

geologische tiefenlager für radioaktive abfälle

rückholbarkeit

nagra ● aus verantwortung

Worum geht es?

Zum Schutz von Mensch und Umwelt müssen radioaktive Abfälle für zehntausende bis hunderttausende von Jahren eingeschlossen werden. Mehrere hundert Meter unter der Erdoberfläche bieten geologische Tiefenlager (vgl. Abb. 1) Langzeitsicherheit durch einen sicheren Einschluss der Abfälle. Dies, ohne dass sich die Gesellschaft darum kümmern muss. Zu diesen Grundsätzen der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEA)¹ gibt es Konsens: Die Schweiz² und viele weitere Länder stehen dahinter. Würden Abfälle, die lange strahlen, an oder nahe der Erdoberfläche gelagert, müssten sie permanent gehütet werden. Niemand kann aber vorhersagen, wie lange die Gesellschaft dies machen würde.

Die Aufgabe der Nagra ist es, geologische Tiefenlager zu planen und zu realisieren. Dabei hat sie den gesellschaftlichen Wunsch nach Überwachung der Lager und die Möglichkeit zur Rückholung der Abfälle zu beachten.

Gesetzliche Vorgaben

Die Kernenergiegesetzgebung (vgl. Textbox unten) verlangt unter anderem, dass radioaktive Abfälle aus einem geologischen Tiefenlager rückholbar sind und dass dies in einem Versuch nachgewiesen wird. Eine Rückholung muss bis zum Verschluss des gesamten Tiefenlagers ohne grossen Aufwand möglich sein.

Hochwertiges Lagerprojekt

Die Nagra erarbeitet ein Lagerprojekt, das grosse Sicherheitsreserven bietet. Eine Rückholung aus sicherheitstechnischen Gründen ist somit wenig wahrscheinlich. Die Geologie am Tiefenlagerstandort muss hohen Anforderungen genügen. Daher untersucht die Nagra den geologischen Untergrund und mögliche Einflüsse auf ein Tiefenlager gründlich. Um für alle Eventualitäten gewappnet zu sein und zukünftigen Generationen Entscheidungsfreiheit zu lassen, muss sie ein Rückholungskonzept erstellen, das sie schrittweise weiterentwickelt.

¹ IAEA Fundamental Safety Principles

² Kernenergiegesetz (KEG)

(Literaturverweise vgl. Literaturverzeichnis)

Gesetzliche Vorgaben zur Rückholung

Für geologische Tiefenlager wird die Betriebsbewilligung erteilt, wenn [...]

- die Rückholung der radioaktiven Abfälle bis zu einem allfälligen Verschluss ohne grossen Aufwand möglich ist. *(Artikel 37, Absatz 1, Buchstabe b des Kernenergiegesetzes)*

Ein geologisches Tiefenlager ist so auszulegen, dass [...]

- Vorkehrungen zur Erleichterung von Überwachung und Reparaturen des Lagers oder zur Rückholung der Abfälle die passiven Sicherheitsbarrieren nach dem Verschluss des Lagers nicht beeinträchtigen. *(Artikel 11, Absatz 2, Buchstabe c der Kernenergieverordnung)*

Vor Inbetriebnahme des Tiefenlagers sind die sicherheitsrelevanten Techniken zu erproben und deren Funktionsfähigkeit nachzuweisen. Das betrifft [...]

- das Entfernen des Verfüllmaterials zwecks allfälliger Rückholung von Abfallgebinden;
- die Technik zur Rückholung von Abfallgebinden. *(Artikel 65, Absatz 2, Buchstaben b und c der Kernenergieverordnung)*

Vorgaben zur Rückholbarkeit

Radioaktive Abfälle lassen sich in geologischen Tiefenlagern (vgl. Abb. 1) passiv sicher entsorgen. Künftige Generationen müssen sich dann nicht mehr um sie kümmern, haben aber trotzdem Handlungsoptionen.

Möglichkeit zur Rückholung

Die Expertengruppe «Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle» (EKRA) des Bundes stellte bereits 2001 fest³, dass die Rückholbarkeit der Abfälle auch ein gesellschaftliches Bedürfnis ist. Die Rückholbarkeit wurde daraufhin im Kernenergiegesetz verankert. Dies zusammen mit einer Beobachtungsphase vor dem Gesamtverschluss des Lagers und einem Pilotlager, in dem ein repräsentativer Anteil der Abfälle überwacht wird.

Sollte trotz sorgfältiger Planung durch die Überwachung ein unvorhergesehenes oder ein heute nicht bekanntes Sicherheitsproblem festgestellt werden, würden die Behörden eine Rückholung anordnen.

Da ein Teil der radioaktiven Abfälle aus abgebrannten Brennelementen besteht, könnten zukünftige Generationen diese zurückholen und als Rohstoffe zur Energieerzeugung verwenden.

Abfälle könnten auch zurückgeholt werden, um eine zukünftige alternative Entsorgungsvariante zu nutzen.

Nicht nur die Schweiz, sondern auch andere Länder wie Frankreich berücksichtigen die Rückholung der Abfälle in ihren Lagerkonzepten⁴.

Langzeitsicherheit nicht gefährden

Massnahmen zur Rückholbarkeit dürfen die Sicherheitsbarrieren nicht beeinträchtigen und die Langzeitsicherheit nicht gefährden⁵. Bleibt ein Lager über lange Zeiträume offen, könnte dies die untertägigen Verhältnisse zusehends negativ beeinflussen. Daher werden volle Lagerstollen und -kavernen laufend verfüllt und das Lager darf nur für eine zeitlich beschränkte Beobachtungsphase offen bleiben⁶.

³ EKRA-Schlussbericht

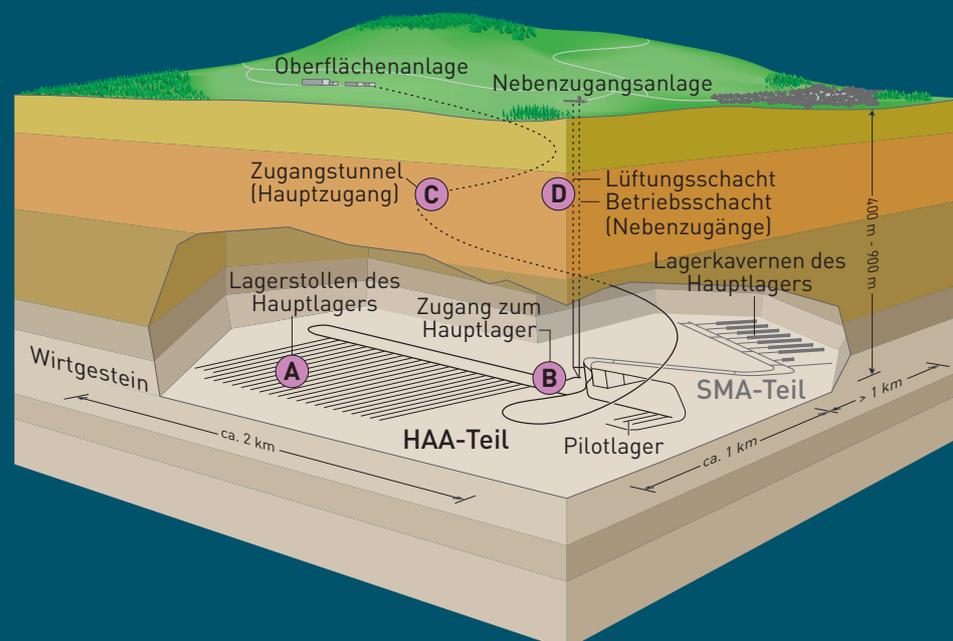
⁴ OECD/NEA, IAEA 2009

⁵ Richtlinie ENSI-G03: Kapitel 4.2, Absatz g

⁶ BFE-Auswertungsbericht

(Literaturverweise vgl. Literaturverzeichnis)

Abbildung 1
Darstellung eines geologischen Tiefenlagers (Kombilager). Die hochaktiven Abfälle werden über den Hauptzugang (C) via (B) zu den Lagerstollen (A) gebracht und dort eingelagert. Zugang bieten auch die beiden Schächte (D). Analog dazu werden schwach- und mittelaktive Abfälle in Lagerkavernen eingelagert.



Rückholung erleichtern

Eine Rückholung ohne grossen Aufwand kann sichergestellt werden durch eine genau dokumentierte Einlagerung der Abfälle, eine gut gewählte und für die Rückholung vorteilhafte Anordnung der Stollen und Kavernen sowie die Wahl eines gut entfernbaren Verfüllmaterials. Aber auch Endlagerbehälter, die mechanisch beständig sind und die frühzeitige Entwicklung der zur Rückholung benötigten Geräte sind wichtig.

Schrittweises Vorgehen

Zirka 2029 entscheidet der Bundesrat, wo die Tiefenlager gebaut werden sollen. Als Entscheidungsgrundlage reicht die Nagra zirka im Jahr 2024 dementsprechende Berichte ein und beantragt eine Rahmenbewilligung. Sie muss das Rückholungskonzept als Grobkonzept vorlegen (vgl. Abb. 2) und darlegen, wann und wie ein Tiefenlager verschlossen werden soll. Bis zum Baubewilligungsgesuch arbeitet sie das Rückholungskonzept bis ins Detail aus. Das Detailkonzept be-

schreibt, wie die Abfälle allenfalls zurückgeholt werden und beinhaltet Aussagen zu Kosten, Zeitbedarf und Strahlenbelastung. In einem Demonstrationsversuch unter realistischen Bedingungen muss die Nagra bis zum Einreichen des Betriebsbewilligungsgesuchs aufzeigen, dass die Rückholung technisch machbar ist. Die Nagra berücksichtigt dabei den jeweils aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik.

Sichere Tiefenlager sind machbar

Das Kernenergiegesetz verlangt, dass für radioaktive Abfälle ein Entsorgungsnachweis erbracht wird. Dieser zeigt, dass geologische Tiefenlager in der Schweiz grundsätzlich machbar sind. Der Bundesrat hat die Entsorgungsnachweise der Nagra anerkannt: jenen für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) in 1988 und jenen für hochaktive Abfälle (HAA) in 2006.

2020

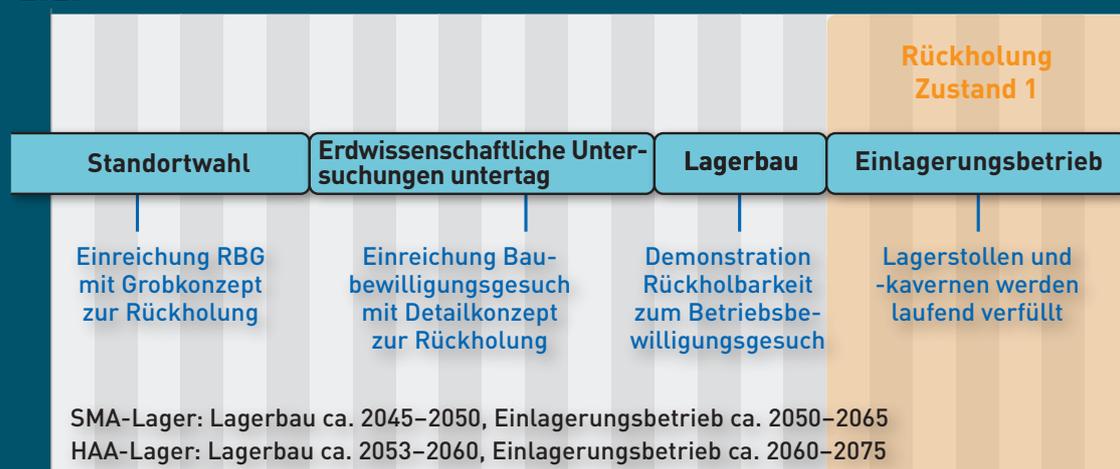


Abbildung 2
Schematischer Realisierungsplan eines geologischen Tiefenlagers mit den drei Zuständen der Rückholbarkeit

Rückholbarkeit im Zeitverlauf

Vereinfacht werden drei Zustände des Lagers und der Rückholbarkeit unterschieden. Für hochaktive Abfälle sind dies (vgl. Abb. 1 und 2):

Zustand 1: Die Lagerstollen (A) werden während der Einlagerung der Abfälle fortlaufend verfüllt. Der Zugang zum Hauptlager (B) und die Zugänge von der Erdoberfläche her (C und D) stehen noch offen.

Zustand 2: Die Lagerstollen (A), der Zugang zum Hauptlager (B) und der Hauptzugang (C) sind verfüllt und verschlossen. Der Nebenzugang (D) von der Erdoberfläche her ist offen. Das Pilotlager wird überwacht.

Zustand 3: Sämtliche Stollen sowie alle Zugänge zur Erdoberfläche sind verfüllt und verschlossen (A bis D).

Der Aufwand zur Rückholung der Abfälle hängt davon ab, wie weit das Lager schon in den Zustand der vollständigen passiven Sicherheit überführt wurde (vgl. Abb. 4). Im Zustand 1 ent-

spricht er ungefähr jenem zur Einlagerung der Abfälle. Von Zustand 1 zu 3 nimmt der Aufwand zur Rückholung der Abfälle stetig zu.

Während der mehrere Jahrzehnte dauernden Beobachtungsphase werden die Abfälle im Pilotlager und das Verhalten der technischen Sicherheitsbarrieren überwacht. Dies um weitere Daten für die Bestätigung der Langzeitsicherheit des Lagers zu sammeln. Erst wenn dieser Nachweis abschliessend erbracht ist, kann der Bundesrat den vollständigen Verschluss des Lagers anordnen. Von den Endlagerbehältern mit den Abfällen wird gefordert, dass sie für eine allfällige Rückholung bis zum Ende der Beobachtungsphase mechanisch beständig sind⁷. Beim Zustand 3 ist eine Rückholung auch noch möglich, der Aufwand wäre aber grösser.

Je länger ein Tiefenlager bereits vollständig verschlossen ist, desto anspruchsvoller werden die Verhältnisse untertag für eine Rückholung.

⁷ Zusätzlich fordert das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) in seiner Richtlinie ENSI-G03 aus Sicht der Langzeitsicherheit, dass die Endlagerbehälter für hochaktive Abfälle mindestens 1000 Jahre dicht sein müssen. Experimente und Berechnungen zeigen, dass die derzeit vorgesehenen Endlagerbehälter aus Stahl während zirka 10 000 Jahren dicht sind.



Wie würde eine Rückholung ablaufen?

Rückholung aus HAA-Lager

Nachfolgend wird die Rückholung von Endlagerbehältern aus einem Lagerstollen für hochaktive Abfälle (HAA) für den Zustand 2 beschrieben.

Beim Zugang zum Hauptlager (B) müssen zuerst das Verfüllmaterial entfernt und der Tunnel allenfalls gesichert werden. Dann wird das Siegel des betroffenen Lagerstollens (A) entfernt. Ein ferngesteuertes Fahrzeug entfernt die Stollenverfüllung aus Bentonit. Der Endlagerbehälter wird auf das Fahrzeug gezogen (vgl. Abb. 3). Dieses bringt den Behälter aus dem Lagerstollen, damit er an die Erdoberfläche transportiert werden kann. Der geöffnete Lagerstollen wird fortlaufend inspiziert und gestützt. Dieser Ablauf wiederholt sich, bis die betroffenen Behälter entfernt sind.

Rückholung aus SMA-Lager

Als Endlagerbehälter für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) dienen Betoncontainer. Diese lagern untertag in Kavernen. Hohlräume zwischen den einzelnen Containern werden bei der Einlagerung mit weichem Mörtel verfüllt, der sich einfach wieder entfernen lässt. So können betroffene Container freigelegt und aus einer Kaverne zurückgeholt werden.

Fahrzeuge bereits vorhanden

Es gibt bereits heute im Untertagebau verschiedenste Fahrzeuge, die weltweit unter ähnlich knappen Platzverhältnissen wie in einem Tiefenlager eingesetzt werden. Damit können Löcher ins Gestein gebohrt, Stollen gesichert, Ausbruchsmaterial entfernt und tonnenschwere Lasten wie der Endlagerbehälter gehoben und transportiert werden. Aus technischer Sicht ist mit solchen Fahrzeugen eine Rückholung erfolgreich durchführbar. Aus rechtlicher Sicht muss die Nagra die Rückholbarkeit vor der Einlagerung in einem Demonstrationsversuch nachweisen.

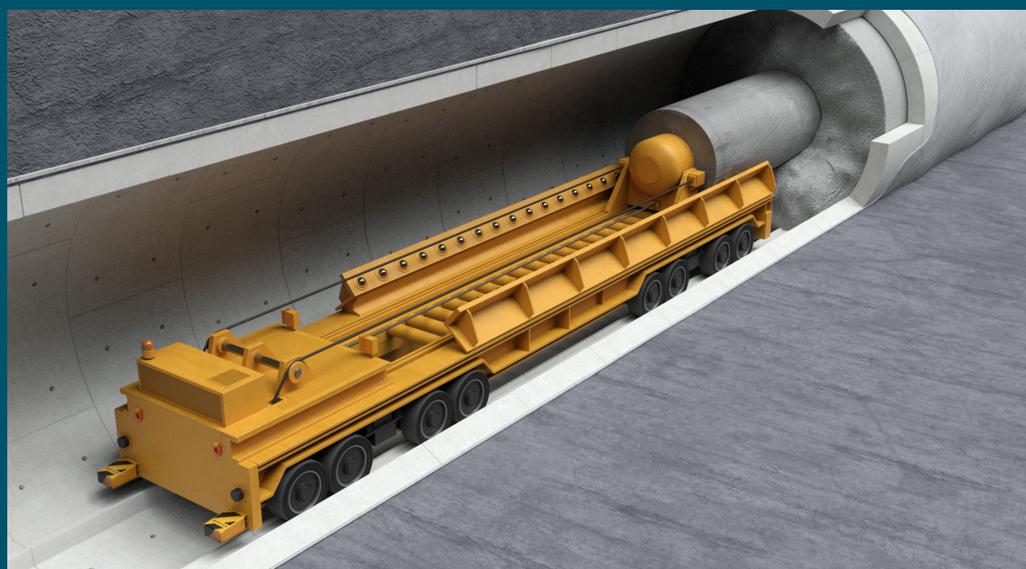


Abbildung 3

Beispielhafte Darstellung der Rückholung hochaktiver Abfälle: Der Endlagerbehälter wird mit einem Rückholungsfahrzeug geborgen und aus dem Einlagerungsstollen gebracht.

Tiefenlager bieten passive Sicherheit

In einem geologischen Tiefenlager sorgen technische und geologische Sicherheitsbarrieren für eine hohe Langzeitsicherheit. Sie schützen Mensch und Umwelt und halten zudem schädliche Einflüsse von den radioaktiven Abfällen fern. Zu den technischen Barrieren zählen bei einem Tiefenlager für hochaktive Abfälle der Endlagerbehälter aus Stahl sowie die Verfüllung der Lagerstollen und die Versiegelung der Zugänge zum Lager mit quellfähigem Material (Bentonit).

Der wasserundurchlässige Opalinuston, ein Tongestein, nimmt die Lagerkammern⁸ mit den radioaktiven Abfällen auf. Er bildet zusammen mit darunter- und darüberliegenden Gesteinsschichten die geologische Barriere. Sie sorgt für die langfristige Rückhaltung der radioaktiven Stoffe. Der Opalinuston liegt in den Standortgebieten für ein Lager in mehreren hundert Metern Tiefe und ist an geeigneten Orten schon seit vielen Jahrtausenden stabil geblieben.

Schrittweise zur vollständigen passiven Sicherheit

Die passive Sicherheit wird schrittweise erhöht, damit nach dem Verschluss des geologischen Tiefenlagers keine aktive Kontrolle mehr notwendig ist (vgl. Abb. 4).

Bereits die Einlagerung der Abfälle im Tiefenlager vergrößert die Sicherheit. Durch das fortlaufende Verfüllen und Versiegeln voller Lagerkammern nimmt die passive Sicherheit weiter zu. Gleichzeitig nimmt die notwendige aktive Kontrolle ab und wird es zunehmend aufwändiger, die Abfälle wieder zurückzuholen. Im nächsten Schritt werden in der Tiefe alle Zugänge zum Hauptlager (vgl. Abb. 1) verschlossen. Während der Beobachtungsphase, die Jahrzehnte dauert, bleibt ein Zugang von der Erdoberfläche her zur Kontrolle des Pilotlagers offen. Wird auch dieser verschlossen, ist die passive Sicherheit gewährleistet. Eine Langzeitüberwachung⁹ von der Oberfläche aus kann auch nach dem vollständigen Verschluss stattfinden, für die Gewährleistung der Sicherheit ist diese aber nicht nötig.

⁸ Als Lagerkammern werden die Lagerstollen für hochaktive Abfälle und die Lagerkavernen für schwach- und mittelaktive Abfälle bezeichnet.

⁹ Kernenergiegesetz (KEG), Art. 39, Abs. 3

(Literaturverweis vgl. Literaturverzeichnis)

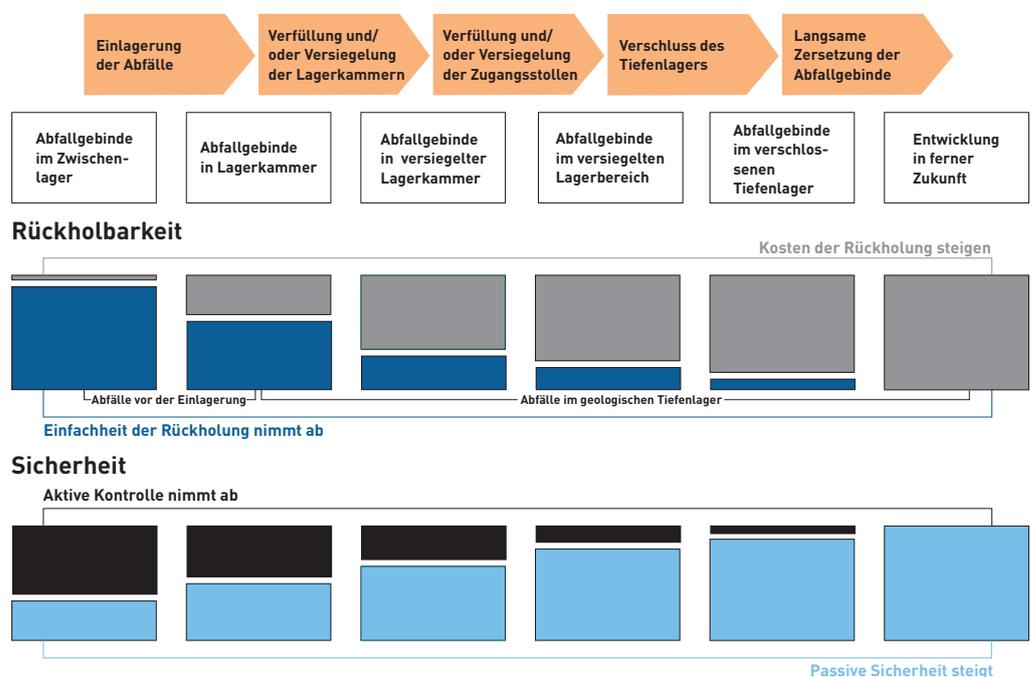


Abbildung 4

Schrittweise Zunahme der passiven Sicherheit mit jedem Verschluss eines Lagerbestandteils (Grafik basierend auf Abbildung der OECD/NEA, vgl. Literaturverzeichnis).

Literaturverzeichnis / Zum Weiterlesen

- «Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standards Series No. SF-1», IAEA, 2006
- «Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen – Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis, ENSI-G03», ENSI, April 2009
- «Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle: Schlussbericht», EKRA, 31. Januar 2000
- «Reversibility of decisions and retrievability of radioactive waste», OECD/NEA, 2012
- «Geological Disposal of Radioactive Waste: Technological Implications for Retrievability», Nuclear Energy Series No. NW-T-1.19, IAEA, 2009
- «Sachplan geologische Tiefenlager – Bericht über die Ergebnisse der Vernehmlassung zu Etappe 2 – Auswertungsbericht», BFE, 21. November 2018
- Kernenergiegesetz (KEG), Stand: 1. Januar 2020
- Kernenergieverordnung (KEV), Stand: 1. Februar 2019

**Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle**

Hardstrasse 73
Postfach 280
CH-5430 Wettingen

Tel. 056 437 11 11

info@nagra.ch
www.nagra.ch
www.nagra-blog.ch

nagra ● **aus verantwortung**