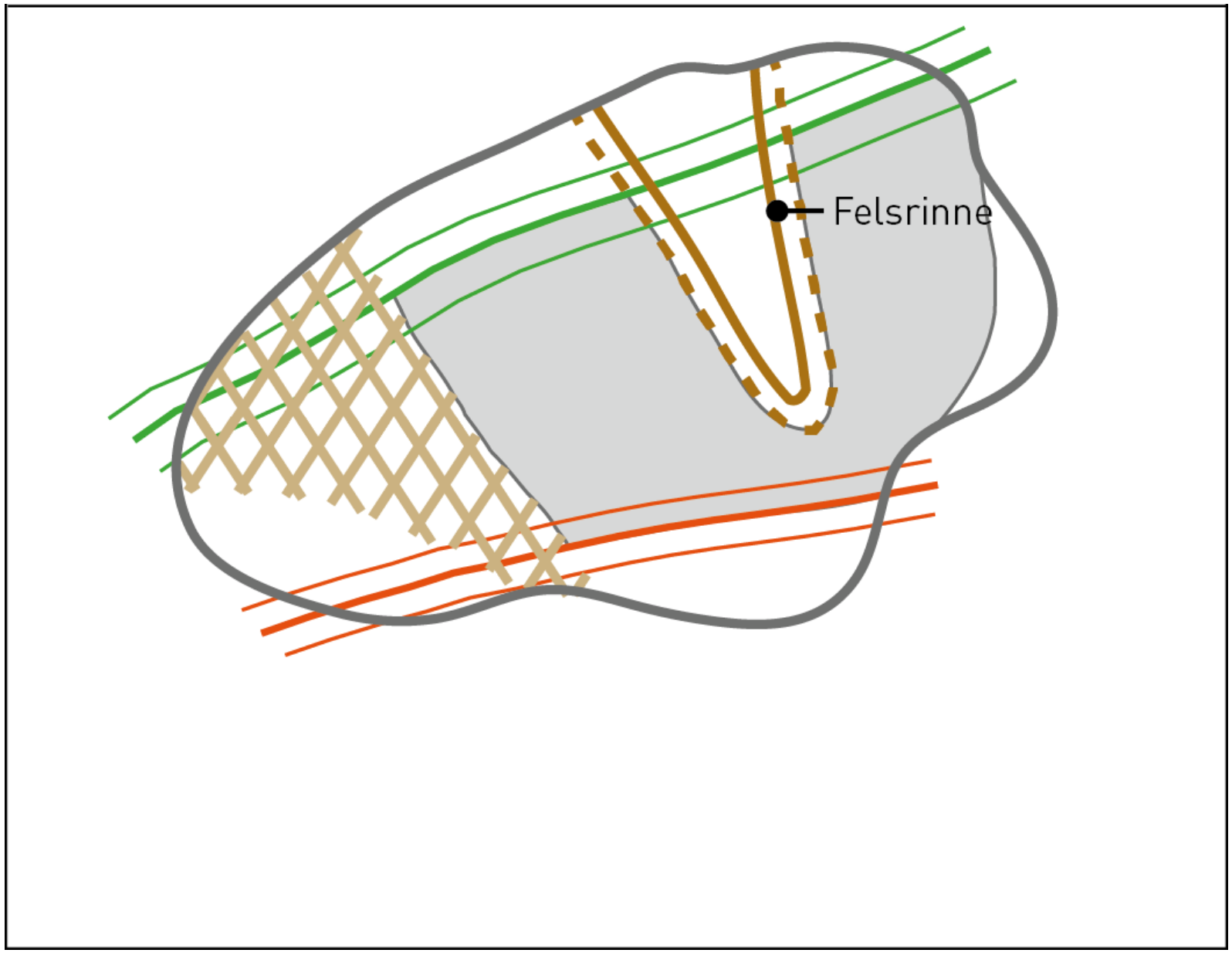
Minimale Tiefenlage



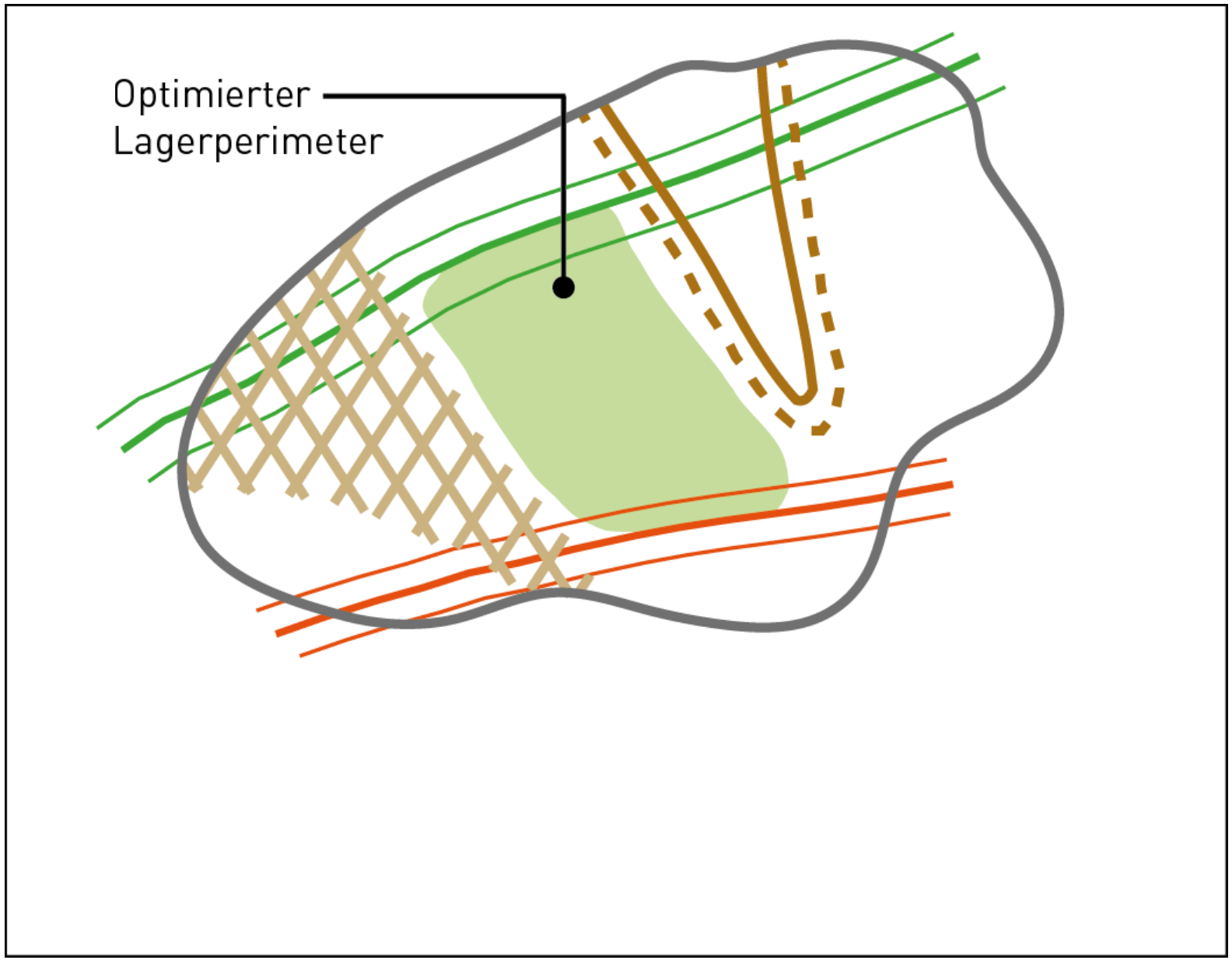
Maximale Tiefenlage



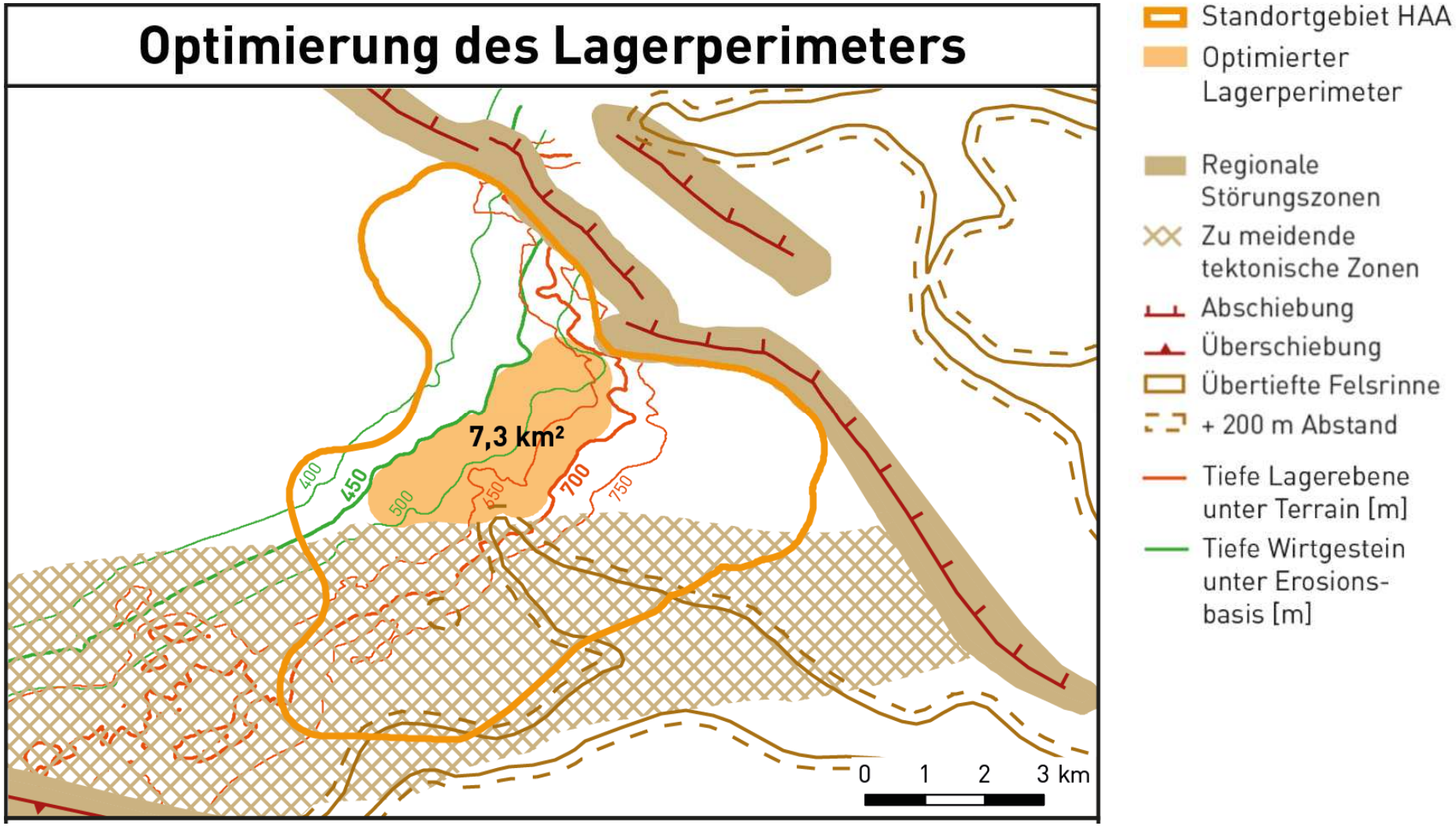
Lokale Besonderheiten



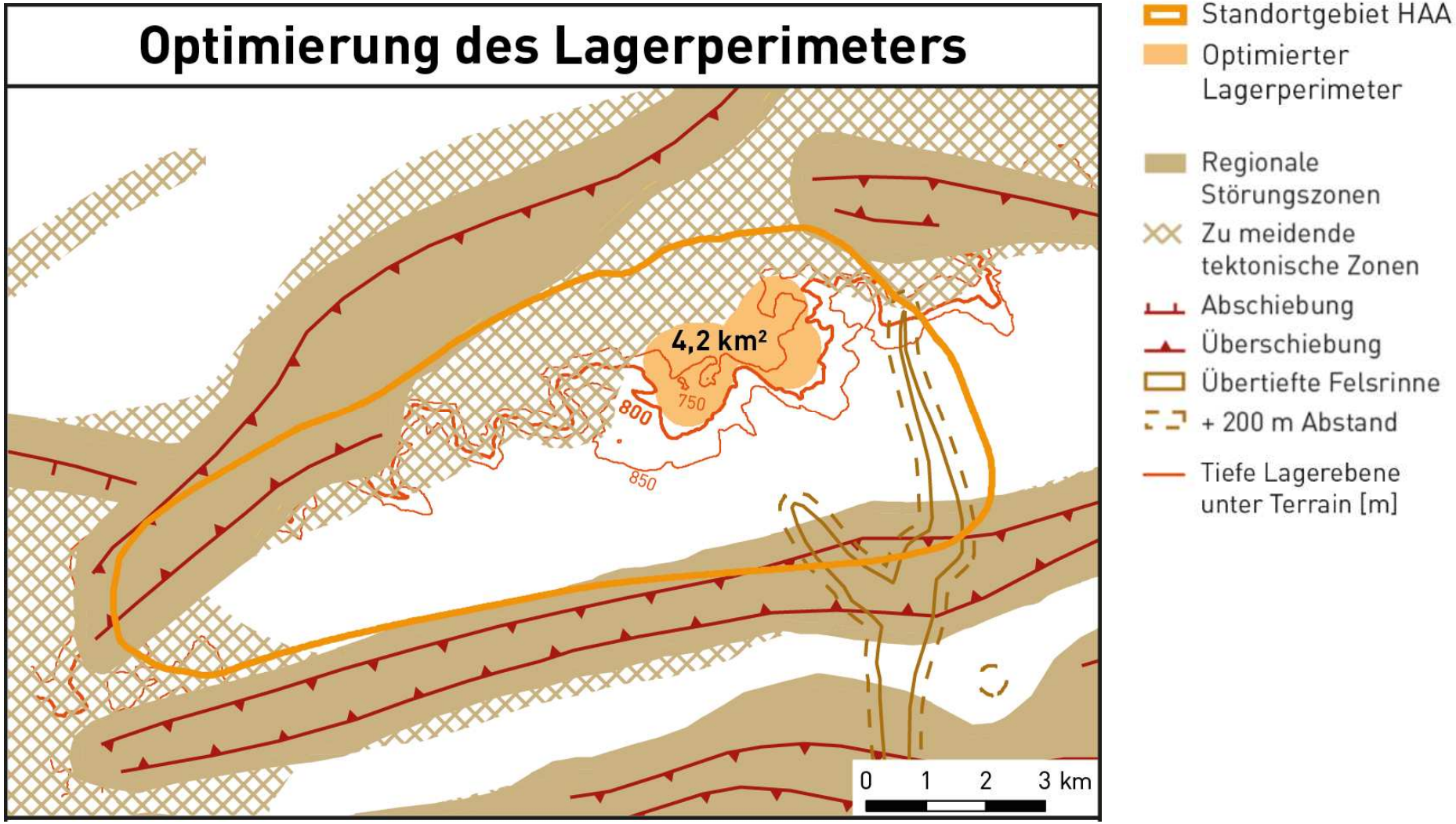
Optimierung Lagerperimeter



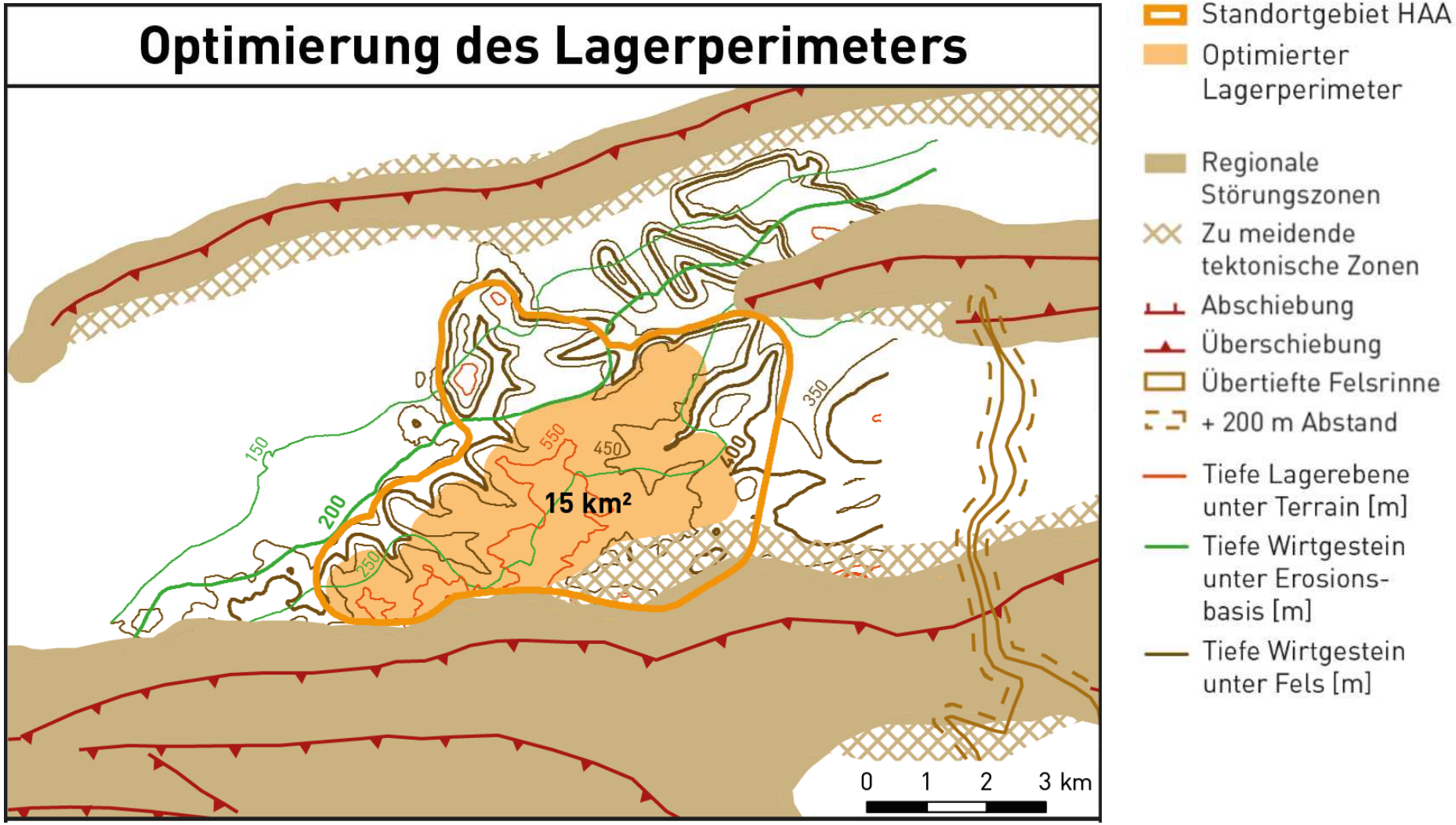
Beispiel Zürich Nordost HAA



Beispiel Nördlich Lägern HAA



Beispiel Jura Ost HAA



Erarbeitung Vorschläge – Stufenweises Vorgehen

Festlegen des Vorgehens — Schritt 1

gestützt auf Vorgaben (z.B. Kriterien)

⇩

Wirtgesteine: Bewertung und Vergleich je Region — Schritt 2

Festlegen prioritäres Wirtgestein in Regionen mit mehreren Optionen

⇩

Abgrenzung optimierter Lagerperimeter je Region — Schritt 3

innerhalb des Standortgebiets, verschärfte Anforderungen

⇩

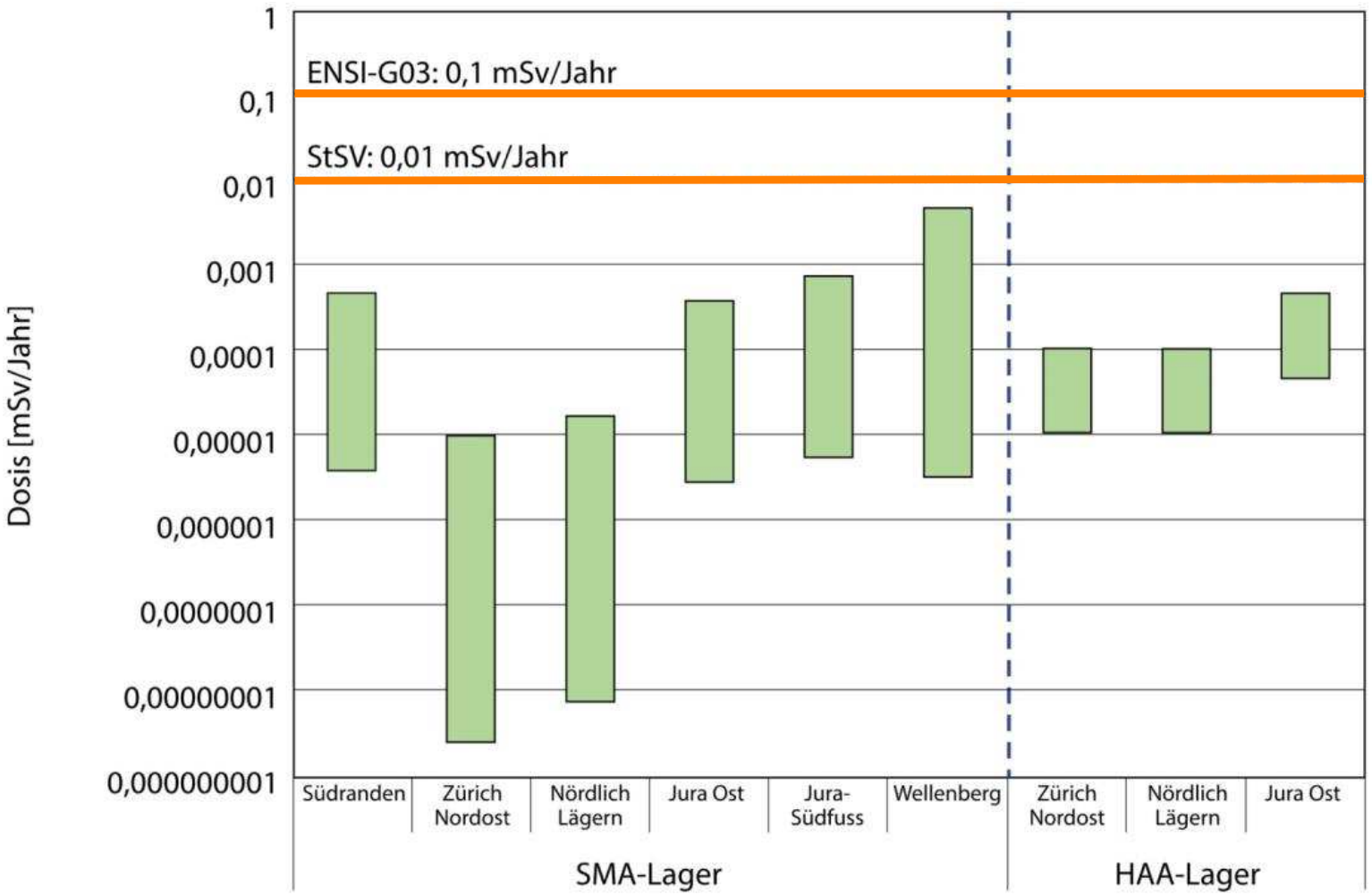
Bewertung der optimierten Lagerperimeter — Schritt 4

mittels Dosisberechnungen (DB) und qualitativer Bewertung

⇩

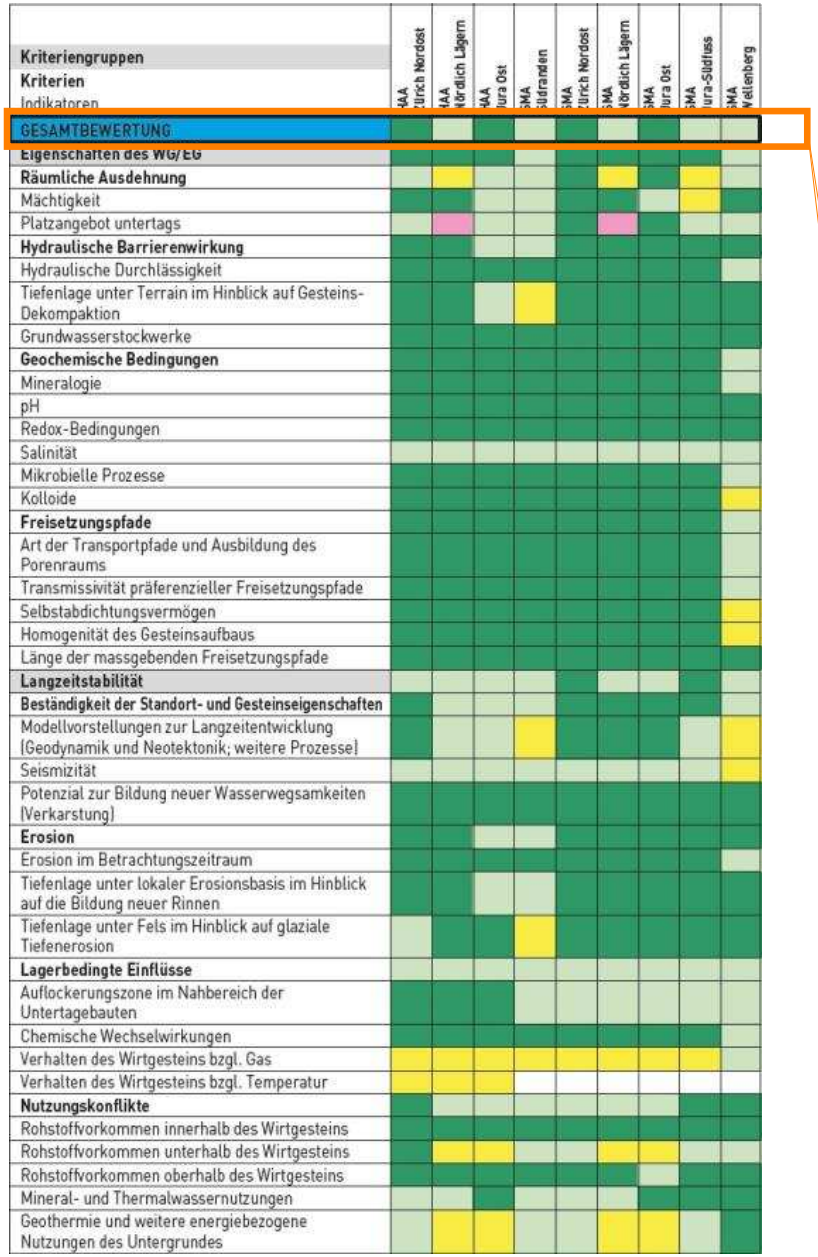
Vergleichende Gesamtbewertung und Identifikation eindeutiger Nachteile: Vorschlag Nagra für Etappe 3 — Schritt 5

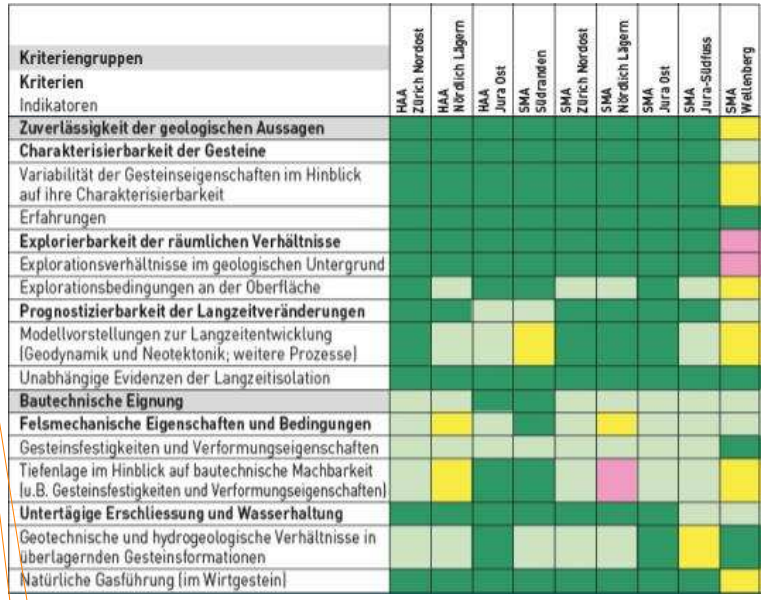
Vergleich der Dosisintervalle

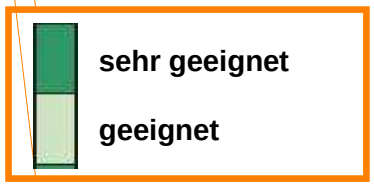


Alle Standortgebiete erfüllen das Dosis-Schutzkriterium und sind sicherheitstechnisch geeignet.

Qualitative Bewertung der Lagerperimeter







Die Gesamtbewertung für alle Lagerperimeter in allen Standortgebieten ist mindestens «geeignet». Es existieren Unterschiede.

Erarbeitung Vorschläge – Stufenweises Vorgehen

Festlegen des Vorgehens Schritt 1

gestützt auf Vorgaben (z.B. Kriterien)

⇩

Wirtgesteine: Bewertung und Vergleich je Region Schritt 2

Festlegen prioritäres Wirtgestein in Regionen mit mehreren Optionen

⇩

Abgrenzung optimierter Lagerperimeter je Region Schritt 3

innerhalb des Standortgebiets, verschärfte Anforderungen

⇩

Bewertung der optimierten Lagerperimeter Schritt 4

mittels Dosisberechnungen (DB) und qualitativer Bewertung

⇩

Vergleichende Gesamtbewertung und Identifikation eindeutiger Nachteile: Vorschlag Nagra für Etappe 3 Schritt 5

Vergleich: Entscheidrelevante Merkmale …

… sind von übergeordneter Bedeutung bezüglich Sicherheit und technischer Machbarkeit:

- **Die Wirksamkeit der geologischen Barriere**
- **Die Langzeitstabilität der geologischen Barriere**
- **Die Zuverlässigkeit der Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere**
- **Die bautechnische Eignung/Machbarkeit unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Standortareale für Oberflächenanlagen**

Aus der Bewertung der entscheidrelevanten Merkmale mit den zugeordneten Indikatoren werden allfällige **eindeutige Nachteile** ersichtlich.

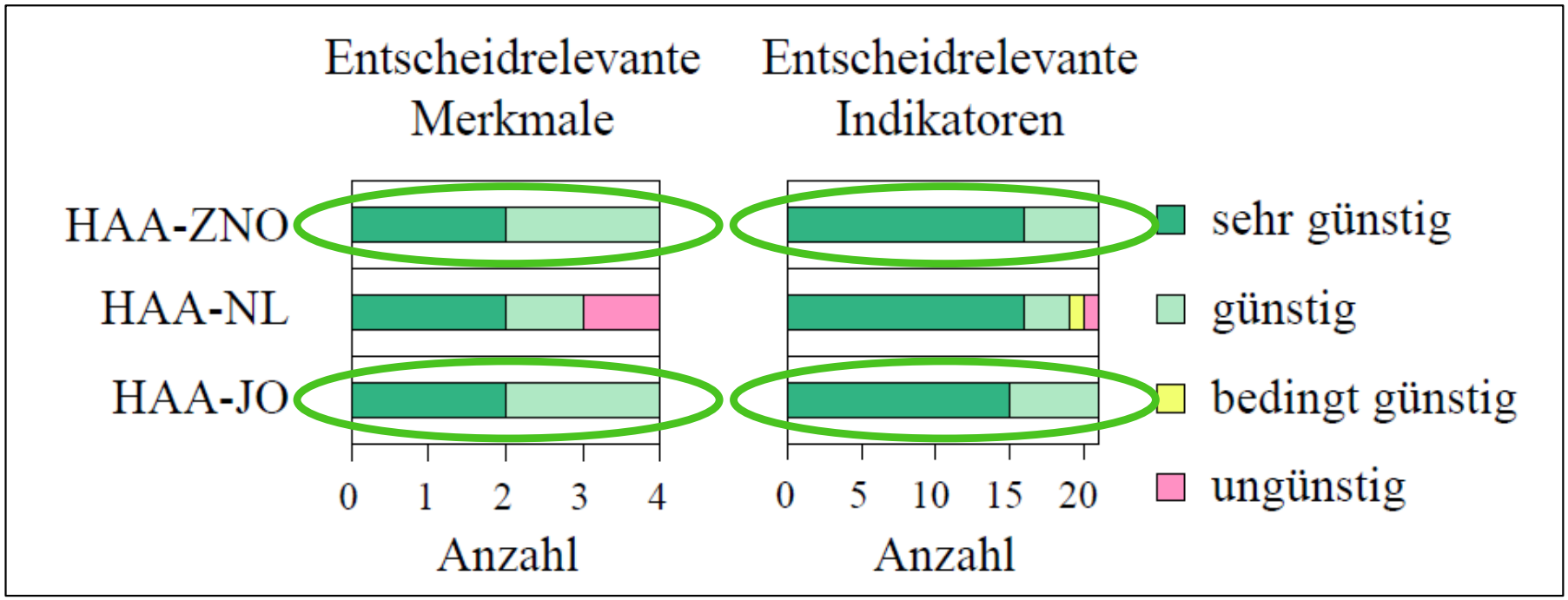
Entscheidrelevante Merkmale & Indikatoren (HAA)

eindeutige Nachteile:

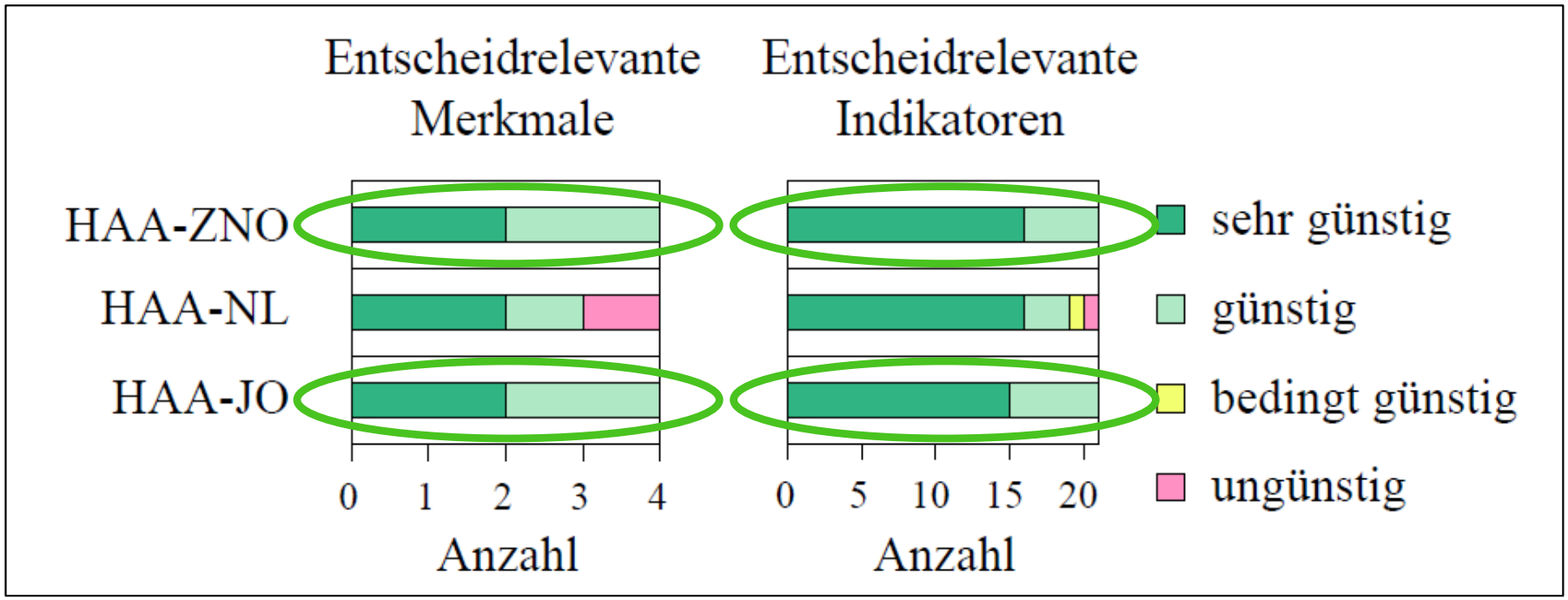
- Tiefenlage/Bautechnik (NL)
- Platzangebot (NL)

Nr.	Entscheidrelevante Merkmale (EM) / Entscheidrelevante Indikatoren (EI)	HAA-ZNO	HAA-NL	HAA-JO
a)	**Wirksamkeit der geologischen Barriere**	**4.5**	**4.5**	**4.4**
9	Hydraulische Durchlässigkeit	4.5	4.5	4.5
17	Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums	4.5	4.5	4.5
20	Transmissivität präferenzieller Freisetzungspfade	4.5	4.5	4.5
22	Selbstabdichtungsvermögen	4.5	4.5	4.5
18	Homogenität des Gesteinsaufbaus	4.5	4.5	4.5
5	Mächtigkeit	4.5	4.5	3.5 (*)
19	Länge der massgebenden Freisetzungspfade	4.5	4.5	4.5
16	Kolloide	4.5	4.5	4.5
b)	**Langzeitstabilität der geologischen Barriere**	**3.5**	**3.5**	**3.1**
23	Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)	4.3	3.5 (*)	3.1 (*)
22	Selbstabdichtungsvermögen	4.5	4.5	4.5
27	Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)	4.5	4.5	4.5
28	Erosion im Betrachtungszeitraum	4.3	4.3	4.3
3	Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen	4.1	4.7	3.1 (*)
2	Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion	4.5	4.7	3.1 (*)
4	Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion	3.5 (*)	4.3	4.1
24	Seismizität	3.5	3.5	3.5
c)	**Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere im Standortgebiet**	**4.4**	**4.4**	**4.4**
39	Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit	4.5	4.5	4.5
43	Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund	4.3	4.3	4.3
d)	**Bautechnische Machbarkeit eines Tiefenlagers unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Standortareale**	**3.3**	**1.3 (×)**	**3.9**
1	Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (u.B. Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)	3.5 (*)	2.1 (×)	4.1
48	Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen	3.5 (*)	3.5 (*)	4.3
8	Platzangebot untertags	3.3	1.3 (×)	3.9

Entscheidrelevante Merkmale & Indikatoren (HAA)



Entscheidrelevante Merkmale & Indikatoren (HAA)



Vorschlag Standortgebiete für HAA-Lager:

- **Zürich Nordost**
- **Jura Ost**

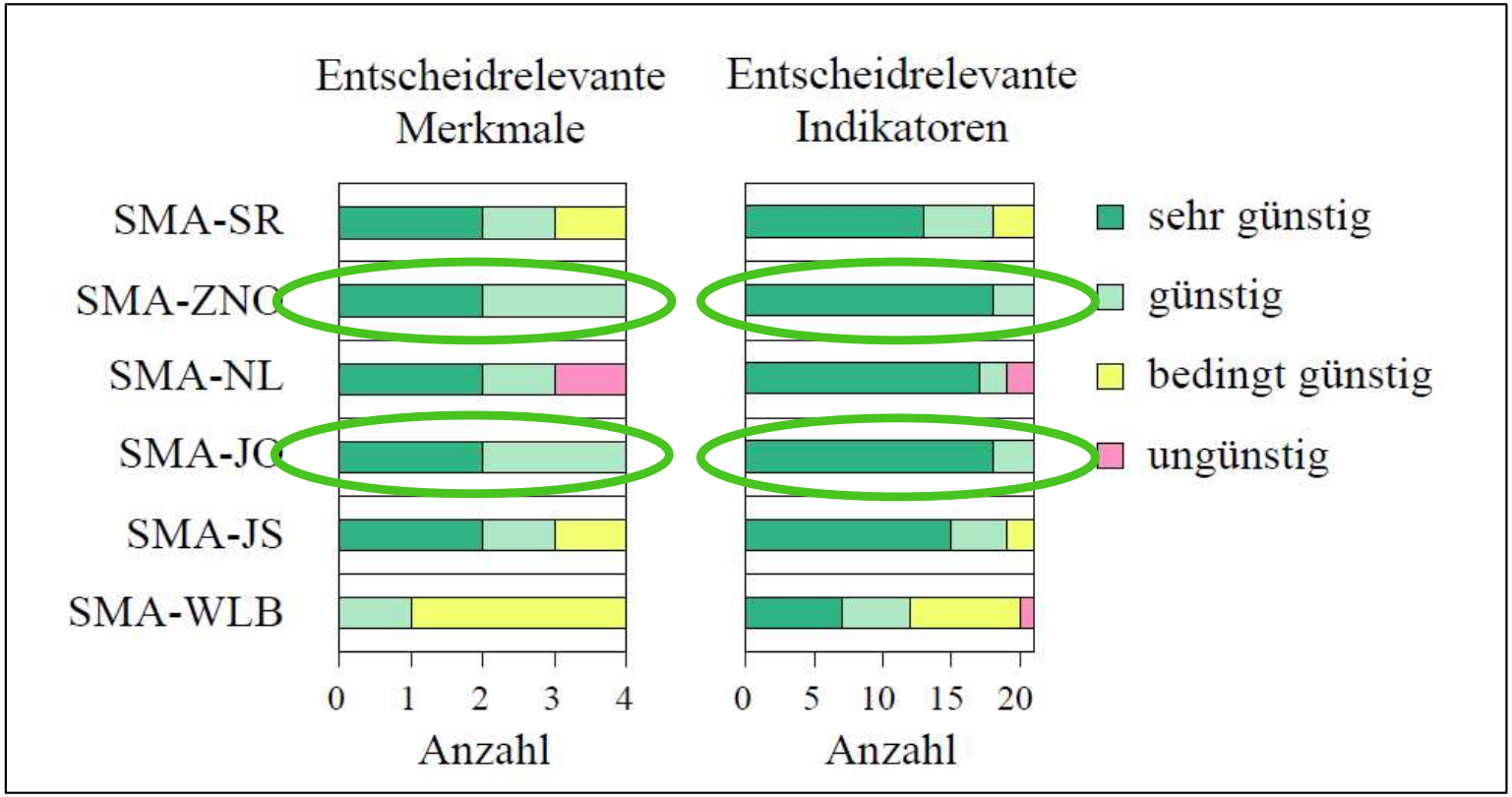
Entscheidrelevante Merkmale/Indikatoren (SMA)

eindeutige Nachteile:

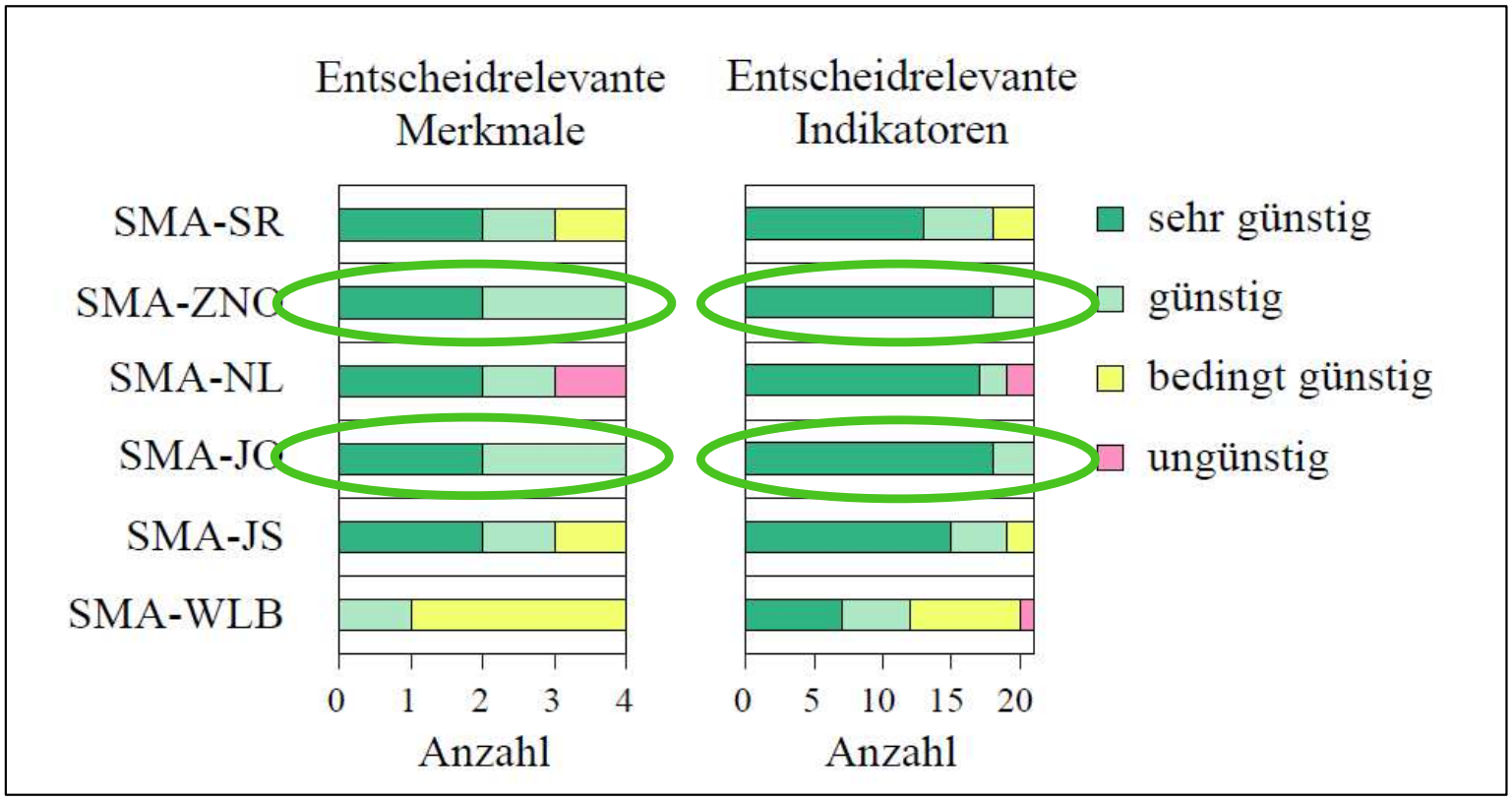
- Qualität WG (WLB)
- Mächtigkeit WG/EG (JS)
- Modellvorstellungen Langzeitentwicklung (SR, WLB)
- Seismizität (WLB)
- Tiefenlage/Erosion (SR)
- Charakterisierbarkeit, Explorierbarkeit (WLB)
- Tiefenlage/Bautechnik (NL)
- Platzangebot (NL, JS, SR)

Nr.	Entscheidrelevante Merkmale (EM) / Entscheidrelevante Indikatoren (EI)	SMA-SR	SMA-ZNO	SMA-NL	SMA-JO	SMA-JS	SMA-WLB
a)	**Wirksamkeit der geologischen Barriere**	**4.4**	**4.5**	**4.5**	**4.4**	**4.3**	**3.3 (*)**
9	Hydraulische Durchlässigkeit	4.3	4.5	4.5	4.5	4.5	3.7 (*)
17	Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.1 (*)
20	Transmissivität präferenzieller Freisetzungspfade	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.1 (*)
22	Selbstabdichtungsvermögen	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2.5 (×)
18	Homogenität des Gesteinsaufbaus	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2.7 (×)
5	Mächtigkeit	3.5 (*)	4.5	4.5	3.5 (*)	2.5 (×)	4.5
19	Länge der massgebenden Freisetzungspfade	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
16	Kolloide	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2.5 (×)
b)	**Langzeitstabilität der geologischen Barriere**	**2.5 (*)**	**3.7**	**3.7**	**3.7**	**3.7**	**2.5 (*)**
23	Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)	2.9 (×)	4.5	4.3	4.3	3.7 (*)	2.9 (×)
22	Selbstabdichtungsvermögen	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2.5 (×)
27	Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.3
28	Erosion im Betrachtungszeitraum	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5 (*)
3	Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen	3.1 (*)	4.5	4.7	4.5	4.5	4.1
2	Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion	2.7 (×)	4.5	4.7	4.1	4.1	4.1
4	Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion	2.5 (×)	4.5	4.7	4.5	4.3	4.5
24	Seismizität	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	2.7 (*)
c)	**Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere im Standortgebiet**	**4.3**	**4.4**	**4.4**	**4.4**	**4.3**	**2.0 (×)**
39	Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2.5 (×)
43	Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund	4.1	4.3	4.3	4.3	4.1	1.5 (×)
d)	**Bautechnische Machbarkeit eines Tiefenlagers unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Standortareale**	**3.1**	**3.5**	**1.3 (×)**	**3.5**	**2.9 (*)**	**2.7 (*)**
1	Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (u.B. Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)	4.7	3.5 (*)	1.5 (×)	3.5 (*)	3.5 (*)	2.7 (×)
48	Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen	3.5 (*)	3.5 (*)	3.5 (*)	4.3	2.9 (×)	4.1
8	Platzangebot untertags	3.1 (*)	4.1	1.3 (×)	4.7	3.3 (*)	3.1 (*)

Entscheidrelevante Merkmale & Indikatoren (SMA)



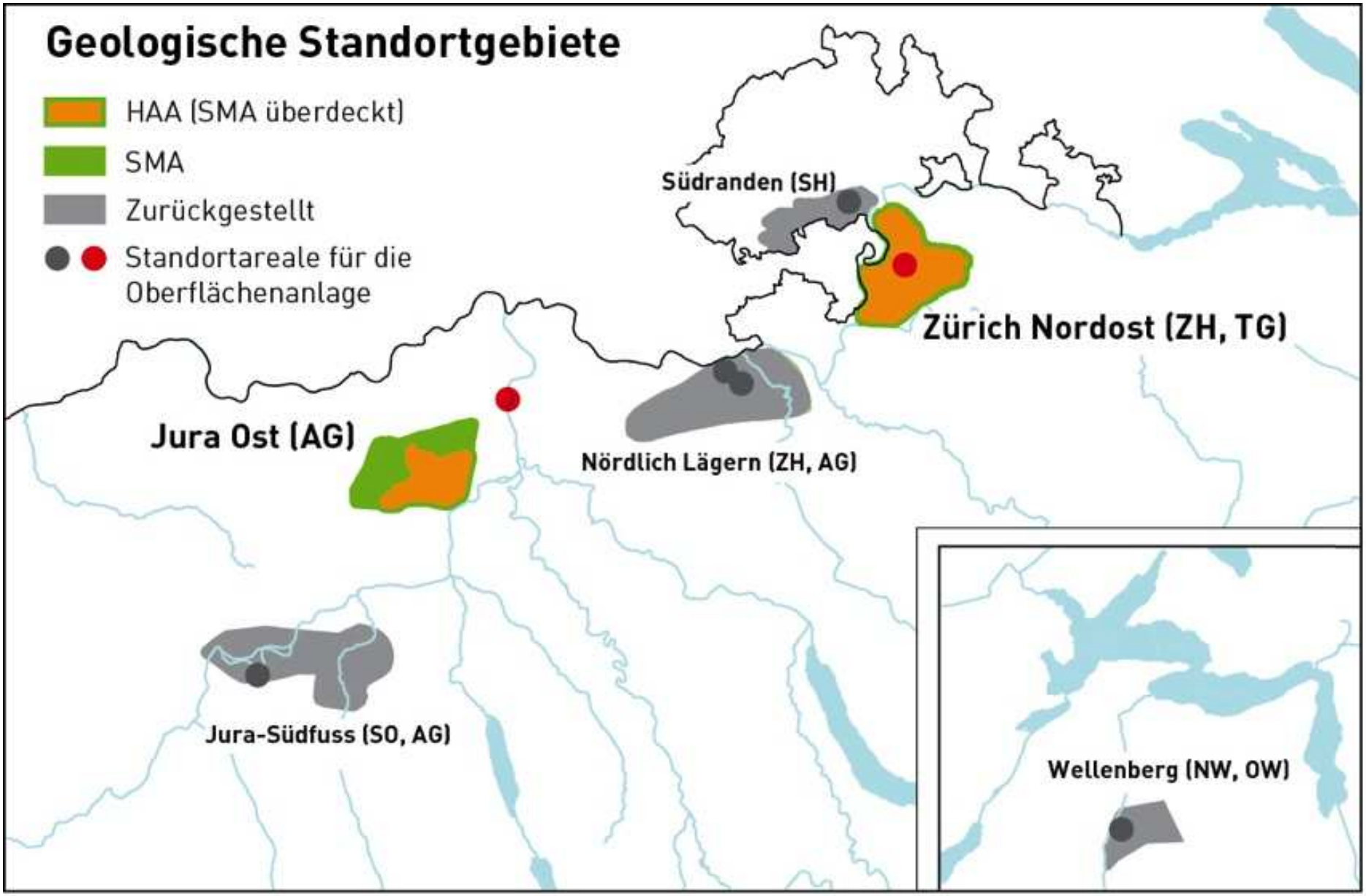
Entscheidrelevante Merkmale & Indikatoren (SMA)



Vorschlag Standortgebiete für SMA-Lager:

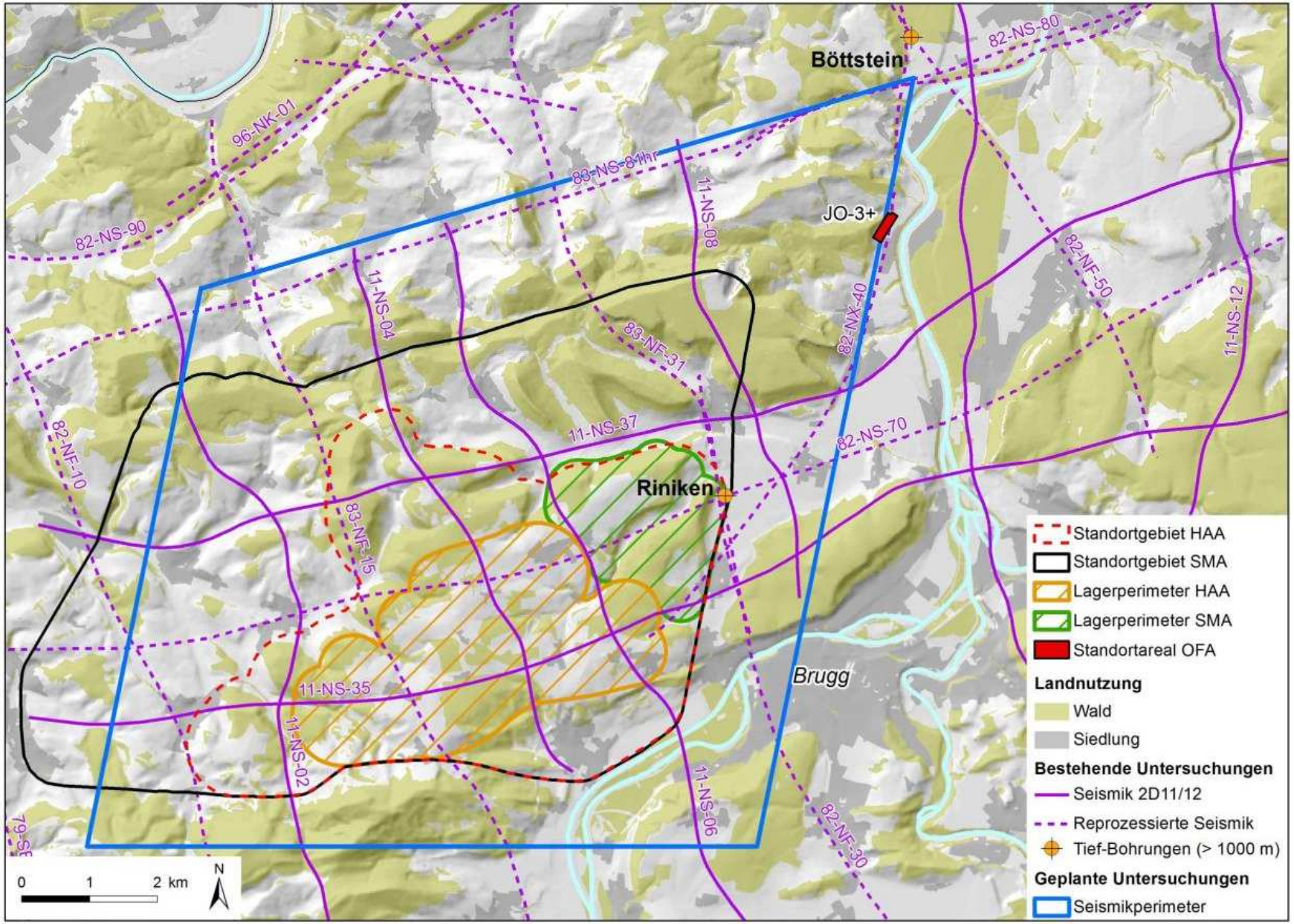
- **Zürich Nordost**
- **Jura Ost**

Vorschläge der Nagra für Etappe 3

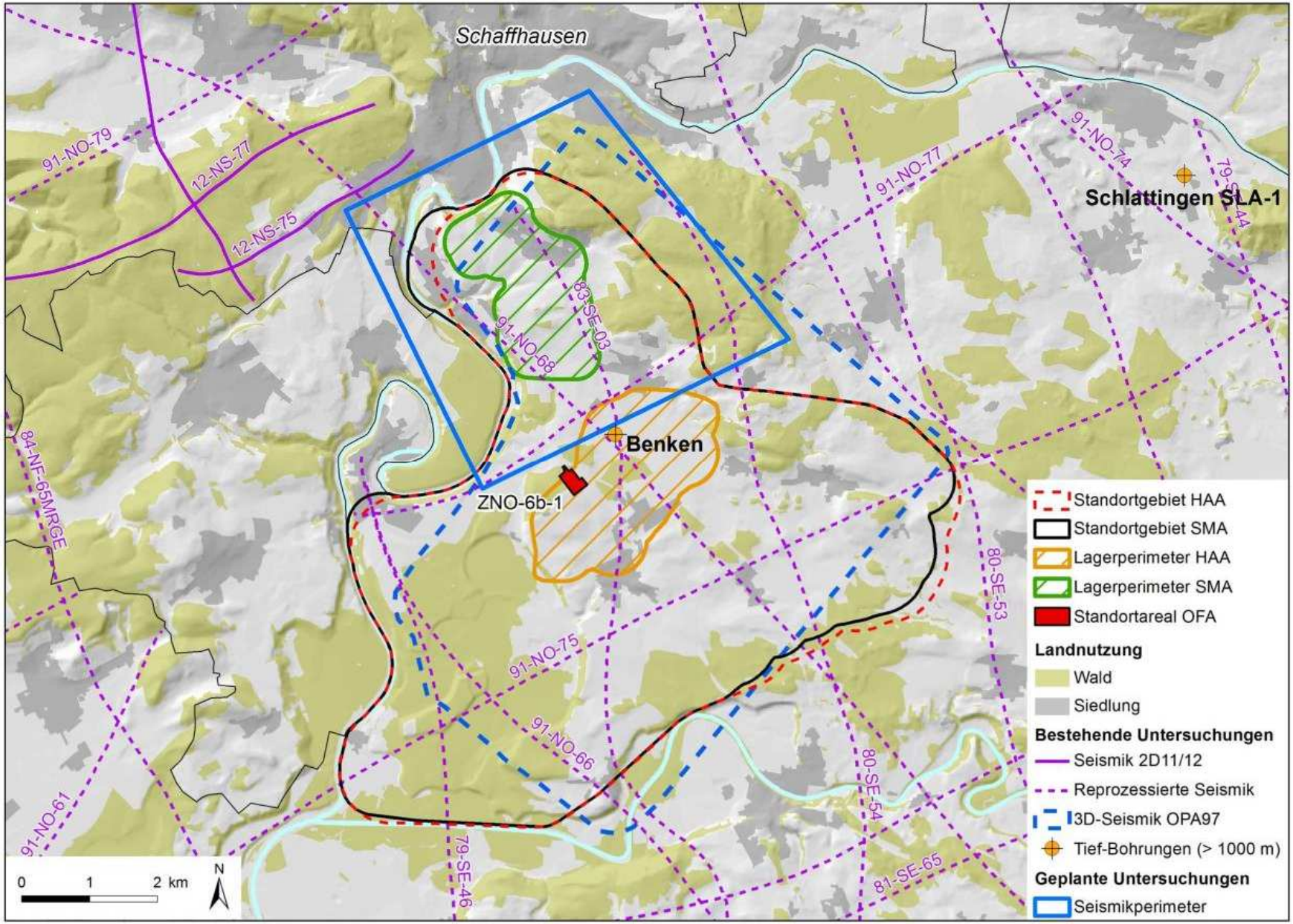


Seismische Untersuchungen

Perimeter der 3D-Seismik JO

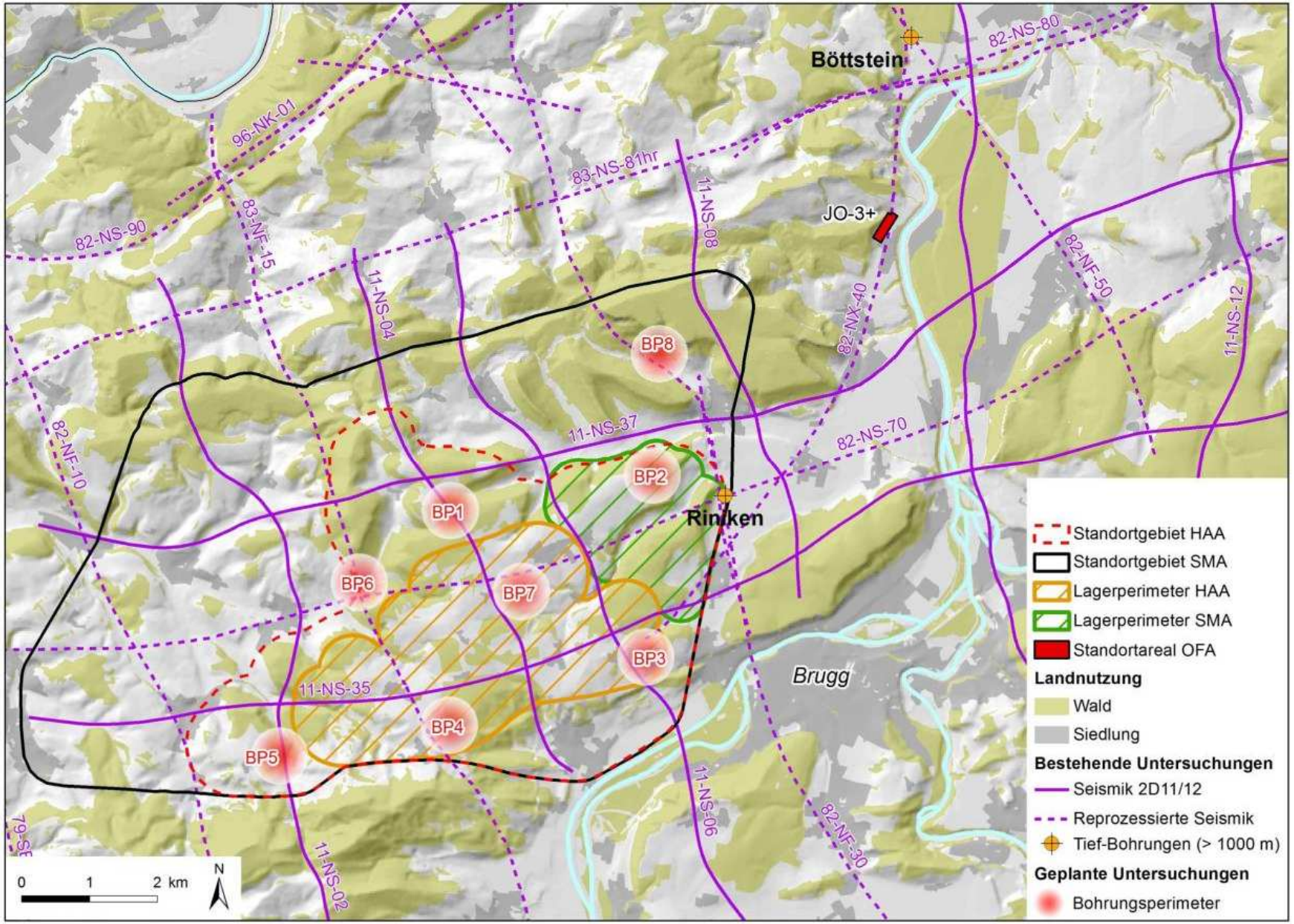


Perimeter der 3D-Seismik SMA ZNO

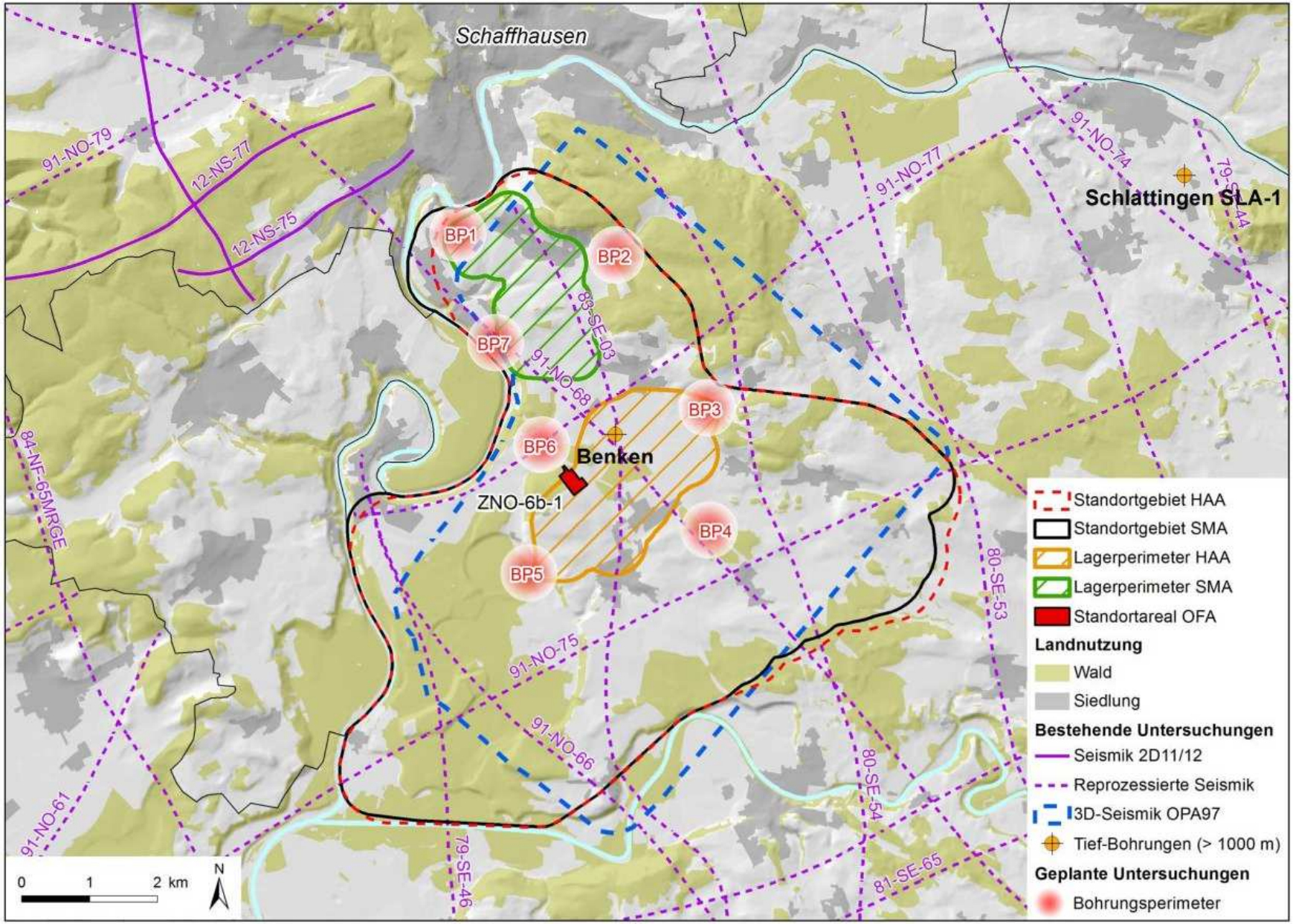


Sondierbohrungen

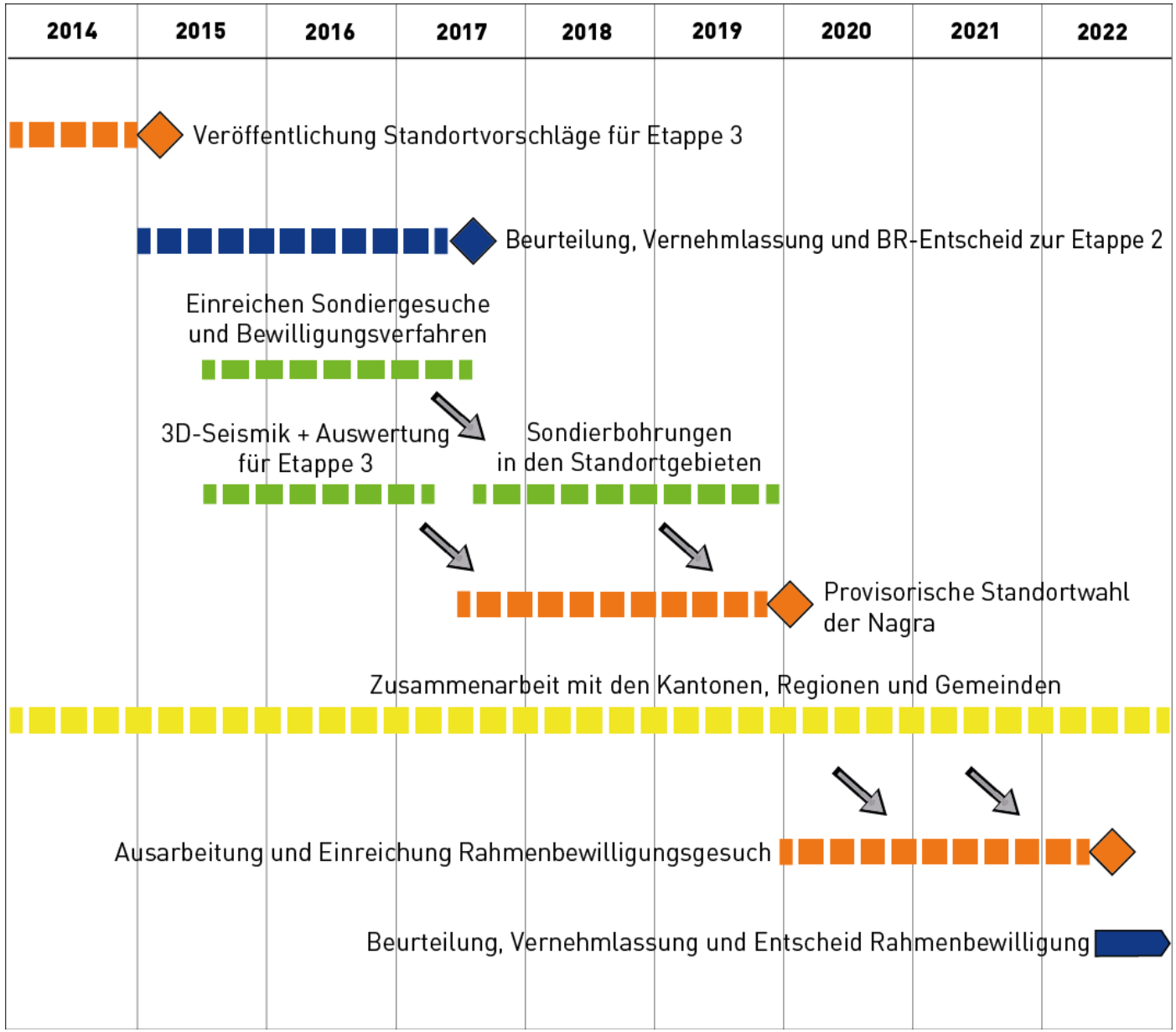
Sondierbohrungen – Bohrungsperimeter JO



Sondierbohrungen – Bohrungsperimeter ZNO



Weiteres Vorgehen und Zeitplan



besten dank
für ihre aufmerksamkeit

nagra.