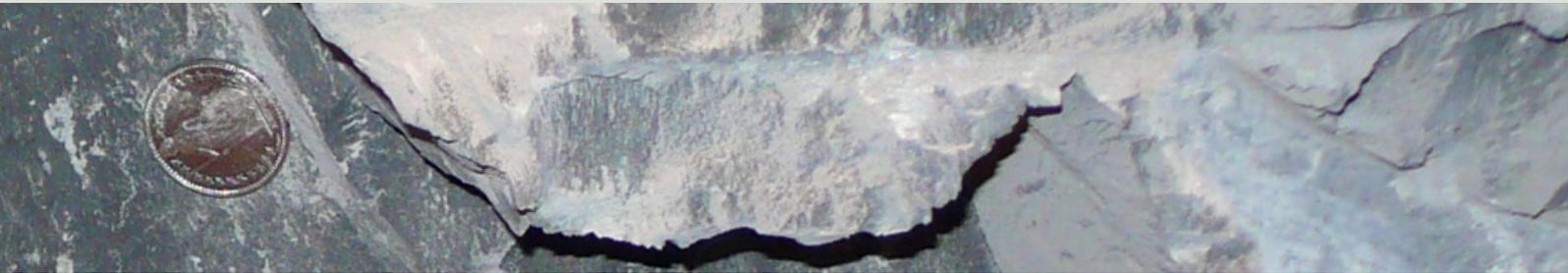




Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI  
Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN  
Ispettorato federale della sicurezza nucleare IFSN  
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI



## Beurteilung der glazialen Tiefenerosion im Rahmen der Festlegung der geologischen Standortgebiete

Expertenbericht

im Rahmen der Beurteilung des Vorschlags geologische Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager, Etappe 1, Sachplan geologische Tiefenlager

Dr. von Moos AG

November 2009

# 8600

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, 5232 Villigen

## **Sachplan Geologische Tiefenlager (SGT) Etappe 1:**

# **BEURTEILUNG DER GLAZIALEN TIEFENEROSION IM RAHMEN DER FESTLEGUNG DER GEOLOGISCHEN STANDORTGEBIETE**

Expertenbericht zuhanden des  
Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorates ENSI

Zürich, 4. November 2009

Bericht Nr. 8600

**Dr. von Moos AG**

Geotechnisches Büro



**Beratende Geologen und Ingenieure**

Bachofnerstrasse 5

8037 Zürich

T. 044 363 31 55/ F. 044 363 97 44    www.geovm.ch    info@geovm.ch

# Inhaltsverzeichnis

## Zusammenfassung

<b>1</b>	<b>AUFTRAG</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>KONSULTIERTE UNTERLAGEN</b> .....	<b>5</b>
2.1	GRUNDLAGENBERICHTE DER NAGRA.....	5
2.2	GRUNDLAGENBERICHTE DR. VON MOOS AG, MBN AG.....	6
2.3	WEITERE UNTERLAGEN / UNTERSUCHUNGEN .....	6
<b>3</b>	<b>VERWENDETE BEGRIFFE</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>BEMERKUNGEN ZU MODELLVORSTELLUNGEN BEZÜGLICH "GLAZIALER TIEFENEROSION"</b> .....	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>WERTUNG KENNTNISSTAND NACH REGIONEN</b> .....	<b>10</b>
5.1	RHONE- / AARE-SYSTEM.....	10
5.2	REUSS-SYSTEM .....	11
5.3	LINTH-SYSTEM .....	11
5.4	RHEIN-THUR-SYSTEM .....	11
<b>6</b>	<b>KOMMENTARE ZU DEN KONSULTIERTEN BERICHTEN</b> .....	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>BEWERTUNG DES UNTERSUCHUNGSSTANDES FÜR ETAPPE 1</b> .....	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>UNTERSUCHUNGSVORSCHLÄGE ZUR VERBESSERUNG DER DATENGRUNDLAGEN UND DES PROZESSVERSTÄNDNISSES IN DEN ETAPPEN 2 UND 3 DES SGT</b> .....	<b>21</b>
8.1	VERBESSERUNG DER DATENGRUNDLAGE.....	21
8.2	VERTIEFUNG PROZESSVERSTÄNDNIS "GLAZIALE TIEFENEROSION".....	21
8.3	SZENARIENBETRACHTUNGEN .....	21
<b>9</b>	<b>LITERATUR</b> .....	<b>22</b>

## Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht fasst die Resultate der Überprüfung der Darstellungen der Quartärmächtigkeiten resp. Lage der Felsoberfläche und die entsprechenden Folgerungen hinsichtlich der sicherheitsbezogenen Definitionen und Überlegungen der Nagra zusammen. Wesentliche Überlappungen der vorgeschlagenen geologischen Standortgebiete mit Ausläufern oder Abzweigungen sogenannter glazial übertiefer Becken oder Rinnen bestehen nur in Teilen der Gebiete "Nördlich Lägern" und "Zürcher Weinland" (Glatttal- bzw. Thurtalrinne). Für diese Areale wurde eine vertiefte Überprüfung der Lage der Felsoberfläche durchgeführt; in den übrigen Untersuchungsgebieten der Nagra erfolgte eine Prüfung der Plausibilität der Daten resp. deren Darstellungen.

Die Prüfarbeiten ergaben gemäss heute verfügbarer Datenbasis keine wesentlichen Differenzen hinsichtlich der Lage der Felsoberfläche in den potenziell kritischeren Gebieten "Nördlich Lägern" und "Zürcher Weinland". Es werden jedoch in den nächst folgenden Etappen des Sachplanverfahrens an ausgesuchten Stellen detaillierte Abklärungen nötig sein. In den übrigen Arealen sind ebenfalls keine wesentlichen Abweichungen festgestellt worden.

Die prinzipiellen sicherheitsbezogenen Überlegungen und deren Anwendung in den Verschnittprozessen im GIS sind nachvollziehbar. Die Experten schlagen aber einige Verbesserungen und Präzisierungen in der Definition und den Anwendungen der Mindestanforderungen (MA) resp. verschärften Anforderungen (VA) vor. Eine periodische Nachführung der Datenbasis speziell in den beiden oben erwähnten geologischen Standortgebieten ist empfehlenswert.

# 1 Auftrag

Auftraggeber: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, 5232 Villigen

Vertragsgrundlagen: Vertrag vom 16. Mai 2008 (H-100542)  
Offerte vom 24. April 2008

Das ENSI ist nach Gesetz und Sachplanverfahren beauftragt, im Rahmen des „Sachplans Geologische Tiefenlager“ (SGT) die Untersuchungsberichte und Folgerungen der Nagra bezüglich der vorgeschlagenen Standortgebiete im Hinblick auf Sicherheit und Machbarkeit zu prüfen. Für die Beurteilung der geologischen Grundlagedaten der Etappe 1 des Sachplanverfahrens zog das ENSI externe Spezialisten zur fachlichen Überprüfung ausgewählter Fachthemen bei.

Gemäss Auftrag des ENSI soll durch den Experten Dr. von Moos AG das von der Nagra angewandte Verfahren zur Definition und Abgrenzung von Gebieten mit grossen Quartärmächtigkeiten resp. sogenannten "übertiefen Rinnen" überprüft werden. Insbesondere soll geprüft werden, ob die heutigen Kenntnisse bezüglich Entstehung und Mächtigkeit der Quartärbedeckung sowie die verfügbaren Daten bezüglich Lage der Felsoberfläche adäquat erfasst wurden. Zudem wird das Vorgehen zur Berücksichtigung der Quartärmächtigkeit in den Sicherheitsüberlegungen (genügende Überdeckung der Tiefenlager) hinsichtlich Plausibilität und Prozessverständnis beleuchtet. Eine grundlegende Sichtung und Würdigung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes bezüglich der "glazialen Tiefenerosion" ist nicht Gegenstand des Auftrags.

Der vorliegende Bericht fasst die Beurteilungsergebnisse hinsichtlich der Fragestellungen zur "glazialen Tiefenerosion" (Kriteriengruppe 2 "Langzeitstabilität": 2.2 Erosion) zusammen, erläutert allfällige, in Etappe 1 vorhandene Kenntnislücken und macht aus Sicht der externen Experten Vorschläge hinsichtlich des weiteren Untersuchungsbedarfs für die späteren Etappen 2 und 3 des Sachplans.

## 2 Konsultierte Unterlagen

### 2.1 Grundlagenberichte der Nagra

Für die Beurteilung des Problemkreises "glaziale Tiefenerosion" wurden folgende, durch die Nagra oder im Auftrage der Nagra verfasste **Berichte** konsultiert:

Nummer	Titel	Autoren	Datum
NTB 08-03	Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse (sog. "Einengungsbericht")	Nagra	Oktober 2008
NTB 08-04	Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Geologische Grundlagen, Text- und Beilagenband	Nagra	Oktober 2008
NTB 08-05	Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Begründung der Abfallzuteilung, der Barriersysteme und der Anforderungen an die Geologie; Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit	Nagra	Oktober 2008
NTB 99-08	Geologische Entwicklung der Nordschweiz, Neotektonik und Langzeitszenarien Zürcher Weinland	Nagra (W.H. Müller, H. Naef, H.R. Graf)	Dezember 2002
NAB 09-06	Glaziale Erosion: Prozesse und ihre Kapazitäten	Geogr. Inst. Uni Zürich (V. Burki)	August 2009
NAB 07-12	EP-05: Digitales Höhenmodell Basis Quartär	Böhringer AG (P. Jordan)	Juli 2007
NIB 08-11	Vororientierung SGT: Erläuterung zur GIS-gestützten Einengungsprozedur	Nagra (W. Albert, M. Schnellmann, H.P. Weber)	Januar 2009
NIB 95-01	3D-Seismik Opalinuston: Quartärstudie im Gebiet Zürcher Weinland, Zusammenstellung der hydrogeologischen Daten und seismischen Geschwindigkeiten	Dr. von Moos AG (S. Frank)	Dezember 1994
NIB 93-95	Isohypsen der Felsoberfläche im nördlichen Teil des Kantons Zürich und angrenzenden Gebieten (Atlasblätter Neunkirch (Teil), Diessenhofen (Teil), Eglisau, Andelfingen, Bülach, Winterthur)	Dr. von Moos AG (M. Freimoser & S. Frank)	Juni 1993

## 2.2 Grundlagenberichte Dr. von Moos AG, MBN AG

Autoren	Titel	Datum	Nummer
Dr. von Moos AG (K. Dubach & B. Rick)	Überprüfung des GIS-Verfahrens der Nagra und der verwendeten Datensätze im Standortauswahlverfahren SGT Etappe 1 (Bericht zuhanden ENSI).	2009	8833
MBN AG (H.R. Graf)	Technisches Forum Entsorgungsnachweis, Vertretung des Kantons Schaffhausen, Schlussbericht – unveröff. Bericht zuhanden Kanton Schaffhausen, Departement des Innern.	2005	G1235G
Dr. von Moos AG (S. Frank)	Entsorgungsnachweis Quartäraquifere Zürcher Weinland: Beurteilung der geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse (unveröff. Bericht zuhanden der HSK).	November 2005	7609

## 2.3 Weitere Unterlagen / Untersuchungen

Autoren	Titel	Datum	Nummer
Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK)	Gutachten zum Entsorgungsnachweis der Nagra für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle (Projekt Opalinuston).	2005	HSK 35/99
Häberli, W. (Geograph. Institut Universität Zürich)	Eishaus + 10 <sup>6</sup> a. Zu Klima und Erdoberfläche im Zürcher Weinland während der kommenden Million Jahre – Expertenbericht zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, 40 S., Würenlingen.	Juli 2004	HSK 35/93

Weitere Literatur ist im Kapitel 8 aufgelistet.

### 3 Verwendete Begriffe

**Glaziale Tiefenerosion:**

Überbegriff für die Gesamtheit der glazigenen und periglazialen Vorgänge, welche zu ausgeprägter, vertikaler Erosion des geologischen Untergrundes unterhalb eines Gletschers oder im nahen Gletschervorfeld führen.

**Übertiefung** ("Übertiefte Rinnen", "übertiefte Täler", "glaziale Becken" etc.):

Ursprünglich bedeutet dieser Begriff, dass die Felsoberfläche in der Talsohle deutlich tiefer als die aktuelle Terrainoberfläche liegt. Heute wird damit meist ein Talzug bezeichnet, dessen Felsmorphologie nicht als Resultat von rein fluviatiler Erosion durch frei fliessendes Wasser erklärt werden kann, da in Abflussrichtung entlang der Rinnenachse Gegensteigungen auftreten.

## 4 Bemerkungen zu Modellvorstellungen bezüglich "Glazialer Tiefenerosion"

Der Mechanismus der Entstehung von übertieften Rinnen (oder "glaziale Becken", "Übertiefte Täler", "Tiefe Becken", "Tunneltäler" etc.) ist bis heute nicht abschliessend geklärt. Es kommen dafür grundsätzlich zwei Mechanismen in Frage, die beide sowohl auf Grund von theoretischen, glazial-dynamischen Überlegungen als auch anhand von in solchen Rinnen erbohrten Sedimenten möglich sind:

- a) Erosion durch das Fliesen des Eises
- b) Erosion durch subglaziale Schmelzwässer

Zu a)

Weil sich Gletschereis plastisch deformiert und sich so über den Untergrund fliessend fortbewegt, entsteht eine Schubspannung an der Gletscherbasis. Daher ist – neben der Erosionsleistung in Abhängigkeit der basalen Geschiebekonzentration (vgl. NAB 09-06, S.13) - stets von einer erosiven Wirkung des Eises auszugehen (auch im Zungenbereich eines Gletschers). Dies allerdings nur solange, wie die einzelnen Eislamellen sich mehr oder weniger frei bewegen können. Sobald diese immobilisiert werden, z.B. wenn die Rinnenbildung mit dem Vordringen des Gletschers nicht Schritt zu halten vermag, und die basalen Lamellen von der generellen Gletscherdynamik abgekoppelt werden ("décollement"), wenn sich also neue Lamellen bilden, die sich über die in der Tiefe liegenden Eispartien ("Toteis") hinweg bewegen. Damit endet auch die weitere Tiefenerosion. Bei Vorliegen von subglazialen Sedimenten („Grundmoräne“) und ± stagnierendem Gletscherstand findet ebenfalls praktisch keine Erosion, sondern nur Deformation dieser Lockersedimente statt.

Zu b)

Ein anderes Modell für die Entstehung der Übertiefungen wird z.B. von SMED (1998) für die übertieften Rinnen ("Tunneltäler") der nordeuropäischen Vergletscherung vertreten. Er geht davon aus, dass im jahreszeitlichen Verlauf immer wieder grössere Mengen an Schmelzwasser im basalen Bereich eines Gletschers frei werden, welche durch ein Gletschertor entwässern. Diese subglaziale Wasserbewegung mit Überwindung einer Gegensteigung hin zum Gletschertor wird durch den hydraulischen Gradienten innerhalb des Gletschers ermöglicht, welcher gegen den Gletscherrand tendenziell zunimmt (HAEBERLI 2004). Die Entwässerung geschieht jeweils in engen Kanälen, wo das im Wasser enthaltene Gesteinsmaterial eine intensive abrasive Wirkung entfalten kann. In diesen Kanälen lagert sich beim Nachlassen der Strömungsenergie schliesslich Gesteinsmaterial ab, was zur Oser-Bildung führt (vgl. auch: RÖTHLISBERGER 1972, NYE 1976, PUGIN et al. 1996). Beim weiteren Nachlassen des Schmelzwasseranfalles, werden die Kanäle durch den Eisdruck wieder geschlossen. Dieser Ablauf wiederholt sich, wobei sich die Lage der Kanäle immer wieder ändert, bis schliesslich eine lateral ausgedehnte Zone von subglazialen Schottern vorliegt, welche als eine Amalgamierung von Osern zu deuten ist (vgl. auch: BARNETT 1990, bzw. BOULTON & HINDMARSH 1987). Ein integraler Bestandteil des Modelles von SMED (1998) ist die Verbindung der subglazialen Erosion und Oser-Bildung mit der Ablagerung im Gletschervorfeld. Demnach befindet sich der Übergang vom Oser zum Gletschervorfeld am talwärtigen Ende des glazialen Beckens, was mit der Position des Gletschertores in etwa übereinstimmt

Aus glazialdynamischer Sicht ist zwar das Modell b) für die Entstehung übertiefter Rinne das wahrscheinlich zutreffende. Dass Erosion gemäss Modell a) jedoch zumindest teil- bzw. zeitweise ebenfalls eine Bedeutung haben kann, wird durch die Befunde aus dem nördlichen alpinen Vorland angezeigt. Es wurden sowohl Lockergesteinsabfolgen erbohrt, welche im basalen Bereich ausgedehnte, fluviale Sedimente (vermutlich vom Typus Oser) aufweisen (z.B. WYSSLING & WYSSLING 1978, MATOUSEK & GRAF 1998, etc.) als auch solche ohne (FRANK & FRIEG 1998). Ob direkt über dem Fels diamiktische Sedimente (cf. "Till") vorhanden sind oder

nicht, ist häufig schwierig beurteilbar, da die meisten Bohrungen in den übertieften Rinnen Spülbohrungen sind, womit eine exakte Ansprache des Bohrguts schwierig ist. Damit ist auch die Frage, ob eine (temporäre) Eisfüllung mit aktiver Till-Bildung an der Basis der betreffenden Rinne vorhanden war oder nicht, nicht eindeutig beantwortbar.

Im Zusammenhang mit dem Entstehungsmechanismus von glazial übertieften Rinnen ist die Frage nach der **Lage der Eisfront zum Zeitpunkt der Rinnenbildung** von Bedeutung. Für beide oben dargestellten Modelle der Rinnengenese ist dabei eine Gletscherstirn-Position im Bereich des talwärtigen Endes eines glazialen Beckens am wahrscheinlichsten (vgl. auch HAEBERLI 2004). Im Fall von a) kann es sich dabei sowohl um eine über längere Zeit stabile Eislage handeln als auch um eine Momentaufnahme eines grösseren Eisvorstosses. Im Fall von b) hingegen ist - wegen des expliziten Zusammenhanges mit der Sanderbildung - von einer über längere Dauer eingehaltenen Position eines Eislappens auszugehen.

Insgesamt sind die **Prozesse der subglazialen Erosion vielfältig** und – bezogen auf ein Tal – auch sehr abhängig von den lokalen, präexistierenden Untergrundverhältnissen sowie den hydrologisch-glaziologischen Bedingungen im Einzugsgebiet des Talgletschers (hydraulisches Potential) sowie der Eisdicke im externen Gletscherbereich. Zudem können über lange Zeiträume die hydrologischen Randbedingungen und erosionsrelevanten Prozesse ändern und so als „Produkt“ multigenetische Lockergesteinsabfolgen entstehen. Dementsprechend sind für die zukünftige Entwicklung bis in 1 Mio. Jahren **diese Unsicherheiten mit angepassten Sicherheitszuschlägen zu berücksichtigen**.

HAEBERLI 2004 kommt insbesondere aufgrund der Analyse der letzten Eiszeit im Rhein-/Thurgau im Zürcher Weinland im Wesentlichen zu **drei Schlussfolgerungen**:

**Erstens** „dürften übertiefte Becken im Mittelland primär während der feuchteren Eisauaufbauphase ausgeräumt worden sein“ (S.34). Diese eher grundsätzliche Folgerung scheint einleuchtend aufgrund der erwarteten Änderungen des Klimas im Verlaufe einer Eiszeit von feucht-kalt in der Eisauaufbauphase zu trocken-kalt bei maximaler Eisausdehnung mit dann entsprechend geringem Schmelzwasseranfall.

**Zweitens** bestehe „die grösste Unsicherheit hinsichtlich linear konzentrierter subglazialer Erosion und der Entstehung von tiefen Schluchten mit klammartigem Querprofil“ (S.35). Solche Phänomene seien noch wenig untersucht und auch in alpenfernen Gebieten denkbar.

**Drittens** sei es in alpenfernen Gebieten (S.36) „von zentraler Bedeutung, dass die zunehmende Auskühlung und Austrocknung im Bereich maximaler Eisausdehnung gut dokumentiert, logisch verständlich und qualitativ nachvollziehbar ist. Mit dieser robusten Erkenntnis verbunden ist die begründete Annahme, dass die glaziologische wie die geomorphodynamische Aktivität in dieser Extremphase jeweils stark reduziert ist. Die unter solchen Bedingungen zu erwartende selektiv-lineare Erosion im polythermalen Eisrandbereich macht die Entstehung völlig neuer Wege der Tiefenerosion (d.h. ausserhalb der heutigen Täler mit grosser Quartärmächtigkeit) im Weinland wenig wahrscheinlich“. Trotzdem bestünden noch grosse „Unsicherheiten bezüglich subglazialer Grundwasserzirkulation im Randbereich polythermalen Vorlandgletscher mit sub- und periglazialen Permafrost und „linear konzentrierter subglazialer Schmelzwassererosion (klammartige Rinnen)“.

## 5 Wertung Kenntnisstand nach Regionen

Gemäss NTB 08-03 sind nur in Teilbereichen der Standortgebiete "Nördlich Lägern" und "Zürcher Weinland" glazial übertiefte Rinnen vorhanden (Ausläufer des glazial übertiefen Glatttals bzw. abzweigende Rinne des übertiefen Thurtals); dieser Sachverhalt ist aufgrund aller geologischen Kenntnisse im gesamten nordschweizerischen Bearbeitungsgebiet plausibel, weshalb diese zwei Areale genauer überprüft wurden (vgl. Kap. 5.4). In den übrigen Arealen, wo z.T. nur unvollständige Datensätze für eine unabhängige Prüfung zur Verfügung stehen, wird nachstehend "nur" eine Plausibilitätsprüfung aufgrund des regionalen Wissens gemacht (geologische Karten, hydrogeologische Untersuchungen, weitere Felsisohypsendarstellungen etc.). Die für die Verschnittprozesse im GIS benutzten Daten bezüglich der Lage der Felsoberfläche beruhen auf dem NAB 07-12 mit Anpassungen im Reusstal bei Bremgarten im NIB 08-11 (Fig. 2-2). Gemäss dem in NAB 07-12 (S. 19) dargelegten Vorgehen beim Erstellen der digitalen Höhenmodelle werden die Rinnenachse und die Isolinien des Felsmodells basierend auf den vorhandenen Daten vom interpretierenden Geologen vorgegeben. Speziell in Gebieten mit wenig Bohrungen besteht hier Interpretationsspielraum, wodurch zwischen von verschiedenen Bearbeitern erstellten Modellen grössere Differenzen im Rinnenverlauf (laterale Ausdehnung und Tiefe) entstehen können, die im Grunde auch vom aktuellen Prozessverständnis der regionalen Glazialgeschichte der Bearbeiter abhängig sind.

### 5.1 Rhone- / Aare-System

Das Aaretal unterhalb von Wangen an der Aare bis zur Mündung in den Rhein steht genetisch – zumindest etwa bis Aarau - mit den eiszeitlichen Vorgängen im System Rhone-Aare-Gletscher im Zusammenhang. Dazu gehören auch die Seitentäler der Wigger, Suhre und Wyna. Weiter talabwärts spielt vermehrt das Reussgletscher-System und letztlich auch das Linthgletscher-System genetisch eine Rolle. Der Abschnitt des Aaretals von Wildeggen bis zur Rheinmündung wird deshalb in 5.2. besprochen.

Für das Aaretal zwischen Wangen an der Aare und Aarau (bzw. Wildeggen) sind zur Zeit Felsisohypsenkarten für zwei Blätter des Geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000 in Arbeit (GRAF & WILLENBERG 2008, 2009). Diese wurden unter anderem mit Berücksichtigung der aktuellen Isohypsendaten der Nagra erstellt. Dabei wurde festgestellt, dass es kaum wesentliche Abweichungen gibt, welche für die Standortwahl von Bedeutung sein könnten. Abweichungen von mehr als 20 m kommen praktisch nur in Bereichen vor, wo wegen geringer Datendichte relativ grosser Interpretationsspielraum besteht.

Allerdings sind hinsichtlich der lateralen Ausdehnung der glazial übertiefen Rinne im Gebiet zwischen Aarau und Wildeggen grössere Abweichungen festzustellen, welche gegenüber den Nagradaten auf neueren Bohrdaten beruhen (v.a. Gebiete Hunzenschwil und Aarau-Ost). Diese betreffen aber die beiden Standortgebiete Bözberg und Jura-Südfuss nicht.

Hinsichtlich des Potenzials für zukünftige glaziale Tiefenerosion ist das Vorkommen von kleinen übertiefen Bereichen im Aaretal talaufwärts von Aarburg zu erwähnen (Boningen-Rothrist-Aarburg, Wolfwil). Es handelt sich um kleine Felsdepressionen, welche eine Füllung aus Moräne und Seeablagerungen aufweisen (GRAF & WILLENBERG im Druck). Diese weisen darauf hin, dass unter gewissen Bedingungen eine bedeutendere glaziale Tiefenerosion in diesem Talabschnitt nicht auszuschliessen ist, insbesondere dort, wo Molassegesteine den Felsuntergrund bilden.

## 5.2 Reuss-System

Das Gebiet des Reuss-Gletschersystems umfasst neben dem eigentlichen Reusstal auch die Nebentäler Seetal und Bünzthal. Das Reuss-System hatte ausserdem einen wesentlichen genetischen Einfluss auf das Aaretal unterhalb von Wildeggen, insbesondere im Bereich des heutigen Zusammenflusses von Aare, Reuss und Limmat.

Für dieses Gebiet liegen Felsisohypsenkarten vor für die Blätter Baden und Zurzach des Geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000 (GRAF 2007, MATOUSEK et al. 2000), in welchen alle älteren vergleichbaren Karten verarbeitet wurden. Die Angaben von Blatt Zurzach wurden auch von der Nagra berücksichtigt. Eine weitere Isohypsenkarte wurde für ein Interreg-Projekt erstellt („Grundwasserleiter Hochrhein“, INTERREG II 2001) und umfasst den Mündungsbereich der Aare in den Rhein, sowie das Rheintal zwischen Schaffhausen und Basel (vgl. Kap. 5.4).

Das Reuss-System tangiert lediglich das Standortgebiet Bözberg. Die Felsisohypsen der Nagra im Reuss-System weichen kaum einmal mehr als 20 m von unseren Grundlagen ab. Wo dies der Fall ist, beruhen die Abweichungen auf einer geringen Datendichte, was einen relativ grossen Interpretationsspielraum zulässt. Insgesamt sind keine Abweichungen festzustellen, welche für das Standortgebiet Bözberg relevant wären.

## 5.3 Linth-System

Das Einzugsgebiet des Linthgletschers ist im Rahmen des SGT relevant zwischen Zürich und der Mündung der Limmat in die Aare. In diesem Talabschnitt existieren diverse Karten mit Darstellungen der Felsoberfläche. Die Felsoberfläche im Bereich von Atlasblatt Baden wurde wie erwähnt neuesten Datums kompiliert und zeigt nur geringe Abweichungen gegenüber der Karte gemäss NAB 07-12. Weiter talaufwärts gegen Zürich (im Rahmen der Erläuterungen für das geologische Atlasblatt Zürich ist durch FREIMOSER & SCHINDLER 2009 eine Felsoberflächenkarte erstellt worden, die uns vorliegt) ergeben sich grössere Differenzen einerseits in den absoluten Tiefenlagen wie auch in der Darstellung der Rinnenachse und von Zwischenschwellenzonen. So wird z.B. im NAB 07-12 im unteren Zürichseebecken eine Felskote um 200 müM. postuliert, während sie in FREIMOSER & SCHINDLER 2009 bei 125 müM. angegeben wird. Die Datengrundlagen sind in diesen Tiefenbereichen jedoch klein; klar ist, dass das gesamte Limmattal vom Zürichsee bis in die Gegend von Würenlos "übertieft" ist. Ungefähr bis in diesen Bereich reicht bei Otelfingen auch die deutliche Übertiefung des Furttals. Das Linth-System tangiert keines der vorgeschlagenen Standortgebiete.

## 5.4 Rhein-Thur-System

Im Rhein-Thurgebiet, also im nördlichen Teil des Kantons Zürich und in den Kantonen Thurgau und Schaffhausen bestanden schon vor der digitalen Zusammenstellung und Auswertung im NAB 07-12 gebietsweise sehr detaillierte Isohypsenkarten der Felsoberfläche (insbesondere NIB 93-95, der im NAB 07-12 nicht zitiert wird). Die Karten decken die beiden bezüglich glazialer Tiefenerosion potenziell kritischen Standortgebiete "Nördlich Lägern" und "Zürcher Weinland" (vgl. Fig. 1) vollumfänglich ab. Ein Vergleich dieser älteren, durch die Dr. von Moos AG mehrfach aktualisierten Isohypsenkarten mit jenen im NAB 07-12 resp. den uns digital zur Verfügung gestellten Felsoberflächenkoten der Nagra zeigt hinsichtlich der generellen Rinnenverläufe und -tiefen keine wesentlichen Differenzen.

**Zürcher Weinland**

Im Gebiet Thalheim an der Thur – Gütighausen östlich Andelfingen wurde in DR. VON MOOS AG 2005 (Bericht Nr. 7609) aufgrund von Überlegungen zur Entstehungsgeschichte eine Schwellenzone um Kote 225 müM. postuliert, während im NAB 07-12 eine durchgehende Rinne im Thurtal von Weinfeldern bis nach Flaach angenommen wird. Die tiefste Bohrung bei Dätwil erreichte den Fels bis Kote 75 müM. nicht (Koordinate ca. 695'450/272'700). Da klar ist, dass die Entstehung des Thurtals auf mehrere Vergletscherungen zurückgeht, scheint uns die Annahme von mehreren Teilbecken mit unterschiedlicher Übertiefung wahrscheinlicher (vgl. GRAF im Druck). Beide Hypothesen sind hier aber nicht durch Bohrungen belegbar und es bleibt gemäss heutigem Kenntnisstand genug Platz für eine oder mehrere (?), schmale Rinnen mit oder ohne zwischenliegenden Schwellenzonen. Die nördlichen und südlichen Begrenzungen (= Talflanken) werden aber kaum wesentlich, d.h. um mehr als ca. 200 bis 400 m in der Horizontalen, vom heute bekannten Verlauf abweichen.

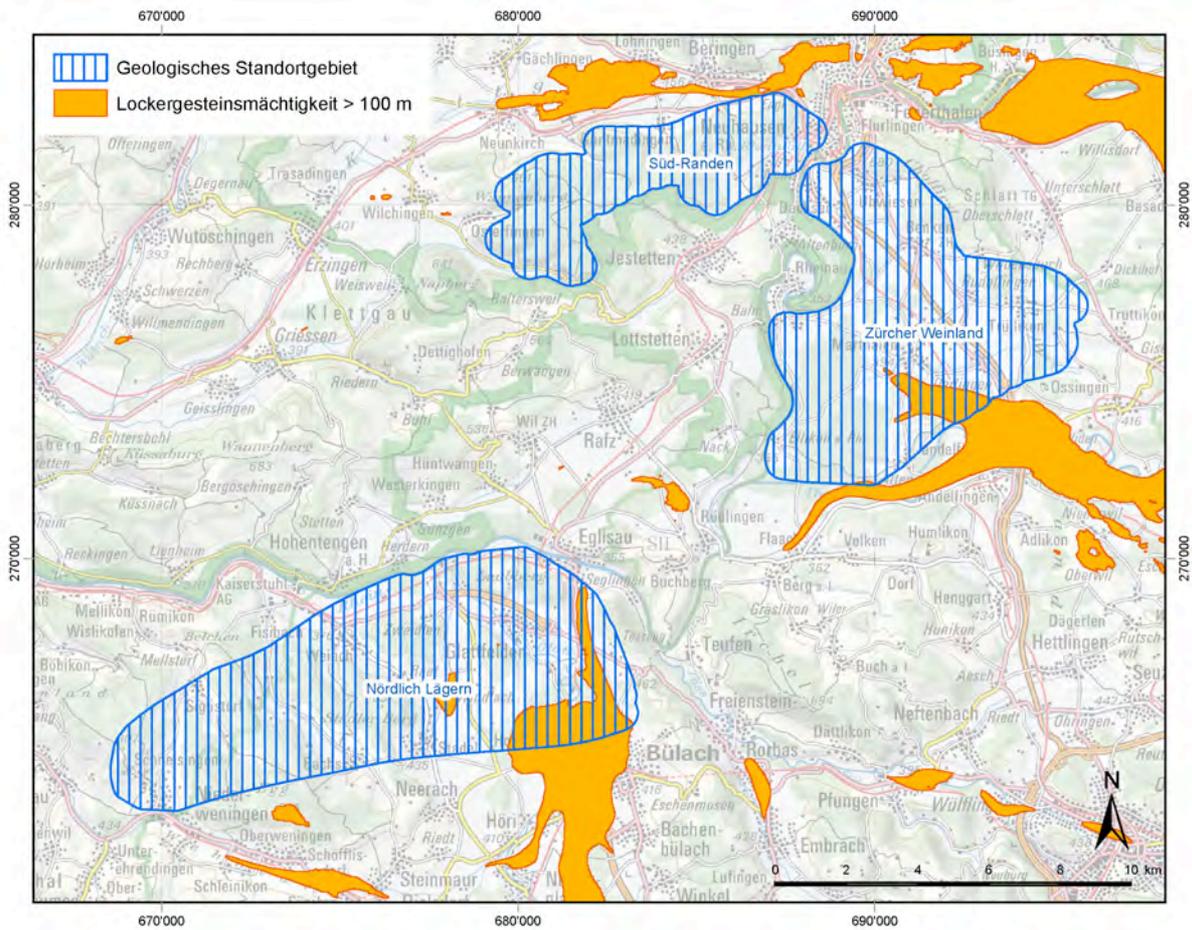


Fig. 1: Gebiete mit Quartärmächtigkeiten über 100 m in den drei nordostschweizerischen Standortgebieten.

Die übertiefte Rinne von Andelfingen Richtung Nordwesten gegen Marthalen hin – welche für das Standortgebiet "Zürcher Weinland" von Bedeutung ist – ist durch mehrere Bohrungen relativ gut belegt; die tiefste nachgewiesene Felsoberflächenlage liegt bei 239 müM. (Koordinate ca. 691'400/274'400); rund 700 m östlich davon wurde der Fels in der Nagra-Aufzeitbohrung AZ 97-16 bis Kote 226 müM. nicht erreicht. Die Rinne endet gegen Nordwesten in der Plateauzone im Rheinauerfeld, wo sehr viele Bohrungen konstant eine Felsoberfläche um Kote 330 bis 340 müM. anzeigen. Gleichzeitig ist dieser Rinnenast aber auch ein Hinweis auf die

mehrphasige Entstehung der glazialen Übertiefung des Thurtals, da die Füllungen der Rinnen unterschiedlich ausgebildet sind.

Ob eine weitere, durchgehende Rinne mit Koten wahrscheinlich wenig unter rund 330 müM. in Richtung der Nagra-Tiefbohrung Benken (Feloberfläche bei 336 müM.) existiert, kann heute nicht beantwortet werden. Eine Übertiefung auf Koten deutlich unter rund 300 müM. erscheint aber sehr unwahrscheinlich, da am Rhein südlich Uhwiesen der Fels bis etwa Kote 370 müM. aufgeschlossen ist.

### **Nördlich Lägern (Ostteil)**

Im Gebiet Windlach nördlich Stadel sowie zwischen Hochfelden – Bülach und Eglisau sind deutlich übertiefte Rinnen vorhanden (vgl. NIB 93-95).

In **Windlach** liegt die tiefste Felsoberflächenlage gemäss NAB 07-12 bei Kote 300 müM., während im NIB 93-95 die grösste Übertiefung ca. 1 km nördlich gemäss Bohrbefunden bei 325 müM. angegeben wird. Eine Sattelzone um Kote 350 müM., wie sie im NAB 07-12 1.5 km nördlich Windlach verzeichnet wird, existiert kaum; eine Bohrung gibt dort Kote 337 müM. an, womit gemäss dem Konzept der fluviatilen Erosionsbasis hier keine Übertiefung vorläge (vgl. Fig. 3).

Die bedeutende Übertiefung im Raum **Hochfelden – Bülach** wird in den zwei erwähnten Berichten etwas unterschiedlich dargestellt; an der generellen Tiefenlage von maximal rund 170 m unter heutigem Terrain an der Glatt bei Hochfelden ändert sich aber nichts. Die tiefste nachgewiesene Felsoberflächenlage liegt bei 216 müM. (Koordinate ca. 682'100/264'050). Weiter nördlich Bülach ist bei ca. Koordinate 682'150/266'775 eine Felskote von 250 müM. erbohrt worden. Insgesamt gibt es bis heute unseres Wissens in diesem Bereich nur 5 Bohrungen, die den Fels unterhalb einer Kote von 270 müM. erschlossen haben.

Das Auslaufen der **Glattal-Rinne gegen Eglisau** wird im NIB 93-95 ungefähr auf einer Kote von 325 müM. fluviatil zur Rheinrinne des Rafzerfeldes dargestellt, was aufgrund der Vorflutverhältnisse möglich ist (vgl. dazu auch Fig. 3). Im NAB 07-12 wird eine Schwelle bei Kote 350 müM. angenommen. Neuere Erdsondenbohrungen bei Seglingen lassen nach wie vor beide Möglichkeiten zu.

Ergänzend wurden auch die Felsisohypsen im Rheintal unterhalb von Eglisau untersucht, vor allem anhand der Felsisohypsen, welche für das Interreg II-Projekt „Grundwasserleiter Hochrhein“ ermittelt wurden (INTERREG II 2001). Es haben sich praktisch keine Abweichungen zu den Nagra-Daten ergeben, welche grösser sind als 20 m. Solche kommen lediglich dort vor, wo wegen geringer Datendichte ein relativ grosser Interpretationsspielraum vorliegt.

Glattal aufwärts ist eine deutliche Übertiefung bis in den Raum nordöstlich von Uster nachgewiesen. Die tiefsten Felsoberflächenlagen werden im Gebiet des Flughafens Zürich-Kloten um Kote 225 müM. angenommen; bei Brüttisellen könnten sogar 200 müM. erreicht werden.

## 6 Kommentare zu den konsultierten Berichten

Das vorliegende Kapitel fasst die nach dem Studium der Berichte NTB 08-03, NTB 08-04, NTB 08-05, NAB 07-12 sowie NTB 99-08 entstandenen Fragen ("Wie wurde "Glaziale Tiefenerosion" bei der Standortauswahl berücksichtigt?"). resp. gewünschten Ergänzungen und Klärungen zusammen. Generell bleibt vorgängig anzumerken, dass es u.E. in der Etappe 1 vor allem darum geht, allfällige Konflikte des Sicherheitskonzepts der Nagra mit den heutigen Kenntnissen bezüglich der Quartärverhältnisse frühzeitig zu erkennen resp. die Randbedingungen zielführend genau zu definieren.

Aus unserer Sicht bedürfen in den späteren Etappen folgende Hauptpunkte einer Präzisierung resp. vertiefter Abklärungen:

Im Bericht „Geologische Grundlagen“ (NTB 08-04) wie auch den Berichten NTB 08-03 („Eingangsbericht“) und NTB 08-05 („Bericht zur Sicherheit und Begründung der Anforderungen an die Geologie“) sind die Anforderungen an den Indikator „**Tiefenlage unter Oberfläche Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion**“ mit vertikalen Distanzen (Abstand zu Oberkante Terrain bzw. Oberkante Fels) definiert worden. Für SMA-Lager werden als Mindestanforderung (MA) vertikale Abstände von 200 m, für HAA-Lager 400 m angegeben (im Bereich von übertieften Felsrinnen<sup>1</sup> unter Fels, übrige Gebiete unter Terrain); als verschärfte Anforderung (VA) wird der entsprechende Abstand generell unter Oberkante Fels verlangt und im Bereich von übertieften Felsrinnen werden zusätzliche 100 m gefordert. Auch bei der Beurteilungsskala (BS) wird der vertikale Abstand Oberkante Fels - Wirtgestein beurteilt. In die Bewertung fliesst auch mit ein, ob ein Gebiet inner- oder ausserhalb der morphologischen Haupttäler liegt, wobei die Haupttäler u.E. nicht präzis definiert sind. Die Zahlen werden von den Beträgen für die flächenhafte Erosion hergeleitet (vgl. NTB 08-05, Anhang A1), es sollte jedoch klarer begründet werden, weshalb gerade die "betragsmässige Umlegung" des 200 m- (SMA) resp. 400 m-Kriteriums (HAA) als Abstand von der Terrainoberfläche nun im Bereich von übertieften Rinnen als Abstand von der Felsoberfläche der Thematik gerecht wird.

In den von uns geprüften Dokumenten der Nagra zum Sachplanverfahren der Etappe 1 finden sich keine Angaben zu den Mechanismen glazialer Tiefenerosion, welche als Herleitung für die Festlegung der Mindestanforderung bzw. der verschärfte Anforderungen für den Indikator „Tiefenlage unter Felsoberfläche im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion“ verwendet werden können. Die Begründung der quantitativen Werte ist vor dem Hintergrund des Prozessverständnisses nicht im Detail belegt. Im Gutachten der HSK zum Entsorgungsnachweis der Nagra (HSK 2005, S. 68) wird verlangt, dass seitens Nagra die Entwicklung der Kenntnisse zur glazialen Tiefenerosion verfolgt werden soll, da z.B. für das mögliche Endlagergebiet Zürcher Weinland im Bericht MBN (2005) die glaziale Tiefenerosion als das geologische Langzeit-Hauptrisiko bezeichnet wird. Die entsprechenden Arbeiten sollten gefördert werden; erste Resultate sind dem NAB09-06 zu entnehmen und in naher Zukunft aus den Forschungsprojekten "Bohrung Wehntal" und "Datierung von quartären Ablagerungen in der Nordschweiz" (Nationalfondprojekt) zu erwarten.

Da die **übertieften Felsrinnen** in den Nagra - Berichten rein als Gebiete mit **Quartärmächtigkeiten grösser 100 m** definiert sind, ergeben sich u.E. hinsichtlich der Fragestellung „falsche Fährten“ resp. es könnten Gebiete unnötigerweise ausgeschlossen werden wie z. B. im Reusstal zwischen Muri und Bremgarten (vgl. Fig. 2 und 4). Die an mehreren Stellen genannte Definition „*Als übertiefte Felsrinnen werden aus praktischen Gründen **Rinnen** mit einer Quartärmächtigkeit von mindestens 100 m definiert*“ steht im Widerspruch zu den Darstellungen (z.B. wird in Fig. 5.1-2 in NTB 08-03 die Quartärmächtigkeit = übertiefte Felsrinne gesetzt, die

---

<sup>1</sup> Definiert als Gebiete mit > 100m Quartärmächtigkeit

inhaltlich identische Beilage 5.2-28 in NTB 08-04 ist aber korrekt nur mit „Quartärmächtigkeit“ betitelt). So sind z.B. Gebiete zwischen Bremgarten und Muri AG, zwischen Volketswil und Uster oder südöstlich Andelfingen hervorgehoben; sie liegen aber ausserhalb eigentlicher Rinnen im Sinne der Sicherheitsüberlegungen.

Aus den Texten in den konsultierten Berichten der Nagra geht u.E. zudem nicht klar hervor, wie die Bearbeitung im GIS nun effektiv vorgenommen wurde, d.h., wurde der Indikator nur in Rinnen angewandt oder überall dort, wo die Quartärmächtigkeit mehr als 100 m beträgt (also z.B. auch im Bereich des Hügels, der bezogen auf die fluviatile Erosionsbasis resp. die heutige Talchse ein "positives Quartärrelief" aufweist, links auf Fig. 2). Die Überprüfung der GIS-Arbeiten der Nagra (vgl. DR. VON MOOS AG 2009) zeigt, dass für die Festlegung einer gemäss Definition ausreichenden Felsüberdeckung (200 m resp. 400 m vertikaler Abstand) wohl aus "praktischen" Gründen rein auf eine Quartärmächtigkeit grösser als 100 m abgestellt wurde. Damit sind zwar auch Gebiete ausserhalb von effektiven Rinnen betroffen, was aus den oben erwähnten Gründen aber als generell konservativer Ansatz zu beurteilen ist.

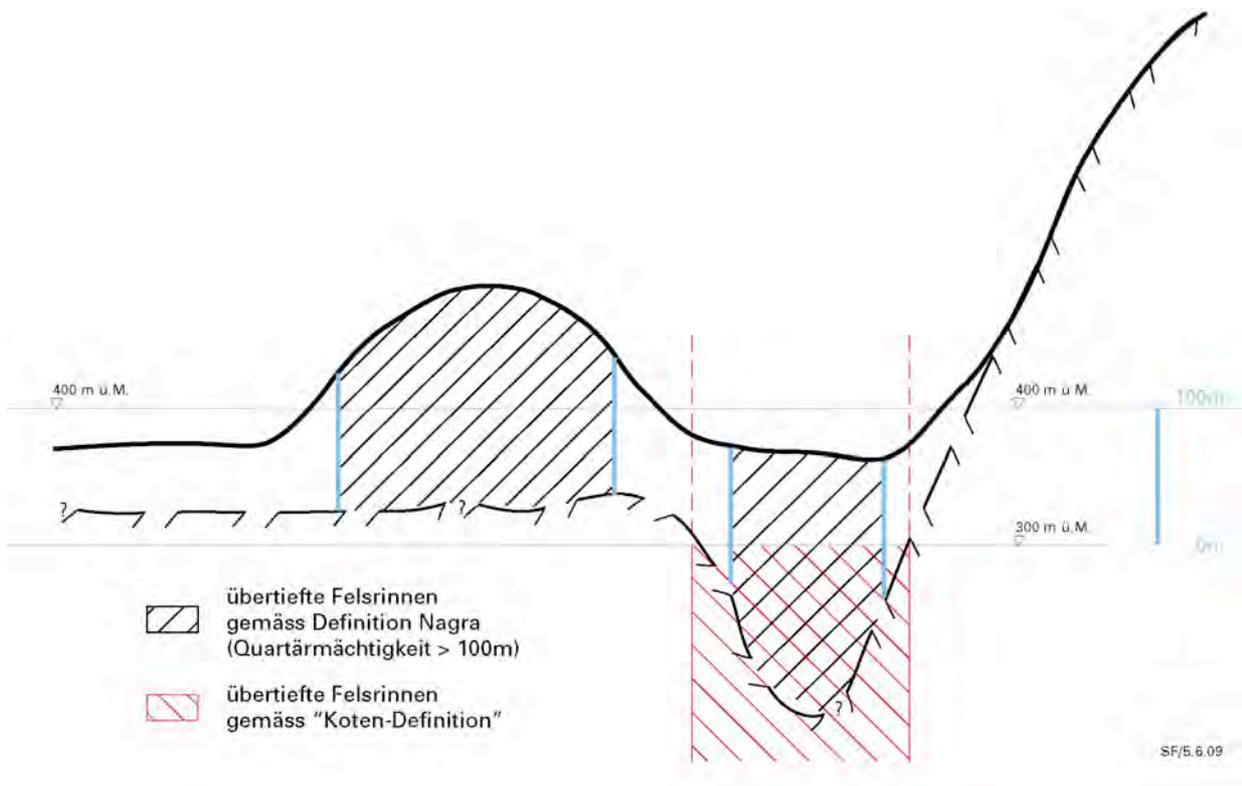


Fig. 2: Überhöhtes Schemaprofil zu Definitionsmöglichkeiten „übertieftes Felsrinne“.

Aus all diesen Gründen wäre u.E. eine Darstellung basierend auf den effektiven, fluviatilen Felskoten hilfreicher. Beispielsweise könnte vereinfachend eine schiefe Ebene definiert werden, die ausgehend von der Felsoberfläche am Rhein bei Laufenburg um Kote 280 mü.M., der fluviatil geprägten ursprünglichen Felssohle des Rheins am Eingang des Klettgaus bei Kote 330 mü.M. (entsprechend einer Quartärmächtigkeit am Rhein bei Schaffhausen von rund 60 m) und einer wahrscheinlichen, fluviatilen Felskote von ebenfalls 330 mü.M. bei Zürich (entsprechend einer Quartärmächtigkeit im Talgrund von rund 75 m) aufgespannt wird (vgl. Fig. 3). Mit diesem Ansatz ergibt sich ein lineares Pauschalgefälle von rund 1.3‰, was ungefähr dem heutigen Gefälle der Mittellandflüsse (z.B. Reuss zwischen Lorzermündung und Mellingen oder Limmat zwischen Zürich und Baden) entspricht. Mit diesem Konzept läge die Bezugskote im Raum Brugg (Zusammenfluss von Aare, Reuss und Limmat) bei Kote 295 mü.M.; das Terrain liegt heute bei ca. Kote 330 mü.M., womit sich hier gemäss dieser Definition eine Über-

tiefung ab einer Quartärmächtigkeit im Talgrund von 35 m ergäbe. Der Ansatz der schiefen Ebene scheint uns auf einfache Weise der Fragestellung und der GIS-basierten Auswertung am besten gerecht zu werden.

Für den Raum Benken – Marthalen im Standortgebiet "Zürcher Weinland" ergäbe sich so eine Übertiefung ab einer Kote von 335 müM., was dort einer Quartärmächtigkeit von etwa 70 m entspricht; bei der Thurmündung in den Rhein wäre das Kriterium "übertieft" z.B. bereits bei einer Quartärmächtigkeit von rund 15 m erfüllt.

Für den Ostteil des Standortgebietes "Nördlich Lägern" läge die entsprechende Höhe bei 325 müM., was ab heutigem Terrain im Talgrund an der Glatt eine für die Fragestellung relevante Quartärmächtigkeit von ca. 60 m ergibt.

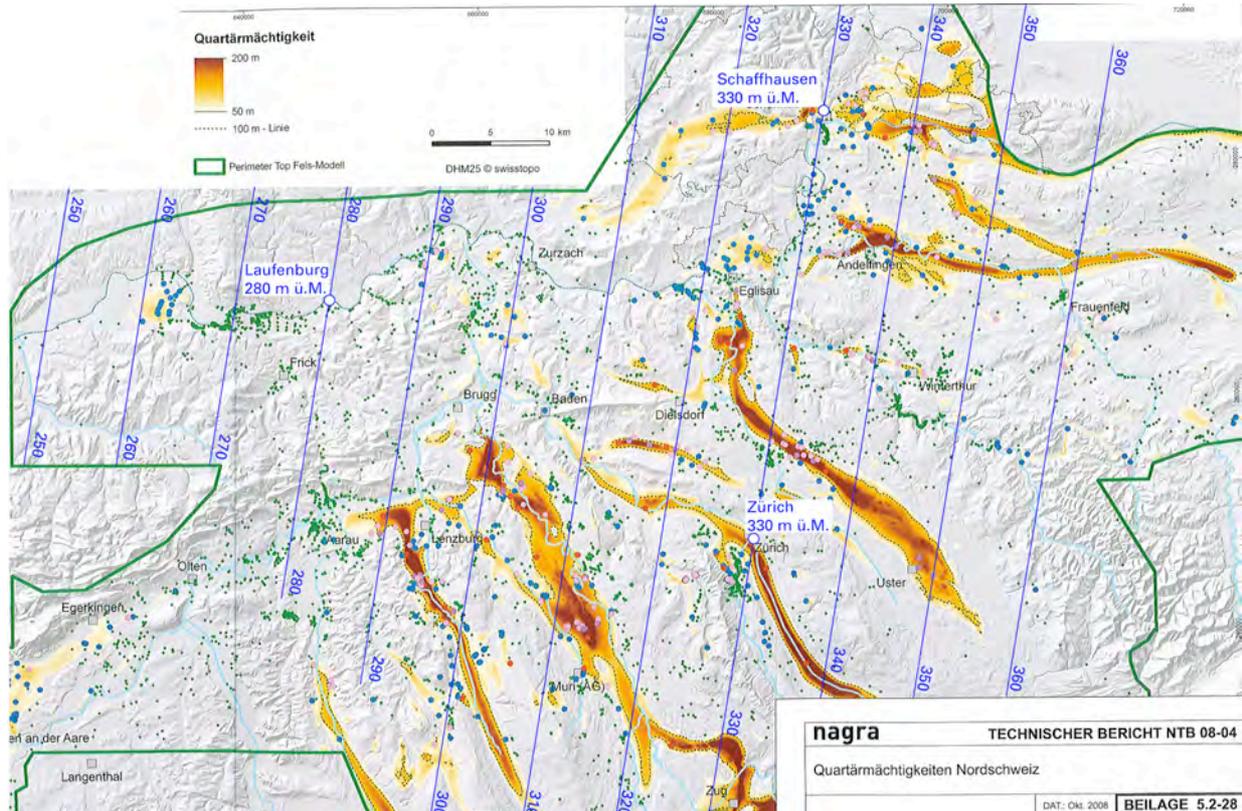


Fig. 3: Vorschlag Bezugskote „übertieft Felsrinnen“ gemäss Konzept der fluviatilen Erosionsbasis.

Eine weitere Möglichkeit der Identifikation "übertiefter Felsrinnen", die den effektiven Verhältnissen wahrscheinlich noch näher kommt, bestünde darin, dass durch Expertenbeurteilung festgelegt würde, wie das fluviatile Niveau für jedes einzelne Tal (auch Paläotäler) anzunehmen ist, unter der Berücksichtigung einer paläo-Gefällskurve (vgl. Fig. 4). Dies ist auch für Paläotäler vorzunehmen, die z.T. anhand der heutigen Geländemorphologie nicht erkennbar sind. Im NAB 07-12 wurde für die GIS-mässige Erarbeitung der Felsoberflächenkarte bereits ein Bearbeitungsschritt gemacht, der dafür weiterentwickelt werden könnte. Er legt unter anderem die Talachsen fest, welche nichts anderes darstellen als Rinnenbasen mit einem bestimmten Gefälle. Dieses Vorgehen wäre jedoch viel aufwändiger und würde auch einen etwas schwierigeren Ansatz für die GIS-mässige Analyse der Felsmorphologie bedeuten.

Als einfachster Ansatz könnte auch eine einheitliche Bezugskote von z.B. 325 mü.M. verwendet werden. Alle Areale mit tiefer liegender Felsoberfläche würden als übertiefte Rinnen dargestellt und könnten für die Verschnittprozesse verwendet werden. Dadurch würden im heutigen Rheinsystem gegen Westen (Basel) aber zunehmend Bereiche als "übertieft" dargestellt werden, obwohl sie wahrscheinlich rein fluvial entstanden sind.

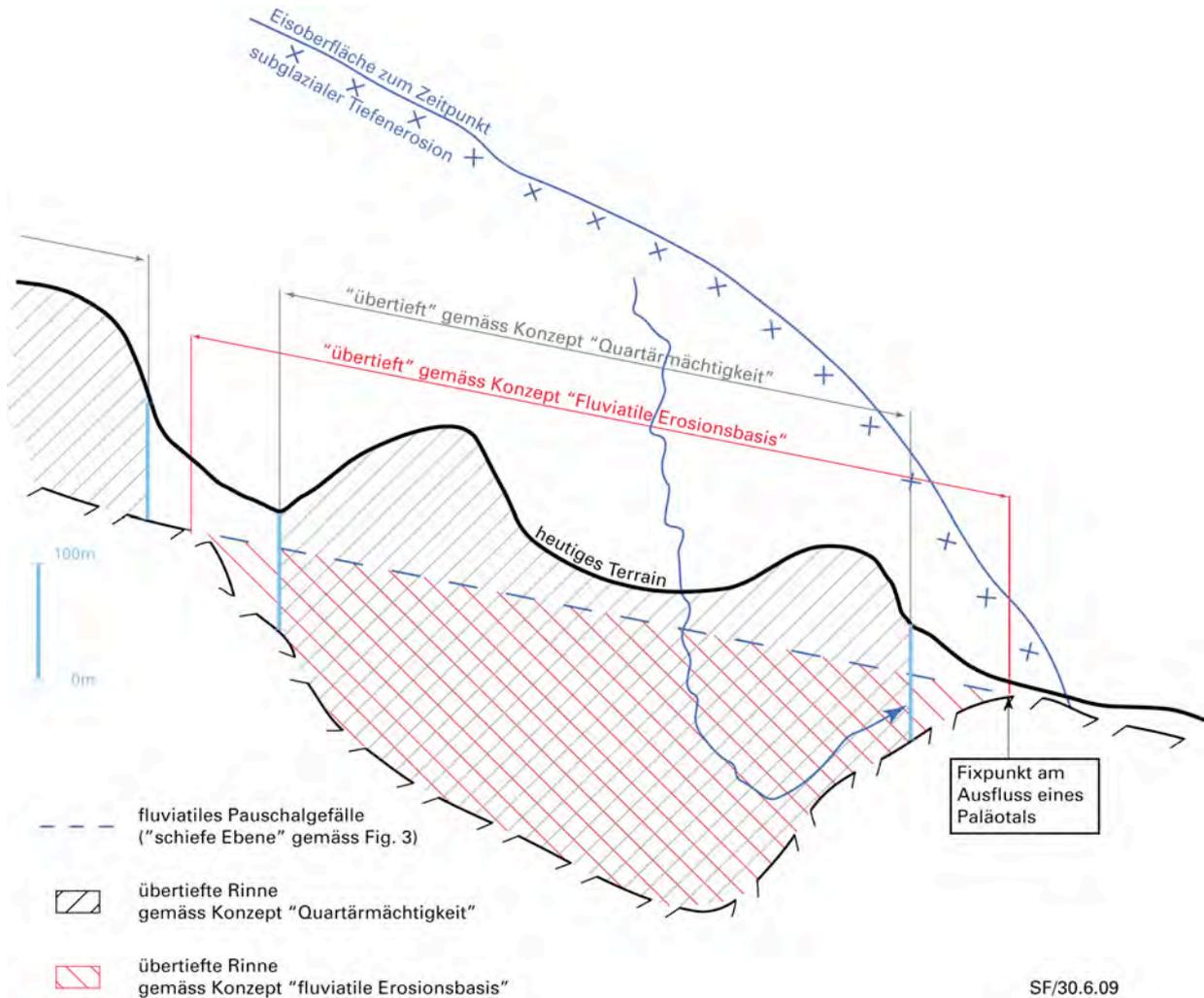


Fig. 4: Schematisches, überhöhtes Längsprofil zur Illustration des Konzepts "fluviale Erosionsbasis" und des hydraulischen Potentials der subglazialen Schmelzwasser-Erosion.

Ein **Zuschlag von 100 m (VA)** im Bereich von übertieften Felsrinnen wird einerseits durch die leichtere Erodierbarkeit der quartären Sedimente und andererseits mit der schmalen Datenbasis in solchen Gebieten begründet, was prinzipiell nachvollziehbar ist. Allerdings ist es fraglich, ob nicht der Beschaffenheit des lokalen Felsuntergrundes Rechnung getragen werden müsste. In den relativ weichen Molassegesteinen scheint dieser Ansatz gerechtfertigt resp. auf der sicheren Seite; für Malmkalke kann aber von einer höheren Erosionsresistenz ausgegangen werden (vgl. dazu NTB 99-08, Fig. 5.7, S. 191 sowie S. 194), womit relativ gesehen der Sicherheitszuschlag im Tafeljurabereich zu gross angesetzt ist.

Aus den Texten und Fussnoten der Figuren etc. ist **keine klare Definition** ableitbar bezüglich der **Begriffe** „übertieft Felsrinne“ resp. „Haupttäler“ (vgl. dazu auch Fig. 2). Es ist zudem nicht klar, ob die beiden Begriffe synonym verwendet werden oder nicht. Sie spielen jedoch eine wichtige Rolle in der Anwendung der MA und VA. So wird zum Beispiel die Bewertung der glazialen Tiefenerosion für die Attributtierung „sehr günstig“ abhängig gemacht davon, ob

der Gebirgsbereich ausserhalb der Haupttäler liegt oder nicht (vgl. NTB 08-05, Kap. A1.4, Seite A1-17). Auch aus dieser Sicht kommt der klaren Abgrenzung der übertieften Felsrinnen resp. der Haupttäler eine grosse Bedeutung zu. Die entsprechende Problematik ist in Fig. 5 schematisch aufgezeigt. (Definitionen auch gültig für „Querprofil-Überlegungen“, seitliche Abstände des Lagers zur Felsoberfläche etc.). Mit dem Konzept der Felskoten („schiefe Ebene“) könnte auch hier mehr Klarheit geschaffen werden.

Im NTB 08-05 (Anhang 1-19) werden im letzten Abschnitt zwar „Haupttäler (z.B. Rhein, Aare, Thur, Glatt)“ aufgeführt; eine klare, zielführende Definition für den Begriff „Haupttäler“ kann daraus u.E. nicht abgeleitet werden, zumal die Aufzählung ausgehend von der heutigen Morphologie nicht abschliessend ist.

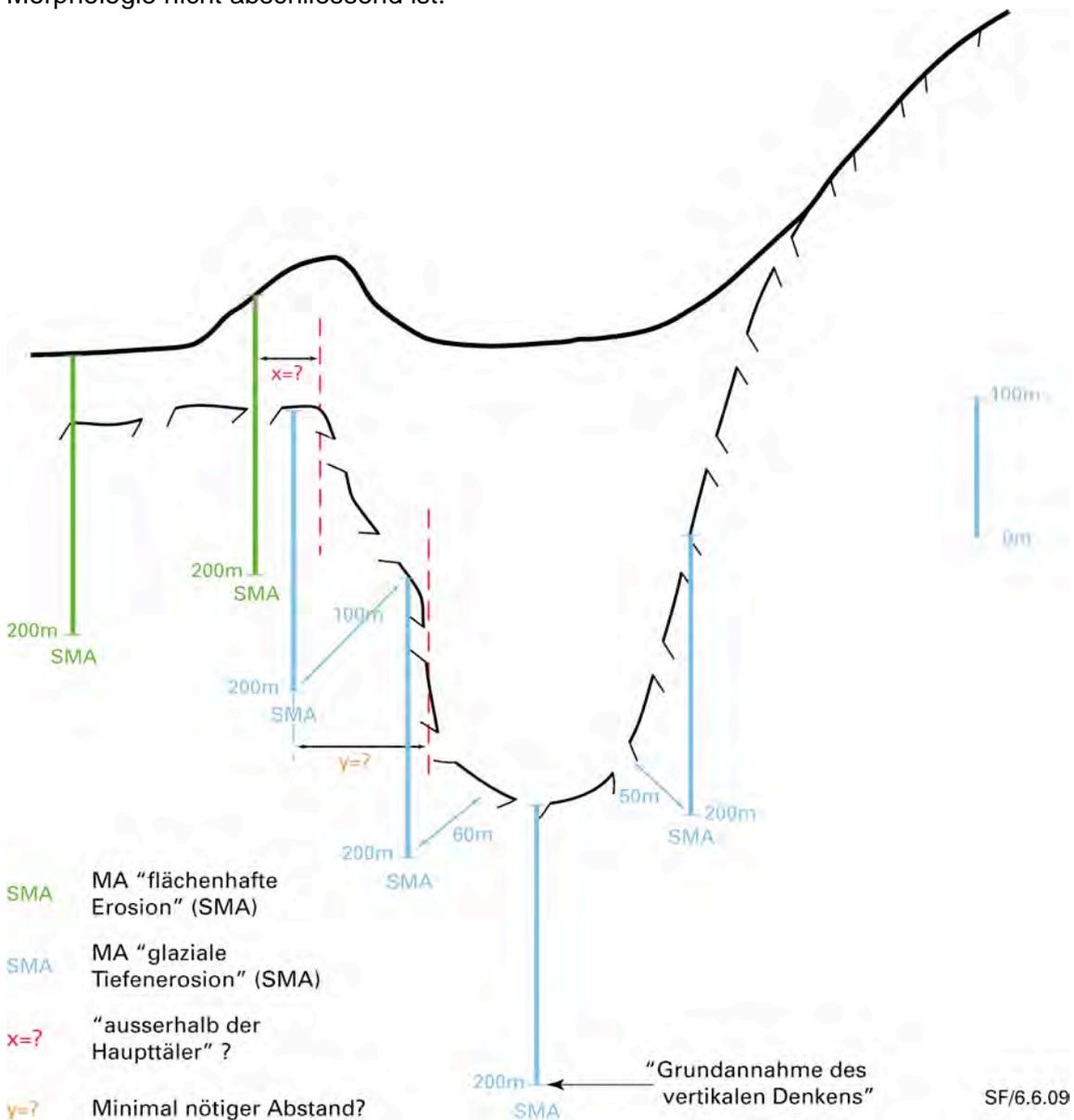


Fig. 5: Illustration Konzept genügende Felsüberdeckung und seitliche Abstände bei übertieften Felsrinnen im Querprofil eines "Haupttales" (Beispiel: Werte für SMA, Mindestanforderungen MA).

Die **Problematik steiler Fels-Flanken** im Bereich übertiefter Täler wird u.E. mit dem rein vertikal gedachten Konzept der Mindestanforderung (MA) 200 m für SMA-Lager resp. 400 m für HAA-Lager resp. den verschärften Anforderungen (VA) von 300 m für SMA-Lager resp. 500 m für HAA-Lager nicht gebührend berücksichtigt. Der rein vertikale Ansatz kann im Bereich steiler Felsflanken dazu führen, dass im Sinne des Grundkonzepts „einer genügenden Felsüberdeckung“ eine zu geringe Sicherheit besteht (vgl. Fig. 5). Obwohl die „*mögliche zukünftige Form der glazial übertieften Felsrinnen*“ (NTB 8-03, Kap. 2.5.4, S.50, Fussnote 47) erst bei der Standortuntersuchung abgeklärt werden soll, könnten steile Flankenbereiche von Felsrinnen (z.B. Thurtal bei Andelfingen) im weiteren Einengungsprozess zu spät für die Beurteilung relevant werden. In Etappe 2 sollte diesem Problemkreis Rechnung getragen werden.

## 7 Bewertung des Untersuchungsstandes für Etappe 1

Das Vorgehen der NAGRA zur GIS-basierten Erfassung des Problemkreises "Glaziale Tiefenerosion" und zur Definition der Indikatoren ist nachvollziehbar und zweckmässig. Für die nächsten Etappen sind jedoch noch einige Präzisierungen (u.a. Definition Begriff "Haupttäler") notwendig, die aber nicht zu einer grundlegenden Änderung resp. Infragestellung des methodischen Vorgehens führen. Die heutigen Datengrundlagen sind u.E. insgesamt korrekt erfasst und ausgewertet worden sowie für Etappe 1 genügend.

Die vorliegenden Abgrenzungen der übertieften Rinnen resp. die Behandlung des Indikators "Glaziale Tiefenerosion" scheint den Bearbeitern hinsichtlich der Sicherheitsüberlegungen insgesamt stufengerecht und genügend robust, um in den nächsten Phasen flexibel und weiterhin sachgerecht vorgehen zu können. So ist in den von glazialer Tiefenerosion potenziell am stärksten betroffenen Gebieten "Nördlich Lägern" und "Zürcher Weinland" aller Voraussicht nach aus horizontalem wie vertikalem Blickwinkel genügend Raum für die Platzierung eines Lagers vorhanden, da die potenziellen Wirtgesteine tief liegen resp. Problemgebieten seitlich ausgewichen werden kann. Die Entstehung wesentlicher Übertiefungen ausserhalb der heutigen Rinnen ist im nördlichen Teil des Standortgebiets "Zürcher Weinland" aus geologischen (heutige Verfüllung der Rinnen, Verlauf der Felshochzone im Osten, räumliche Ausdehnung der Malmkalke) und glaziologischen Überlegungen (mögliche Eisrandlagen und subglaziales Erosionspotenzial) unwahrscheinlich (vgl. Bericht DR. VON MOOS AG 2005 zuhanden der HSK). Im Gebiet "Nördlich Lägern" trifft dies mindestens für den Teilbereich nördlich des Wehntals und westlich ungefähr einer Linie "Neerach – Stadel – Tiefbohrung Weiach" zu, wo im "Schutze" der Lägern der Molassefels (überdeckt von Deckenschottern) durchgehend sehr hoch liegt.

## **8 Untersuchungsansätze zur Verbesserung der Datengrundlagen und des Prozessverständnisses in den Etappen 2 und 3 des SGT**

### **8.1 Verbesserung der Datengrundlage**

- Lithostratigraphische und altersmässige Klärung der verschiedenen Rinnen- und Beckenfüllungen im Gebiet Unteres Thurtal - Seebachtal - Rheintal. (Es liegen Becken und Rinnen verschiedener Generationen vor. Es ist wichtig zu wissen, welche welcher Generation angehören, um das jeweilige glazialdynamische Umfeld zutreffend rekonstruieren zu können.)
- Lithostratigraphische und altersmässige Klärung der Rinnen- und Beckenfüllung im unteren Glattal und im Wehntal (dito oben).
- Lithostratigraphische und altersmässige Klärung der Rinnen- und Beckenfüllung im Aaretal zwischen Aarau und Wildegg.

### **8.2 Vertiefung Prozessverständnis "Glaziale Tiefenerosion"**

- Eingrenzung der maximal möglichen, subglazialen Erosionsleistung insbesondere im unteren Glattal und im Zürcher Weinland (vgl. Fig. 1).
- Genaue Definition der Abgrenzung von Gebieten mit "positivem" Quartärrelief gegenüber den "übertieften Rinnen" (gemäss Fig. 2 und 4 dieses Berichts).
- Vertiefte Bearbeitung des Themenkreises "Klamm-artige Schluchten im externen Vergletscherungsbereich" (Mittelland) auch unterhalb der Bezugskote (vgl. Fig. 3, d.h. unterhalb der übertieften Rinnen): Können solche entstehen resp. hat man solche bis heute irgendwo übersehen resp. nicht erfassen können?
- Genaue Definition der Distanzangaben bezüglich Tiefenlager-Felsüberdeckung (MA und VA) auch in horizontaler Richtung (gemäss Fig. 5 dieses Berichts).
- Evaluierung der Literatur zur Bedeutung der globalen Mittelpleistozänen Umstellung für die Vergletscherung der Alpen und die Tiefenerosion, insbesondere zu Phasenverschiebungen der Milankovic-Zyklen und zur Regolith-Hypothese
- Evaluierung der Literatur zu glaziologischen Auswirkungen von Heinrich-Ereignissen im Nordatlantik auf die alpine Vergletscherung und den global-klimatischen Hintergründen der scheinbar zunehmenden Trockenheit in Kaltzeiten.

### **8.3 Szenarienbetrachtungen**

- Ausarbeitung von standortspezifischen Szenarien für glazigene und/oder fluviatile Erosionsabfolgen mit Einbezug von "Extremereignissen" wie z.B. der Ausbildung völlig neuer Durchbruchstäler durch Felshochzonen und späterer, subglazialer Übertiefung in einer nachfolgenden Eiszeit. Im Zürcher Weinland wäre prinzipiell eine neue Talung im Gebiet Wildensbuch östlich Benken denkbar, nördlich der Lägern wäre eine tiefgreifende Ausräumung des Bachser Tals ein solche Extremüberlegung.

## 9 Literatur

- BARNETT, P.J. (1990): Tunnel valleys: evidence of catastrophic release of subglacial meltwater, central Ontario, Canada – Geol. Soc. Am. Abstr. Programs, **22**: 3.
- BOULTON, G.S. & HINDMARSH, R.C.A. (1987): Sediment deformation beneath glaciers: rheology and geological consequences – J. Geophys. Res., **92**: 9059-9082.
- FRANK, S. & FRIEG, B. (1998): Sondierbohrung Benken: Grundwasserüberwachung – Piezometerbohrungen, Grundwasser- und Oberflächengewässermessprogramm – Nagra Interner Bericht 98-27.
- FREIMOSER, M. & SCHINDLER, C. (2009): Karte der Felsoberfläche 1:25'000, Blatt Zürich – Unpubl. Manuskriptkarte.
- GRAF, H.R. (2007): Isohypsenkarte der plio-pleistozänen Rinnen und Becken im Gebiet von Astlasblatt Baden – In: BITTERLI-DREHER, P., GRAF, H.R., NAEF, H., DIEBOLD, P., MATOUSEK, F., BURGER, H. & PAULI-GABI, T.: Erläuterungen zu Blatt 1070 Baden des geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000, Bundesamt für Landestopografie.
- GRAF, H.R. (im Druck): Mittel- und Spätpleistozän in der Nordschweiz – Beitr. Geol. Schweiz, N.F. 168.
- GRAF, H.R. & WILLENBERG, H. (2008): Karte der glazialen Rinnen und Becken 1:50'000, Blatt Aarau – Unpubl. Manuskriptkarte zuhanden Geologische Landesaufnahme, Swisstopo.
- GRAF, H.R. & WILLENBERG, H. (im Druck): Karte der glazialen Rinnen und Becken 1:50'000, Blatt Murgenthal – Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Erläuterungen Blatt 1108 Murgenthal.
- INTERREG II (2001): Grundwasserleiter Hochrhein, Erkundung der Grundwasserleiter und Böden im Hochrheintal.
- MATOUSEK, F. & GRAF, H. (1998): Trinkwasser und Wärme aus 300 m Tiefe – gwa, **1/98**: 3-9.
- MATOUSEK, F. WANNER, M., BAUMANN, A., GRAF, H.R., NÜESCH, R. & BITTERLI, T. (2000): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1070 Baden - Bundesamt für Wasser und Geologie.
- MÜLLER, E.R. (1996): Die Ittinger Schotter und ihr morphogenetisches Umfeld. - Eclogae geol. Helv., **89/3**: 1077-1092.
- NYE, J.F. (1976): Water flow in glaciers: jökulhlaups, tunnels and veins – J. Glaciol., **17**:181-207.
- PUGIN, A., PULLAN, S.E. & SHARPE, D.R. (1996): Observations of tunnel channels in glacial sediments with shallow land-based seismic reflection – Ann. Glaciology, **22**:176-180.
- RÖTHLISBERGER, H. (1972): Water pressure in intra- and subglacial channels – J. Glaciol., **11**: 177-203.
- SMED, P. (1998): Die Entstehung der dänischen und norddeutschen Rinnentäler (Tunneltäler) - Glaziologische Gesichtspunkte - Eiszeitalter und Gegenwart, **48**:1-18.
- WYSSLING, L. & WYSSLING, G. (1978): Interglaziale Seeablagerungen in einer Bohrung bei Uster (Kanton Zürich). - Eclogae geol. Helv., **71/2**: 357-375.

Zürich, den 4.11.2009

Dr. von Moos AG  
Geotechnisches Büro

Bericht Nr. 8600  
Ri/UJ/Wi

Bearbeitet von: S. Frank (vM) und H.R. Graf (MBN)

ENSI 33/063

**Herausgeber:** Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), CH-5200 Brugg  
Telefon +41(0)56 460 84 00, Telefax +41(0)56 460 84 99

**Zu beziehen bei:** Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), Informationsdienst, Industriestrasse 19, CH-5200 Brugg  
oder per E-Mail [Infodienst@ensi.ch](mailto:Infodienst@ensi.ch)  
Abrufbar unter [www.ensi.ch](http://www.ensi.ch)