



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



Überprüfung des GIS-Verfahrens der Nagra und der verwendeten Datensätze im Standortauswahlverfahren SGT Etappe 1

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

August 2009

8833

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, 5232 Villigen

Sachplan Geologische Tiefenlager (SGT) Etappe 1:

**ÜBERPRÜFUNG DES GIS-VERFAHRENS DER
NAGRA UND DER VERWENDETEN DATENSÄTZE IM
STANDORTAUSWAHLVERFAHREN SGT ETAPPE 1**

Expertenbericht zuhanden des
Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorates ENSI

Zürich, 31. August 2009

Bericht Nr. 8833

Dr. von Moos AG
Geotechnisches Büro



Beratende Geologen und Ingenieure

Bachhofnerstrasse 5

8037 Zürich

T. 044 363 31 53 / F. 044 363 97 44 | www.geovm.ch | info@geovm.ch

Inhaltsverzeichnis

1.	Auftrag	5
2.	Grundlagen	5
3.	Vorgehen der Nagra	7
4.	Überprüfung des GIS-Verfahrens	7
4.1	Datenmodell	7
4.2	Höhenmodelle, Mächtigkeitsmodelle	9
4.3	Fehlerabschätzung	11
5.	Beurteilung der Verschnittprozesse	12
5.1	Vorgehen	12
5.2	Geologische Standortgebiete	14
6.	Bemerkungen zur Verbesserung der Datensätze	16
7.	Zusammenfassende Beurteilung	17

Anhang

A1	Digital erhaltene Datensätze	
----	------------------------------	--

Abbildungen

- 1.1 Übersicht Untersuchungsperimeter
- 4.1 Tektonisches Regime, Übersicht
- 4.2 Tektonisches Regime, Detail Bözberg
- 4.3 Abweichung der Grundlagedaten vom Höhenmodell Basis Opalinuston
- 4.4 Abweichung der Grundlagedaten vom Höhenmodell Basis Malm
- 4.5 Rückrechnung auf Felsoberfläche
- 5.1 Schemazeichnung Mindestanforderungen (MA) und verschärfte Anforderungen (VA) bezügl. der Tiefenlage des Lagers
- 5.2 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter Terrain für Opalinuston, Süd-Randen, SMA
- 5.3 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter OK Fels für Opalinuston, Süd-Randen, SMA
- 5.4 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter Terrain für Opalinuston, Zürcher Weinland, SMA
- 5.5 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter OKFels für Opalinuston, Zürcher Weinland, SMA
- 5.6 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter Terrain für den Braunen Dogger, Zürcher Weinland, SMA
- 5.7 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter OK Fels für den Braunen Dogger, Zürcher Weinland, SMA
- 5.8 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter Terrain für Opalinuston, Zürcher Weinland, HAA
- 5.9 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter OK Fels für Opalinuston, Zürcher Weinland, HAA
- 5.10 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter Terrain für Opalinuston, Nördlich Lägern, SMA
- 5.11 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter OK Fels für Opalinuston, Nördlich Lägern, SMA
- 5.12 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter Terrain für den Braunen Dogger, Nördlich Lägern, SMA
- 5.13 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter OK Fels für den Braunen Dogger, Nördlich Lägern, SMA
- 5.14 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter Terrain für Opalinuston, Nördlich Lägern, HAA
- 5.15 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter OK Fels für Opalinuston, Nördlich Lägern, HAA
- 5.16 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter Terrain für Opalinuston, Bözberg, SMA
- 5.17 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter OK Fels für Opalinuston, Bözberg, SMA
- 5.18 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter Terrain für Opalinuston, Bözberg, HAA

- 5.19 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter OK Fels für Opalinuston, Bözberg, HAA
- 5.20 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter Terrain für Opalinuston, Jura-Südfuss, SMA
- 5.21 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter OK Fels für Opalinuston, Jura-Südfuss, SMA
- 5.22 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter Terrain für Effinger Schichten, Jura-Südfuss, SMA
- 5.23 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter OK Fels für Effinger Schichten, Jura-Südfuss, SMA
- 5.24 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter Terrain für Opalinuston, Jura-Südfuss West, SMA
- 5.25 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter OK Fels für Opalinuston, Jura-Südfuss West, SMA
- 5.26 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter Terrain für Effinger Schichten, Jura-Südfuss West, SMA
- 5.27 Erfüllung der Anforderungen bezügl. Tiefenlage unter OK Fels für Effinger Schichten, Jura-Südfuss West, SMA

1. Auftrag

Auftraggeber: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, 5232 Villigen

Vertragsgrundlagen: Vertrag vom 15.12.2008 (H-100593)
Offerte vom 1. Dezember 2008

Gemäss dem vom BFE (Bundesamt für Energie) erstellten Konzept „Sachplan Geologische Tiefenlager“ (SGT) ist bei der Evaluation von geologischen Standortgebieten ein schrittweises Einengungsverfahren zu wählen. Im Rahmen dieses Vorgehens ist in Schritt 5 gemäss SGT zu prüfen, wo potentielle Wirtgesteine in geeigneter Konfiguration vorliegen (u. a. Ausbildung, Mächtigkeit, laterale Ausdehnung, Tiefenlage), um geologische Standortgebiete abzugrenzen.

Im Auftrag des ENSI soll durch den Experten (Dr. von Moos AG) das von der Nagra angewendete GIS-Verfahren zur Lage, Geometrie und Verbreitung potentiell geeigneter Wirtgesteine in der Nordschweiz sowie die Ausscheidung von geologischen Standortgebieten auf die Korrektheit der angewandten Methodik überprüft werden. In der Nordschweiz wurden von der Nagra als Basis für die Abgrenzung von geologischen Standortgebieten digitale Höhenmodelle verschiedener Markerhorizonte erstellt.¹ Eine Übersicht des Untersuchungsperimeters findet sich in Abbildung 1.1. Insbesondere soll stichprobenartig geprüft werden, ob die vorhandenen Daten vollständig eingegeben, deren methodische Unsicherheiten adäquat berücksichtigt und die Daten korrekt miteinander verrechnet bzw. verschnitten wurden. Spezielles Augenmerk soll dabei auf folgende Datensätze gelegt werden:

- Top Opalinuston, Basis Opalinuston, Mächtigkeitsmodell Opalinuston
- Top Effinger Schichten, Basis Effinger Schichten (= Basis Malm), Mächtigkeitsmodell Effinger Schichten
- Basis Quartär, Mächtigkeit Quartärbedeckung

2. Grundlagen

Für die Beurteilung des GIS-Verfahrens wurden folgende **Berichte der Nagra** herangezogen:

Tabelle 2.1: Berichte der Nagra

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	Nagra	Oktober 2008
NTB 08-04	Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager, Geologische Grundlagen, Text- und Beilagenband	Nagra	Oktober 2008
NAB 07-06	Digitales Höhenmodell der Basis der Oberen Süsswassermolasse, Datenbank und Erarbeitung	P. Jordan, P. Gander	Juli 2007

¹ Im Fall des in den Alpen vorkommenden Wirtgesteins ‚Mergel-Formationen des Helvetikums‘ ist die Mächtigkeit auf grossem Massstab sehr heterogen und die Geometrien sind komplex, wodurch eine flächenhafte Analyse verunmöglicht wird. Hier wurde jedes bekannte grössere lokale Vorkommen von Mergel-Formationen durch die Nagra individuell beurteilt.

NAB 07-12	Digitales Höhenmodell Basis Quartär (DHM B_QU, "Felsmodell") – Grundlagen, Erarbeitung, Ergebnisse	P. Jordan	Juni 2007
NAB 08-42	Geologisches Modell der Nordschweiz mit digitalen Höhen- und Mächtigkeitsmodellen sowie geologischen Profilschnitten, Grundlagen, Methoden, Resultate	P. Jordan, H. Naef, W. Albert, M. Schwab, H. Schneider, M. Schnellmann, H. Weber	Dezember 2008
NIB 08-11	Vororientierung SGT: Erläuterungen zur GIS-gestützten Einengungsprozedur	W. Albert, M. Schnellmann, HP. Weber	Januar 2009
NIB 09-10	Vororientierung SGT: Grundlagen für die Modellierung der digitalen Höhenmodelle Basis Quartär, Basis Tertiär, Basis Malm und Basis Opalinuston in der Nordschweiz, Erläuterung der GIS-Datensätze	W. Albert, P. Jordan, M. Schnellmann, HP. Weber	April 2009
NIB 09-12	Vororientierung SGT: Isohypsenkarten Basis Tertiär, Basis Malm und Basis Opalinuston, Vergleich zwischen Modellen und Grundlagen	P. Jordan, W. Albert, M. Schnellmann, H.P. Weber	Mai 2009

Die von der Nagra erhaltenen, **für die GIS-Prüfung relevanten digitalen Datensätze** sind im Anhang A1 detailliert aufgelistet. Ausserdem wurde uns von der Nagra das digitale Höhenmodell der swisstopo DHM25 innerhalb des Untersuchungsperimeters zur Verfügung gestellt (Nutzungsvertrag vom 6.2.09).

Als weitere Grundlagen wurden folgende Quellen verwendet:

- Bohrarchiv der Dr. von Moos AG
- Isohypsenkarten der Felsoberfläche der Dr. von Moos AG (Zürcher Weinland, Blatt Zürich) und von mbn (Hochrhein sowie Blätter Murgenthal, Aarau, Baden, Zurzach)

Im Rahmen der Überprüfung fanden folgende **Fachgespräche** statt:

a) mit dem ENSI

- 23.1.09 zum Terminplan und den Aufgaben der externen Experten des ENSI („1. Kick-Off-Sitzung“)
- 9.3.09 zum revidierten Terminplan („2. Kick-Off-Sitzung“)
- 28.4.09 zum Grobkonzept der Berichterstattung und Termin-Meilensteinen
- 20.5.09 zum Aufbau und Inhalt dieses Berichts und Resultaten aus den Kontrollrechnungen sowie deren Darstellung und Diskussion in diesem Bericht
- 17.6.09 zum First Draft dieses Berichts
- 4.8.09 zum Final Draft dieses Berichts

b) mit der Nagra und dem ENSI:

- 19.8.08 als Einführung in den von der Nagra verwendeten Verschnittprozess („Startsitzung“)
- 17.12.08 zur Vertiefung der am 19.8. vorgestellten Methoden

- 20.3.09 zu den für den Verschnittprozess relevanten Datensätzen, den zusätzlich zu liefernden Datensätzen der Zwischenprodukte des Verschnittprozesses sowie zur Struktur der Bohrdatenbanken Quartär und Mesozoikum und den CDP-Daten aus der Seismikinterpretation
- 27.4.09 zum Sicherheitsabstand von Störungen bzw. Regionalen Störungszonen, zu Passungengenauigkeiten im DHM25 sowie allgemeinen Fragen der Datengenauigkeit
- 17.7.09 zum First Draft dieses Berichts und der Stellungnahme der Nagra dazu
- 22.7.09 zur Klärung von Fragen zu den Kontrollrechnungen

3. Vorgehen der Nagra

Im NTB 08-04 legt die Nagra dar, welche geowissenschaftlichen Arbeiten im Zuge des Auswahlverfahrens gemacht wurden. Diese umfassen auch die Erarbeitung wesentlicher Grundlagen wie beispielsweise die Rasterdatensätze (Höhenmodelle) der Felsoberfläche und der Markerhorizonte.

Die Methodik der Erarbeitung der digitalen Höhenmodelle ist in NAB 08-42 detailliert und nachvollziehbar beschrieben. Dabei wurden durch die Autoren Isohypsenkarten erstellt. Daraus wurden per Computer die Raster berechnet, die dann mittels Daten aus Bohrungen kontrolliert und geeicht werden konnten. In einem iterativen Prozess wurden danach die Isohypsen und Raster korrigiert und laufend verbessert.

Die im Sachplan Geologische Tiefenlager vorgegebenen Kriterien wurden über verschiedene Indikatoren beurteilt. Dabei wurden an wichtige Indikatoren Mindestanforderungen und/oder verschärfte Anforderungen gestellt (vgl. NTB 08-03, Tab. 2.5-2). Für flächenwirksame Anforderungen wurden daraus GIS-Bedingungen (sogenannte „GIS-Kriterien“) abgeleitet, welche die Umsetzung der Anforderungen auf die Grundlagendaten (z.B. Höhenmodelle) erlauben. Dadurch wurden sogenannte **bevorzugten Bereiche** abgegrenzt, die alle Anforderungen erfüllen. Das genaue Vorgehen in diesem komplexen Verschnittprozess ist in NIB 08-11 detailliert und nachvollziehbar beschrieben. Anschliessend wurden die so erhaltenen bevorzugten Bereiche durch die Autoren bewertet. Schliesslich wurden verschiedene, naheliegende und/oder überlappende bevorzugte Bereiche zu geologischen Standortgebieten zusammengefasst. Die Aussengrenzen dieser Standortgebiete wurden bewusst grosszügiger als die Aussengrenzen der bevorzugten Bereiche gewählt, um Ungewissheiten zu berücksichtigen und nicht frühzeitig Gebiete auszuschliessen, welche sich bei näherer Betrachtung als geeignet herausstellen könnten.

4. Überprüfung des GIS-Verfahrens

Die Prüfung der GIS-Daten durch die Dr. von Moos AG erfolgte hinsichtlich folgender Punkte:

- Nachvollziehbarkeit der Eingabedaten (stichprobenartig)
- Plausibilität des Datenmodells (Beurteilung der Dokumentation)
- Konsistenz der Datensätze (eigene Nachrechnungen und Verschnitte)

Dabei wurden verschiedene Prüfschritte unternommen, die im Folgenden detailliert dokumentiert werden. Die meisten Raster-Berechnungen und -Klassifizierungen sowie Polygon-Verschnitte wurden mit MapInfo Professional 9.5 und dem Discover-Modul durchgeführt. Für den Vergleich von Punktinformationen (Bohr-Datenbanken) mit den Rastern wurde FME2008 Professional verwendet, für einzelne Pufferberechnungen und ähnliche Schritte ArcView 9.3.

Die Nagra hat die Datensätze und deren Verschnitte mit der damals aktuellen Programmversion ArcView 9.2 inkl. der Ergänzung Spatial Analyst durchgeführt.

4.1 Datenmodell

Die **kontinuierlichen Daten**, d.h. Angaben zur Lage bezüglich Meereshöhe (Normalnull NN), Tiefe unter Terrain oder Tiefe unter OK Fels der einzelnen Horizonte sowie Mächtigkeiten der Schichten sind von der Nagra alle in **Rastern mit 25 m Maschenweite** abgelegt worden, deren Gitter sich mit demjenigen des DHM25 von swisstopo decken. So ist auch gewährleistet, dass sich beim Verrechnen der Raster untereinander nicht systematische Fehler oder Abweichungen durch Interpolationen einschleichen wegen Gitterverschiebungen. Die Konsistenz der verschiedenen Raster untereinander und die Datengenauigkeit werden in Kapitel 4.2 detaillierter diskutiert.

Die Abbildung der Schichtgrenzen als Raster hat den Nachteil, dass Schichtverdoppelungen durch Überschiebungen oder Verkehrtschenkel einer Falte nicht darstellbar sind. Diese Phänomene treten aber nur in Bereichen auf, die tektonisch stark zergliedert sind, also als geologisches Standortgebiet ohnehin nicht in Frage kommen. Hingegen lassen sich Raster wesentlich leichter im nachfolgenden Verschnittprozess weiterverarbeiten, als dies mit anderen Datenformaten der Fall wäre. Insofern ist die Wahl des Datenformats Raster sinnvoll und zielführend.

Im **Braunen Dogger** ist innerhalb des Untersuchungsperimeters ein Wechsel von der eher Kalk-dominierten westlichen Fazies über einen Übergangsbereich zur eher tonigen östlichen Fazies zu beobachten (vgl. NTB 08-04, S. 277 ff.). Diese **Faziesgrenze** wurde als Linienpaar abgebildet, das den Übergangsbereich einschliesst. Ebenso wurde die **Ostgrenze der Zone mit ausgeprägtem rheinischem Störungsmuster** als Linie abgebildet. Für die vorliegende Fragestellung erscheint diese Vorgehensweise einfach zu handhaben und zweckdienlich.

Die **Störungen**, die auf geologischen und tektonischen Karten und in den Seismikprofilen ausgewiesen sind, wurden im GIS als Linienelemente erfasst, einerseits auf dem Niveau der Markerhorizonte Basis Tertiär, Basis Malm und Basis Opalinuston und andererseits an der Oberfläche (tektonische Karte). Die einzelnen Linien stellen also die Schnittlinie der Störung mit dem Markerhorizont bzw. ihre Ausbisslinie an der Topographie dar. Aus den Attributen der Linienelemente lässt sich u.a. der betroffene Horizont, der Störungstyp und die Herkunft (Referenz) ableiten. Über den Namen der Störungen ist zudem erkennbar, welche Linien zur selben Struktur gehören. Störungen mit unbekanntem Streichen (nur auf einer einzelnen Seismiklinie identifizierbar) wurden als Punktdaten in einem separaten Datensatz zusammengefasst. Für regionale Störungszonen wurde anschliessend rund um die Linienelemente (Spur der Störung oder von Elementen der Störung auf verschiedenen Niveaus) ein Sicherheitsabstand gezogen. Dabei wurde von einem Richtwert von 200 m ausgegangen (vgl. NTB 08-04, S. 307), bei der Abgrenzung wurden aber die vorhandenen geologischen Daten berücksichtigt (z.B. kartierte Sekundärbrüche, verdickte oder gestörte Bereiche auf Seismiklinien).

Die resultierenden Polygone der Sicherheitsabstände wurden zusammen mit weiteren Informationen zur Charakterisierung des Deformationszustands (Kap. 5.2.3.4 in NTB 08-04) in einen gemeinsamem Datensatz abgespeichert, welcher ‚Tekt_Regime‘ genannt wurde (vgl. Anhang A1, Nr. 18). Diese File-Benennung ist etwas verwirrend, da das tektonische Regime eigentlich nur ein Teilbestand der ganzen Charakterisierung des Deformationszustand ist (siehe S. 303 in NTB 08-04). Der Filename ‚Charakterisierung_Deformationszustand‘ wäre für diesen Grundlagendatensatz passender und würde besser zur Beschreibung in Kap. 5.2.3.4 von NTB 08-04 passen.

Die Modellierung von Störungszonen als Linien ist wesentlich einfacher zu handhaben als ihre Darstellung in dreidimensionalen Flächen. Bei steilstehenden Störungen ist der Fehler

durch den im GIS immer horizontal berechneten Puffer im Verhältnis klein. Falls eine Störung aber flach liegt, ist ein horizontal berechneter Puffer zu klein und führt dazu, dass der nötige Sicherheitsabstand unter Umständen unterschritten wird. Die Abbildungen 4.1 und 4.2 zeigen die Puffer von 200 m (von uns neu berechnet), überlagert von der Einteilung in tektonische Regimes (gemäss Nagra). Es fällt auf, dass es Stellen mit kartierten Störungszonen gibt, die trotzdem den ungestörten Bereichen zugeteilt wurden (z.B.: Bözberg, Weinland). Namentlich im Zürcher Weinland liegen solche Zonen innerhalb einer vorgeschlagenen Standortregion. Die Nagra begründet dies mit dem im Weinland wesentlich höheren Kenntnisstand als in anderen Bereichen (insbesondere 3D-Seismik, NTB 08-04, S. 311).

Allgemein ist anzumerken, dass die Nagra ihre geologischen Standortgebiete bis hart an die Grenze der Sicherheitsabstands-Puffer ausdehnt und dass die Standortgebiete teilweise erhebliche Anteile an Bereichen mit Anzeichen für erhöhte tektonische Zergliederung aufweisen (Bözberg, Jura-Südfuss, Nördlich Lägern). An Störungsenden ist unseres Erachtens ein Puffer angebracht. Aufgrund unserer Nachrechnungen reicht der berechnete Puffer stellenweise über die Sicherheitsabstands-Zonen hinaus. Im Gebiet Zeihen finden sich solche Stellen am Südrand bzw. im Westteil eines geologischen Standortgebiets (vgl. Abbildung 4.2).

Seitens der Nagra werden dafür zwei Gründe genannt:

(1) Heterogenität der Datenlage: Neben tektonischen Gründen können auch die Aufschlussverhältnisse (z. B. westliches Bözberggebiet) oder Seismikabdeckung und -qualität (z.B. Zürcher Weinland) zu einer höheren Dichte an kartierten Störungen führen. Deshalb wurden bewusst (kleinere) kartierte Störungen in die geologischen Standortgebiete (im Zürcher Weinland auch in nicht-randliche Teile des bevorzugten Bereichs) integriert, um Gebiete mit vergleichsweise besserer Datenlage nicht zu benachteiligen (z.B. im Zürcher Weinland aufgrund der 3D-Seismik oder im westlichen Bözberggebiet gute Aufschlussverhältnisse).

(2) Umgang mit Ungewissheiten: In der ersten Etappe des SGT sollen basierend auf den vorhandenen geologischen Daten Standortgebiete abgegrenzt werden, welche in den zukünftigen Etappen weiter untersucht werden. Deshalb hat die Nagra darauf geachtet, dass innerhalb der Standortgebiete ein oder mehrere bevorzugte Bereiche vorhanden sind, in denen die Platzverhältnisse im Hinblick auf die abgeschätzten Ungewissheiten robust sind. Andererseits wurden im Hinblick auf die weiterführenden Untersuchungen auch weitere, als weniger robust betrachtete Zonen in die Standortgebiete integriert, um in Anbetracht der Ungewissheiten flexibel zu bleiben und nicht von vornherein Gebiete auszuschliessen, welche sich nach weiteren Untersuchungen in den zukünftigen Etappen des SGT als günstig herausstellen sollten.

Die **Daten aus Bohrungen und aus der Seismikinterpretation (CDPs)** wurden uns als Datenbanktabellen mit Koordinateninformationen geliefert, welche wir in Punkte-Shapefiles umgewandelt haben. Die Attributierung der Punktdaten beinhaltet neben Tiefenangaben zu den erforderlichen Markerhorizonten auch eine Referenz bzw. Herkunftsangabe des Datenpunktes. Ausserdem ist in der Bohrdatenbank Mesozoikum die Möglichkeit eingerichtet (und im Fall von Widersprüchen auch dokumentiert), die Datenqualität bzw. Vertrauenswürdigkeit in einem Bemerkungsfeld zu beschreiben. Dies ist im Sinne der Qualitätssicherung und Nachvollziehbarkeit sehr zu begrüssen. Die Datenbank erlaubt so die Nachführung der Interpretationen älterer Quellen, die aufgrund neuerer Kenntnisse neu zu bewerten sind.

4.2 Höhenmodelle, Mächtigkeitsmodelle

Sämtliche von der Nagra erstellten Raster (Höhenmodelle) sind Floating Point Raster, enthalten also Höhen- bzw. Tiefenangaben mit Kommastellen, die spezielle Berechnungen (z.B. Neigung der Horizonte) ermöglichen. Es ist aber zu bedenken, dass die Eingabedaten aus Quellen sehr unterschiedlicher Qualität stammen. Die Daten aus Bohrungen und der Seismikinterpretation können mit verschiedenen Fehlern behaftet sein. Im Fall von Bohrungen hängt die Grösse des Fehlers bzw. der Unsicherheit stark von der Qualität der Bohraufnahme ab (Bohrungen unterschiedlichen Alters, unterschiedlicher Bohrtechnik, Erfahrung des aufnehmenden Geologen, Vermessungsgenauigkeit des Bohransatzpunktes), kann aber sicher bis zu einige Meter betragen, bei der Seismikinterpretation liegt der Fehler ausserhalb von direkter Eichung mit Bohrungen eher im Bereich von einigen Zehner Metern. Deshalb wurden im Folgenden alle Abweichungen von weniger als ± 20 m als Übereinstimmung betrachtet und nicht weiter diskutiert.

Der **Vergleich der Rasterdaten mit den Daten aus der Bohrdatenbank Mesozoikum** der Nagra zeigt im Allgemeinen relativ geringe Abweichungen zwischen den Rastern und den Höhenangaben der Bohrungen. Die extremsten Abweichungen sind im Bemerkungsfeld der Bohrdatenbank kommentiert und erklärt (z.B. steiles Terrain).

Die Abweichungen der **Quartär-Bohrdatenbank** der Nagra vom Höhenmodell der Felsoberfläche streuen um einen Mittelwert von lediglich 0.02 m mit einer Standardabweichung von ± 4.0 m auf (Extremwerte ± 22 m), wenn man einen einzelnen klaren Ausreisser mit einer Abweichung von 65 m ausschliesst (Bohrung AM41 in Oensingen).

Der **Vergleich der Raster Basis Opalinuston** (vgl. Abbildung 4.3) **und Basis Malm** (Abbildung 4.4) **mit den CDP-Daten der Seismiklinien** zeigt ein Muster, bei dem die Abweichungen generell nahe dem Ende einer seismischen Linie relativ gross sind (bis Grössenordnung ± 100 m). Es ist ein bekanntes Phänomen, dass sich die Interpretierbarkeit eines seismischen Profils gegen das Ende hin verschlechtert. Deshalb hat sich die Nagra in Randbereichen bei Widersprüchen auf andere Daten (Bohrungen, Plausibilität räumlicher Verlauf, kinematische Modellvorstellungen im Bereich des Faltenjura [vgl. NAB 08-42]) verlassen und dort grössere Abweichungen von der seismischen Interpretation in Kauf genommen.

Neben den grösseren Abweichungen nahe dem Ende einer Linie fallen vor allem Stellen auf, **wo die Seismiklinie eine Störung kreuzt**. Zumindest teilweise können diese Abweichungen wohl dadurch erklärt werden, dass in der direkten Umgebung einer Störung (Überschiebung) der Markerhorizont verdoppelt ist. Während in der Seismikinterpretation (2D-Schnitt) im Bereich einer Schichtverdoppelung sowohl das Trailing Edge (tieferes Stockwerk) als auch das Leading Edge (höheres Stockwerk) abgebildet werden kann, kann in einem Rasterdatensatz nur eine Höhenangabe gespeichert werden. Dort wurde in der Regel das „Leading Edge“, also das höhere Stockwerk, abgebildet. Ausnahme ist das südlichste Bözberggebiet (Gebiete unmittelbar nördlich der Jurahauptüberschiebung), wo im Höhenmodell das projektrelevanter tiefere Stockwerk abgebildet wurde, statt einzelne oberflächennahe überschobene Schuppen zu modellieren. Die Gebiete mit grösseren Abweichungen sind im NIB 09-12 dokumentiert und diskutiert. Sie liegen alle ausserhalb der potentiellen Standortgebiete und sind somit für das weitere Einengungsverfahren unkritisch.

Die Abgrenzung des Opalinustons erfolgte nach Aussage der Nagra (und übereinstimmend mit dem Vorgehen im Entsorgungsnachweis) auf der Basis fazieller Gesichtspunkte. Dies bedeutet, dass in Benken die tonige Fazies der Murchisonae-Schichten zum Opalinuston dazugezählt wurden, in Weiach und Herdern die kalkige resp. sandige Fazies jedoch nicht. Der direkte **Vergleich der Tiefbohrungen** Benken, Riniken, Schafisheim und Weiach **mit dem Mächtigkeitsmodell des Opalinustons** zeigt folgende Abweichungen (Tabelle 4.1):

Tabelle 4.1: Vergleich Bohrungen – Mächtigkeitsmodell Opalinuston

Bohrung	Mächtigkeit Opalinuston im Bohrlog [m]	Mächtigkeit Opalinuston im Mächtigkeitsmodell [m]	Differenz [m] (negativ: Wert im Modell ist zu niedrig)
Benken (inkl. Murchisonae-Schichten)	113.20	113.01	-0.19
Riniken	119.79	119.97	0.18
Schafisheim	79.30	79.00	-0.30
Weiach	111.17	111.00	-0.17

Die Abweichungen sind mit 0.2 bis maximal 0.3 m insgesamt gering und, mit Ausnahme von Riniken, auf der vorsichtigen Seite, d.h. die Mächtigkeit des Opalinustons wird im Modell eher unterschätzt.

Um die **interne Konsistenz der Rasterdaten** zu prüfen, wurden von uns Rückrechnungen, bezogen auf die Terrainkote und bezogen auf die Felsoberfläche, durchgeführt. Diese funktionieren nach folgendem Muster:

$$\underbrace{([Basis_Opa] + [Basis_Opa_unter_Terrain])}_{\text{„berechnetes Terrain“}} - [DHM25] = [Differenz_Basis_Opa-Terrain]$$

beziehungsweise:

$$\underbrace{([Basis_Opa] + [Basis_Opa_unter_OKFels])}_{\text{„berechnete Felsoberfläche“}} - [OKFels] = [Differenz_Basis_Opa-OKFels]$$

In der folgenden Tabelle 4.2 sind die wichtigsten Rückrechnungen mit den jeweils durchschnittlichen und maximalen Abweichungen dargestellt. Ausgewählte Differenzen-Plots sind in den Abbildungen 4.5 und 4.6 dokumentiert.

Tabelle 4.2: Differenzen zwischen Rückrechnungen und Originaldatensätzen der Nagra

Rechnung	Differenzen-Raster	Mittlere Differenz [m]	Standardabweichung der Differenz	Min. Wert [m]	Max. Wert [m]
Basis Opalinuston - OKFels	dif_opa_fels	0.01	2.02	-101	102
Basis Opalinuston - Terrain	dif_opa_terrain	0.02	2.04	-34	37
(Basis Opalinuston + DMM Opalinuston) – Top Opalinuston	dif_top_opa	2.39	32.33	0	2237*
Basis Malm - OKFels	dif_bmalm_qu	-0.17	4.58	-119	101
Basis Malm - Terrain	dif_topo_malm	-0.06	1.91	-30	31
(Basis Malm + DMM Effinger Sch.) – Top Effinger Sch.	dif_t_eff	-2.9	34.9	-2594 *	31
(OK Fels + Lockergesteinsmächtigkeit) - Terrain	dif_topo_qu	0.57	2.16	-52	43

*: Die Extremwerte von 2237 m und -2594 m Differenz bei der Berechnung von Top Opalinuston und Top Effinger Schichten sind darauf zurückzuführen, dass in der Kontrollrechnung die Schichtneigung nicht berücksichtigt wurde, was im Faltenjura im Bereich von Überschiebungen bzw. Steilstellung zu erheblichen Differenzen führt.

Bei der **Rückrechnung auf das DHM25** ([Basis_Opa + Basis_Opa_unter_Terrain] – DHM25) mittels MapInfo und Discover ergab sich eine Art Schattenmuster. Die mittlere Abweichung zwischen „berechnetem Terrain“ und dem DHM25 von swisstopo beträgt praktisch Null (Standardabweichung ± 2 m) und die maximalen Abweichungen liegen in der Grössenordnung zwischen -40 und +40 m. Diese Abweichungen sind umso grösser, je steiler das Gelände ist. Eine genaue Überprüfung zeigte, dass beim Mosaickieren der Teilstücke des DHM25 eine Abweichung von wenigen Metern aufgetreten war. Der Schattenmuster tritt software-spezifisch nur bei Verwendung von MapInfo, nicht aber bei ArcView auf. (Er ist demnach davon abhängig, ob Datenpunkte zwischen den Gitterpunkten interpoliert werden oder nicht.)

Auch die **Rückrechnung auf die Felsoberfläche** ergibt mittlere Abweichungen von nahezu Null, allerdings mit einer etwas grösseren Standardabweichung von ± 2 m (Opalinuston, OKFels) bzw. ± 4.5 m (Malm) und Maximalwerten bis +120/-100 m. Diese Abweichungen sind identisch mit den Änderungen, die aufgrund der laufenden Nachführung von Bohrinformationen nach Fertigstellung der verschiedenen Höhenmodelle noch am Felsoberflächenmodell vorgenommen wurden (vgl. NIB 08-11, S. 8-9, NTB 08-04, S. 316) und im NIB 08-11 dokumentiert sind, die aber nicht mehr in alle übrigen Raster verrechnet wurden (vgl. Abbildung 4.6). Diese Änderungen betreffen vor allem den Bereich des Reusstal-Gletschers. Sie sind alle ausserhalb von geologischen Standortgebieten und haben keinen Einfluss auf die Resultate der Verschnittprozesse (vgl. NIB 08-11, S. 8 und 9).

Das Vorgehen bei der Erarbeitung des digitalen Höhenmodells Basis Quartär (Felsoberfläche) ist in den Unterlagen (NAB 07-12, NAB 08-42) beschrieben. Die Plausibilität der Informationen aus unterschiedlichen Quellen (rund 5000 Bohrungen enthalten relevante Informationen zur Basis Quartär bzw. der Felsoberfläche) wurde von der Nagra geprüft (vgl. NAB 08-42, S.3), das Modell in einem iterativen Prozess laufend verfeinert. Auch wenn die Auswahl der in diesen Dokumenten zitierten Grundlagen kaum vollständig sein kann, so zeigte sich bei der Überprüfung, dass der zugängliche Datensatz an Bohrungen und publizierten Felsisohypsenkarten in das Höhenmodell eingearbeitet wurde. Lokale Kleinstrukturen der Morphologie können aber durch das Modell nicht in jedem Fall abgebildet werden. Differenzen von ± 10 m sind an verschiedenen Orten nachgewiesen, für das Einengungsverfahren jedoch nicht massgebend. Im Rahmen der Weiterbearbeitung der Standortgebiete sollen die Daten in den nächsten Etappen des SGT verdichtet und das Höhenmodell Basis Quartär verfeinert werden.

4.3 Fehlerabschätzung

Wie bereits in Kapitel 4.2 erwähnt, sind die Grundlagendaten, vor allem jene aus der Seismik, mit Fehlern bis in die Grössenordnung von mehreren Zehner Metern behaftet. Vor allem in Bereichen ausserhalb der näheren Umgebung von Eichbohrungen muss deshalb davon ausgegangen werden, dass auch die Höhenmodelle von Basis Opalinuston und Basis Malm mit einer Ungenauigkeit von mindestens ± 20 m und mehr behaftet sind. In schwierig zu interpretierenden Gebieten wie im Faltenjura und/oder Zonen mit erhöhter tektonischer Zergliederung dürfte dieser Fehler noch grösser sein. Da aber diese Gebiete in den Seismikinterpretationen erkannt wurden (NTB 08-04, S. 307) und im Rahmen des Beurteilungsprozesses ohnehin ausscheiden bzw. zurückgestellt werden, ist diese Ungenauigkeit für den Einengungsprozess nicht massgebend.

Wie der Vergleich der Seismiklinien mit den Höhenmodellen gezeigt hat, bestehen an den Linienenden sowie besonders bei den E-W-verlaufenden Seismiklinien im Bereich des Standortgebiets Bözberg Differenzen von mehr als 50 Metern. Durch eine Eichbohrung und Verifizierung des Geschwindigkeitsmodells liesse sich auch hier eine Erhöhung der Genauigkeit des Höhenmodells erreichen. Vorderhand würden wir aber in diesem Gebiet von einer Ungenauigkeit der Höhenmodelle von ± 50 Metern ausgehen. Die Nagra hat diese

Ungenauigkeiten bei der Identifikation und Abgrenzung geologischen Standortgebiete berücksichtigt, z.B. durch grosszügige Wahl der Aussengrenzen der Standortgebiete).

Die Bestimmung der Felsoberfläche ist selbst in Kernbohrungen nicht immer auf den Meter genau möglich. Anlass zu unterschiedlicher Einschätzung gibt neben bohrtechnisch verfälschtem Kernmaterial („weichere“ Felsarten sind zuweilen mit Hartmetallkronen kiesig-sandig verbohrt und wurden in älteren Bohrungen manchmal zum Lockergestein geschlagen) insbesondere die Zuordnung des Verwitterungsbereiches. Dieser kann in der Molasse, insbesondere auch in tonig-sandigen Wechsellagerungen, einige Meter betragen. Abgesehen vom natürlichen Relief der Felsoberfläche, welches kleinräumig mehrere Meter beträgt, ist auch mit Fehlern aus den Grundlagendaten von einigen wenigen Metern zu rechnen. Um dieser Ungenauigkeit Rechnung zu tragen, sollten die Anforderungen an die Felsüberdeckung besser auf 10 m genau definiert werden (Verschärfte Anforderungen VA Felsüberlagerung Top Opalinuston bei SMA in Braunem Dogger ≥ 375 m aufrunden auf ≥ 380 m).

5 Beurteilung der Verschnittprozesse

5.1 Vorgehen

Im NIB 08-11 hat die Nagra detailliert und nachvollziehbar beschrieben, wie sie in den einzelnen Schritten des Verschnittprozesses vorgegangen ist. Sie hat dazu aus den ursprünglichen Anforderungen (minimale Überlagerung, maximale Tiefenlage, etc., vgl. NTB 08-03, Tab. 2.5-2, dort als Indikatoren bezeichnet) sogenannte GIS-Konstruktionskriterien abgeleitet, welche direkt auf die Grundlagendatensätze angewendet werden können. Die Ableitung dieser GIS-Konstruktionskriterien ist in NIB 08-11, S. 11 ff beschrieben und illustriert. Eine vereinfachte (und nicht vollständige) Darstellung der GIS-Konstruktionskriterien findet sich in Tabelle 5.1.

Tabelle 5.1: von der Nagra und abgeleitete GIS-Konstruktionskriterien bezüglich Tiefenlage (vereinfacht)

Wirtgestein, Lagertyp	Geforderte Überlagerung (vereinfacht)	Maximale Tiefenlage der Mitte des EG	Abgeleitete GIS-Konstruktionskriterien (vereinfacht, vgl. Fussnoten)	
Opalinuston, SMA	200 m unter Terrain (Mindestanforderung)	800 m	Basis Opa ≥ 270 m unter Terrain falls $Q \leq 100$ m	Top Opa ≤ 780 m unter Terrain ²
	200 m unter OK Fels (Mindestanforderung)		Basis Opa ≥ 270 m unter OK Fels falls $Q > 100$ m	
	200 m unter Top Fels (verschärfte Anforderung)		Basis Opa ≥ 270 m unter OK Fels falls $Q \leq 100$ m	
	300 m unter OK Fels (verschärfte Anforderung)		Basis Opa ≥ 370 m unter OK Fels falls $Q > 100$ m	

² Vereinfacht: Tatsächliche Anforderung (NIB 08-11) an die maximale Tiefenlage ist am Jurasüdfuss strenger (tektonische Zergliederung).

(Tabelle 5.1, Fortsetzung)

Brauner Dogger, SMA	200 m unter Terrain (Mindestanforderung)	800 m	Top Opa \geq 250 m unter Terrain falls $Q \leq 100$ m	Basis Malm \leq 800 m unter Terrain ³
	200 m unter OK Fels (Mindestanforderung)		Top Opa \geq 250 m unter OK Fels falls $Q > 100$ m	
	300 m unter Terrain (verschärfte Anforderung)		Top Opa \geq 375 m unter Terrain falls $Q \leq 100$ m	
	300 m unter OK Fels (verschärfte Anforderung)		Top Opa \geq 375 m unter OK Fels falls $Q > 100$ m	
Effinger Schichten, SMA	200 m unter Terrain (Mindestanforderung)	800 m	Basis Malm \geq 300 m unter Terrain falls $Q \leq 100$ m	Top Effinger Schichten \leq 750 m unter Terrain
	200 m unter OK Fels (Mindestanforderung)		Basis Malm \geq 300 m unter OK Fels falls $Q > 100$ m	
	300 m unter Terrain (verschärfte Anforderung)	800m	Basis Malm \geq 500 m unter Terrain falls $Q \leq 100$ m	Top Effinger Schichten \leq 700 m unter Terrain
	300 m unter OK Fels (verschärfte Anforderung)		Basis Malm \geq 500 m unter OK Fels falls $Q > 100$ m	
Opalinuston, HAA	400 m unter Terrain (Mindestanforderung)	900 m	Basis Opa \geq 470 m unter Terrain falls $Q \leq 100$ m	Top Opa \leq 880 m unter Terrain
	400 m unter OK Fels (Mindestanforderung)		Basis Opa \geq 470 m unter OK Fels falls $Q > 100$ m	
	400 m unter OK Fels (verschärfte Anforderung)	900 m	Basis Opa \geq 490 m unter OK Fels falls $Q \leq 100$ m	Top Opa \leq 860 m unter Terrain ⁴
	500 m unter OK Fels (verschärfte Anforderung)		Basis Opa \geq 590 m unter OK Fels falls $Q > 100$ m	

³ Vereinfacht: So nur gültig für Bereich mit Effinger Schichten > 50 m (Westteil des Verbreitungsgebiets Brauner Dogger). Im Ostteil des Verbreitungsgebiets ist die tatsächliche Anforderung strenger (NIB 08-11).

⁴ Vereinfacht: Tatsächliche Anforderung (NIB 08-11) an die maximale Tiefenlage ist am Jurasüdfuss strenger (tekton. Zergliederung).

EG: einschlusswirksames Gestein
Opa: Opalinuston
Q: Quartärmächtigkeit

Dieser Prozess wurde für die verschiedenen möglichen Wirtgesteine und Lagertypen gemäss den Angaben der Nagra nachvollzogen, wobei praktisch ausschliesslich mit MapInfo/Discover und vereinzelt mit FME gearbeitet wurde. Die aus diesen Verschnittprozessen resultierenden Gebiete decken sich gut mit den entsprechenden Gebieten der Nagra (NIB 08-11).

Die von der Nagra anschliessend manuell durchgeführte Analyse des Platzangebotes (vgl. NIB 08-11, S. 252) wurde von uns nicht überprüft.

Durch den Einsatz von MapInfo und FME als Alternative zu ArcGIS konnte gezeigt werden, dass der von der Nagra entwickelte und verwendete Verschnittprozess robust ist und auch bei der Verwendung anderer Software und (wahrscheinlich) anderer Rechenalgorithmen zu vergleichbaren Resultaten führt.

5.2 Geologische Standortgebiete

Regionale Störungsmuster, Lagerungsverhältnisse und Kontinuität der interessierenden Schichten sind gemäss Tab. 2.4-2 in NTB 08-03 relevante Indikatoren bei der Beurteilung des Kriteriums „Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse“. Die Mächtigkeit einschlusswirksamer Gebirgsbereiche, deren laterale Ausdehnung und Verbreitung in geeigneter Tiefenlage sind relevante Indikatoren bei der Beurteilung des Kriteriums „Räumliche Ausdehnung“. Durch die Überprüfung von Mindestanforderungen und/oder verschärften Anforderungen an einzelne Indikatoren soll sichergestellt werden, dass die geologischen Standortgebiete basierend auf dem heutigen Kenntnisstand geeignet und im Hinblick auf Etappe 2 des SGT sicherheitsmässig vergleichbar sind.

Zur Beurteilung der Belastbarkeit des Einengungsverfahrens wurden die geologischen Standortgebiete hinsichtlich der Tiefenlage der Basis der Wirtgesteine unter Terrain und unter Fels einzeln beurteilt. Dies stellt eine gewisse Verschärfung der Anforderungen der Nagra dar, da auch ausserhalb tiefer Felsrinnen (mit mehr als 100 m Lockergesteinsmächtigkeit) die Tiefenlage unter Fels und nicht unter Terrain betrachtet wurde. Abbildung 5.1 zeigt schematisch, wie diese Tiefenanforderungen in GIS-Kriterien übersetzt wurden, welche der folgenden Tabelle 5.2 sowie den Abbildungen 5.2 bis 5.27 zugrunde liegen. In den Abbildungen wird ferner auch die gemäss Tab. 5.1 vereinfachte maximale Tiefenlage des Wirtgesteins (Bezugsfläche Top Wirtgestein) bezüglich bautechnischer Machbarkeit aufgezeigt.

In Abbildung 5.2 bis 5.27 werden Tiefenlage der Wirtgesteine und Standortgebiete dargestellt. Zu beachten ist, dass die Nagra mit den Mindest- und den verschärften Anforderungen nicht Standortgebiete, sondern bevorzugte Bereiche abgegrenzt hat. Die Randbereiche der Standortgebiete erfüllen nicht zwangsläufig alle Anforderungen, da die Nagra die Aussengrenzen der geologischen Standortgebiete im Vergleich zu den bevorzugten Bereichen grosszügiger gewählt hat, um Zonen mit zu nehmen, welche sich in Anbetracht der Ungewissheiten bei näherer Untersuchung eventuell als günstig herausstellen könnten.

Beim Standortgebiet Jura-Südfuss ist darauf hinzuweisen, dass dieses Gebiet aus zwei Wirtgesteinen (Opalinuston und Effinger Schichten) besteht. Für jedes einzelne Wirtgestein werden deshalb nur Teile des Gebietes die Anforderungen erfüllen.

Tabelle 5.2: Tiefenlage des Wirtgesteins in den von der Nagra vorgeschlagenen Standortgebieten

Gebiet	Lager-Typ	Wirtgestein	Tiefenlage unter Terrain	Tiefenlage unter OK Fels
Süd-Randen	SMA	Opalinuston	Liegt nur entlang des Nord- und Westrands weniger als 270 m unter Terrain, sonst tiefer als 370 m.	Liegt nur am Nord- und Westrand weniger als 270 m unter OK Fels, sonst tiefer als 370 m.
Zürcher Weinland	SMA	Opalinuston und Brauner Dogger	<i>Opalinuston</i> : Im gesamten Gebiet tiefer als 370 m. <i>Brauner Dogger</i> : Liegt nur im Gebiet Laufen weniger als 375 m unter Terrain, sonst tiefer als 375 m.	<i>Opalinuston</i> : Im gesamten Gebiet tiefer als 370 m unter OK Fels. <i>Brauner Dogger</i> : Liegt nur im Nordwesten bei Laufen weniger als 375 m unter OK Fels, sonst im ganzen Gebiet tiefer als 375 m unter OK Fels.
Zürcher Weinland	HAA	Opalinuston	Der Opalinuston liegt randlich im Nordwesten bei Laufen weniger als 470 m unter Terrain, im grössten Teil beträgt die Überdeckung über 590 m.	Die Felsüberdeckung beträgt bei Laufen-Uhwiesen weniger als 470 m, im grössten Teil beträgt sie über 590 m.
Nördlich Lägern	SMA	Opalinuston und Brauner Dogger	<i>Opalinuston</i> : Liegt im gesamten Gebiet tiefer als 370 m. Im südlichen Teil wird die Tiefenlage der bautechnischen Machbarkeit überschritten. <i>Brauner Dogger</i> : Liegt im gesamten Gebiet tiefer als 375 m.	<i>Opalinuston</i> : Liegt im gesamten Gebiet tiefer als 370 m. Im südlichen Teil wird die Tiefenlage der bautechnischen Machbarkeit überschritten. <i>Brauner Dogger</i> : Liegt im gesamten Gebiet tiefer als 375 m; südlich von Hohentengen beträgt die Felsüberdeckung nur noch knapp 375 m.
Nördlich Lägern	HAA	Opalinuston	Die Gesamtüberdeckung beträgt mehrheitlich > 590 m.	Die Felsüberdeckung liegt nur am Nordrand des Gebietes knapp unter 590 m
Bözberg	SMA	Opalinuston	Die Gesamtüberdeckung beträgt bei Mönthal, Effingen und Bözen und im Westteil weniger als 370 m, jedoch mit Ausnahme vom Fricktal bei Hornussen > 270 m.	Die Felsüberdeckung beträgt bei Mönthal und im Gebiet Effingen-Bözen-Hornussen weniger als 370 m, im Randbereich des Standortgebiets lokal auch weniger als 270 m.

Bözberg	HAA	Opalinuston	Die Gesamtüberdeckung beträgt nur im Südteil (Gebiet Unterbözberg-Gallenkirch-Linn) mehr als 590 m, am Nord- und Westrand teilweise < 470 m.	Die Felsüberdeckung beträgt nur im Südteil (Gebiet Unterbözberg-Gallenkirch-Linn) mehr als 590 m, am Nord- und Westrand teilweise < 470 m.
Jura-Südfuss	SMA	Opalinuston und Effinger Schichten	<i>Opalinuston:</i> Liegt im gesamten Gebiet tiefer als 370 m. <i>Effinger Schichten:</i> Die Gesamtüberdeckung liegt zwischen < 300 m im Norden und > 500 m im Süden.	<i>Opalinuston:</i> Liegt im gesamten Gebiet tiefer als 370 m. <i>Effinger Schichten:</i> Die Felsüberdeckung liegt zwischen < 300 m im Norden und > 500 m im Süden.

Aufgrund interner Beratungen im ENSI wird vorgeschlagen, das Gebiet „Jura-Südfuss West“ im folgenden Prozess mitzubetrachten. Dieses Gebiet ist in Abb. 5.24 bis 5.27 deshalb in gleicher Weise wie die von der Nagra vorgeschlagenen geologischen Standortgebiete dargestellt.

Die alpinen Gebiete sind nicht im GIS-Modell der Nordschweiz enthalten. Das Standortgebiet **Wellenberg** liegt somit ausserhalb des für die vorliegende Beurteilung relevanten Untersuchungsperimeters (und auch in einem anderen Wirtsgestein). Es wird hier nicht näher betrachtet und auch nicht kommentiert.

6. Bemerkungen zur Verbesserung der Datensätze im Laufe der folgenden Etappen des SGT

Im Geologischen Modell der Nordschweiz liegt erstmals eine sehr hohe Anzahl von Grundlageninformationen vor, die elektronisch vernetzt sind. Es ist jedoch anzumerken, dass die Datenbasis relativ heterogen ist bezüglich Dichte und Qualität. Wir erlauben uns deshalb, einige nicht abschliessende Bemerkungen zur Verbesserung der Aussagekraft anzufügen.

Die der Seismikinterpretation zugrunde liegenden Geschwindigkeitsmodelle für das Bözberggebiet sollten in einem iterativen Prozess überarbeitet und verfeinert werden.

Die Abgrenzung des Braunen Doggers sollte verfeinert werden. Dazu ist auch eine Verfeinerung der Grundlagendaten notwendig.

Die Störungszonen sollten nach ihrer Relevanz priorisiert und die Pufferdistanzen eventuell entsprechend angepasst werden. Insbesondere bei den Störungsenden ist die Datenbasis zu verfeinern. Wo diese am Rand eines Standortgebiets „abbrechen“, ist der Feldbefund zu überprüfen.

Es sollte eine Karte (bzw. ein GIS-Datensatz) der Deckenschotter erstellt werden, denn diese verhalten sich gegenüber der Erosion signifikant anders als jungquartäre Lockergesteinsablagerungen (eher ähnlich wie ein Festgestein). In Bereichen mit Deckenschottern könnte deshalb die Mächtigkeit der Überdeckung inklusive Deckenschotter betrachtet werden statt nur der Felsüberdeckung.

7. Zusammenfassende Beurteilung

Das digitale geologische Modell der Nordschweiz wurde von der Nagra im Hinblick auf die Auswahl von Vorschlägen für geologische Standortgebiete neu erarbeitet. Dabei wurde erstmals für das gesamte Untersuchungsgebiet Nordschweiz ein digitales Modell erstellt.

Das Datenmodell ist in seiner Struktur zweckmässig und erlaubt die laufende Nachführung und Verfeinerung der Grundlegendaten.

Die verfügbaren Grundlagen aus Bohrungen, Seismiklinien, Kartierungen und publizierten Isohypsenkarten sind – gemäss unserer stichprobenartigen Überprüfung – im Wesentlichen berücksichtigt. Sie wurden vollständig und korrekt zur Berechnung bzw. Eichung der GIS-Daten verwendet.

Die digitalen Höhenmodelle stehen im Rahmen der zu erwartenden Genauigkeit im Einklang mit den Grundlegendaten, Abweichungen sind dokumentiert bzw. von der Nagra erklärt.

Bearbeitet von:

K. Dubach

B. Rick

Dr. von Moos AG

Geotechnisches Büro

8833/KD/Ri

Anhang A1: Digital erhaltene Datensätze

Von der Nagra haben wir folgende **für die GIS-Prüfung relevante Datensätze** erhalten (Nr. 1 ÷ 23 am 22.12.08; Nr. 24 ÷ 31 am 26.1.09; Nr. 32 ÷ 39 am 1.4.2009, Nr. 40 am 14.4.09 sowie Nr. 41 am 17.4.09):

Nr	Filename	Beschreibung	Art	Herkunft
1	c_bqu_081105	Top Fels bzgl. NN	Raster (Höhenmodell)	Grundlagendaten-satz
2	lockmac081105	Mächtigkeit Quartär	Raster (Mächtigkeit-modell)	berechnet aus 1 und DHM25
3	b_opa_080530	Basis Opalinuston bzgl. NN	Raster (Höhenmodell)	Grundlagendaten-satz
4	b_opa_t080530	Basis Opalinuston unter Terrain	Raster	berechnet aus 3 und DHM25
5	b_opa_q080530	Basis Opalinuston unter Top Fels	Raster	berechnet aus 3 und 1
6	bmalm_080328	Basis Malm bzgl. NN	Raster (Höhenmodell)	Grundlagendaten-satz
7	bma_080328_t	Basis Malm unter Terrain	Raster	berechnet aus 6 und DHM25
8	bma_q0711a	Basis Malm unter Top Fels	Raster	berechnet aus 6 und 1
9	dmmopa_080217	Mächtigkeit Opalinuston	Raster (Mächtigkeit-modell)	Grundlagendaten-satz
10	dmm_eff	Mächtigkeit Effinger Schichten	Raster (Mächtigkeit-modell)	Grundlagendaten-satz
11	topa_080603	Top Opalinuston bzgl. NN	Raster (Höhenmodell)	berechnet aus 3 und 9
12	topa_080603_t	Top Opalinuston unter Terrain	Raster	berechnet aus 11 und DHM25
13	topa_080603q	Top Opalinuston unter Top Fels	Raster	berechnet aus 11 und 1
14	teff080402	Top Effinger Schichten bzgl. NN	Raster (Höhenmodell)	berechnet aus 6 und 10
15	teff080402_t	Top Effinger Schichten unter Terrain	Raster	berechnet aus 14 und DHM25
16	teff_q0711	Top Effinger Schichten unter Top Fels	Raster	berechnet aus 14 und 1
17	FaziesgrenzenDogger	Faziesgrenzen im Dogger	Linien-Shapefile	Grundlagendaten-satz
18	Tekt_Regime 080820	Tektonisches Regime und Sicherheitsabstand von regionalen Störungszonen	Polygon-Shapefile	Grundlagendaten-satz
19	Grenze_subj_rhein	Ostgrenze der Zone mit dichtem rheinischem Störungsmuster	Linien-Shapefile	Grundlagendaten-satz
20	Tekt_Grossräume 080908	Tektonische Grossräume der Schweiz	Polygon-Shapefile	Grundlagendaten-satz

21	BewertungPlatzan gebotRisiko_Aw	Bewertung Platzangebot der Standortgebiete	Datenbank- Tabelle	Grundlagendaten- satz
22	EG_Bereiche080 424	potentielle Standortbereiche vor Beurteilung des Platzbedarfes	Polygon- Shapefile	berechnet durch Verschnittprozess
23	Regio_081022n	Standortgebiete	Polygon- Shapefile	berechnet aus 22 und 21
24	opa_sma_verbreit ung	Verbreitung Opalinuston für SMA innerhalb CH	Polygon- Shapefile	Zwischenprodukt Verschnittprozess
25	opa_haa_verb_ch	Verbreitung Opalinuston für HAA innerhalb CH	Polygon- Shapefile	Zwischenprodukt Verschnittprozess
26	Dogger_Verbreitu ng_CH	Verbreitung Brauner Dogger innerhalb CH	Polygon- Shapefile	Zwischenprodukt Verschnittprozess
27	Eff_verb_ch_Diss olve	Verbreitung Effinger Schichten innerhalb CH	Polygon- Shapefile	Zwischenprodukt Verschnittprozess
28	OPA_SMA_MA	Opalinuston erfüllt Mindestanforderungen SMA	Polygon- Shapefile	Zwischenprodukt Verschnittprozess
29	OPA_HAA_MA	Opalinuston erfüllt Mindestanforderungen HAA	Polygon- Shapefile	Zwischenprodukt Verschnittprozess
30	Dogger_MA	Brauner Dogger erfüllt Mindestanforderungen	Polygon- Shapefile	Zwischenprodukt Verschnittprozess
31	Eff_MA	Effinger Schichten erfüllt Mindestanforderungen	Polygon- Shapefile	Zwischenprodukt Verschnittprozess
32	Strukturen_Seism ik_NCH090204ex	korrelierbare Strukturen aus der Seismikinterpretation auf den Niveaus der Markerhorizonte	Linien-Shapefile	Grundlagendaten- satz
33	Stukturen_Seismi k_Symbole_NCH _090204Ex	nicht korrelierbare Strukturen aus der Seismikinterpretation	Punkt-Shapefile	Grundlagendaten- satz
34	Stoerungen_tekt_ Perimeter_09020 4n	Störungen nach tektonischen Karten (an Geländeoberfläche)	Linien-Shapefile	Grundlagendaten- satz
35	Reg_Strukturen_0 90204	generalisierte regionale Störungszonen	Linien-Shapefile	Grundlagendaten- satz
36	Profile080521_Me rge090209	Spuren der Profile aus Nagra NTB 08-04	Linien-Shapefile	Grundlagendaten- satz
37	nagralinien_0903 25	Spuren der Nagra-Seismiklinien im Untersuchungsgebiet	Linien-Shapefile	Grundlagendaten- satz
38	Fremdlinien_0903 27	Spuren der Seismiklinien (nicht Nagra) im Untersuchungsgebiet	Linien-Shapefile	Grundlagendaten- satz
39	Nagra_Op_07102 9_Ex	Datenbank der CDPs aus den Nagra-Seismiklinien mit Tiefen- angabe der Markerhorizonte	Datenbank- Tabelle	Grundlagendaten- satz
40	bohr090417_BQ	relevante Bohrungen für Basis Quartär	Datenbank- Tabelle	Grundlagendaten- satz
41	bohr_meso09040 9n	Bohrungen mit Informationen zu den mesozoischen Formationen	Datenbank- Tabelle	Grundlagendaten- satz

Untersuchungsperimeter



Dr. von Moos AG, Zürich/7.7.09/KD/8833-Untersuchungsperimeter.mxd

Abbildung 1.1: ungefähre Umgrenzung des im GIS-Verschnittprozess untersuchten Gebietes

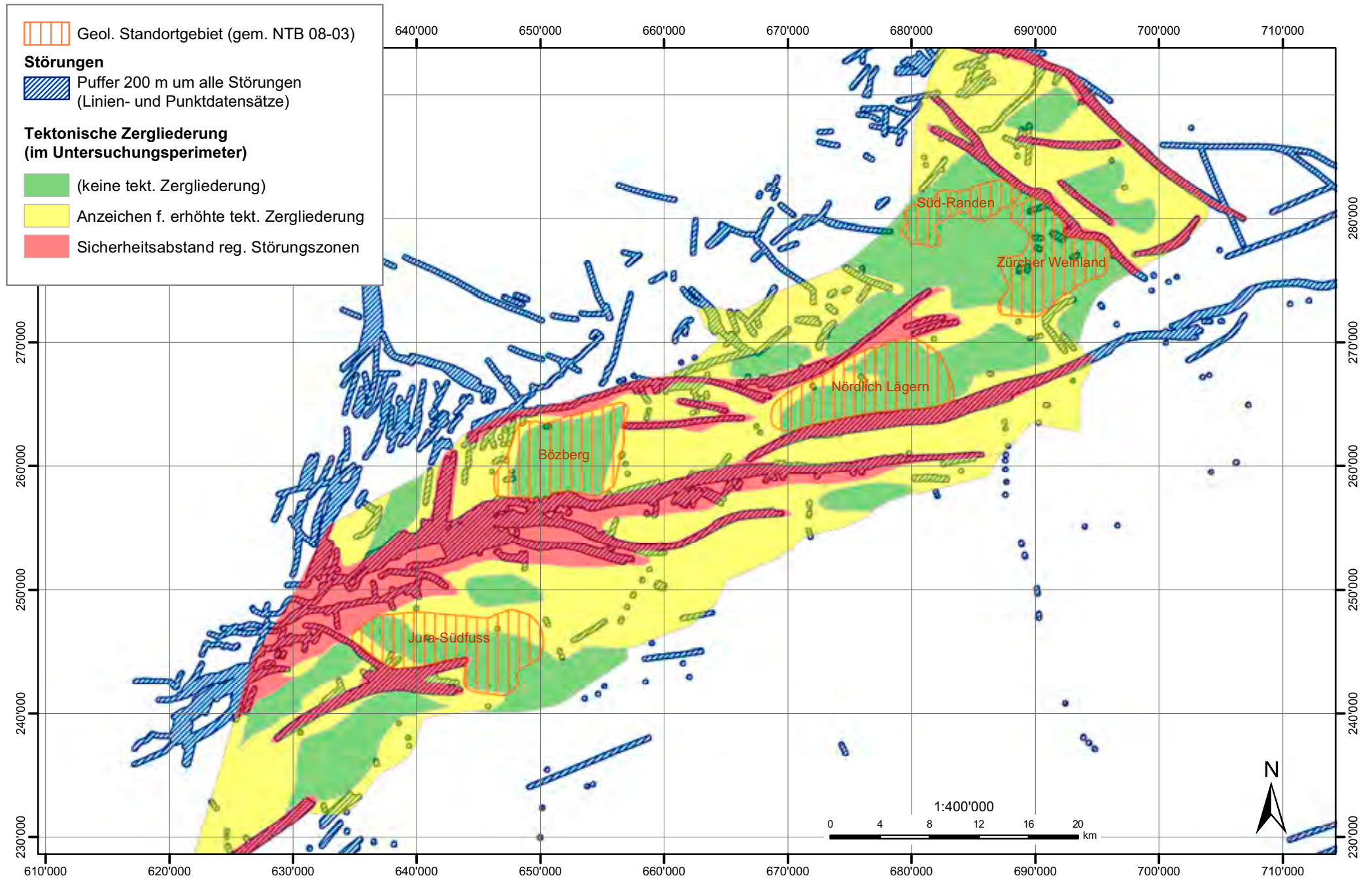


Abbildung 4.1: Tektonisches Regime, Übersicht

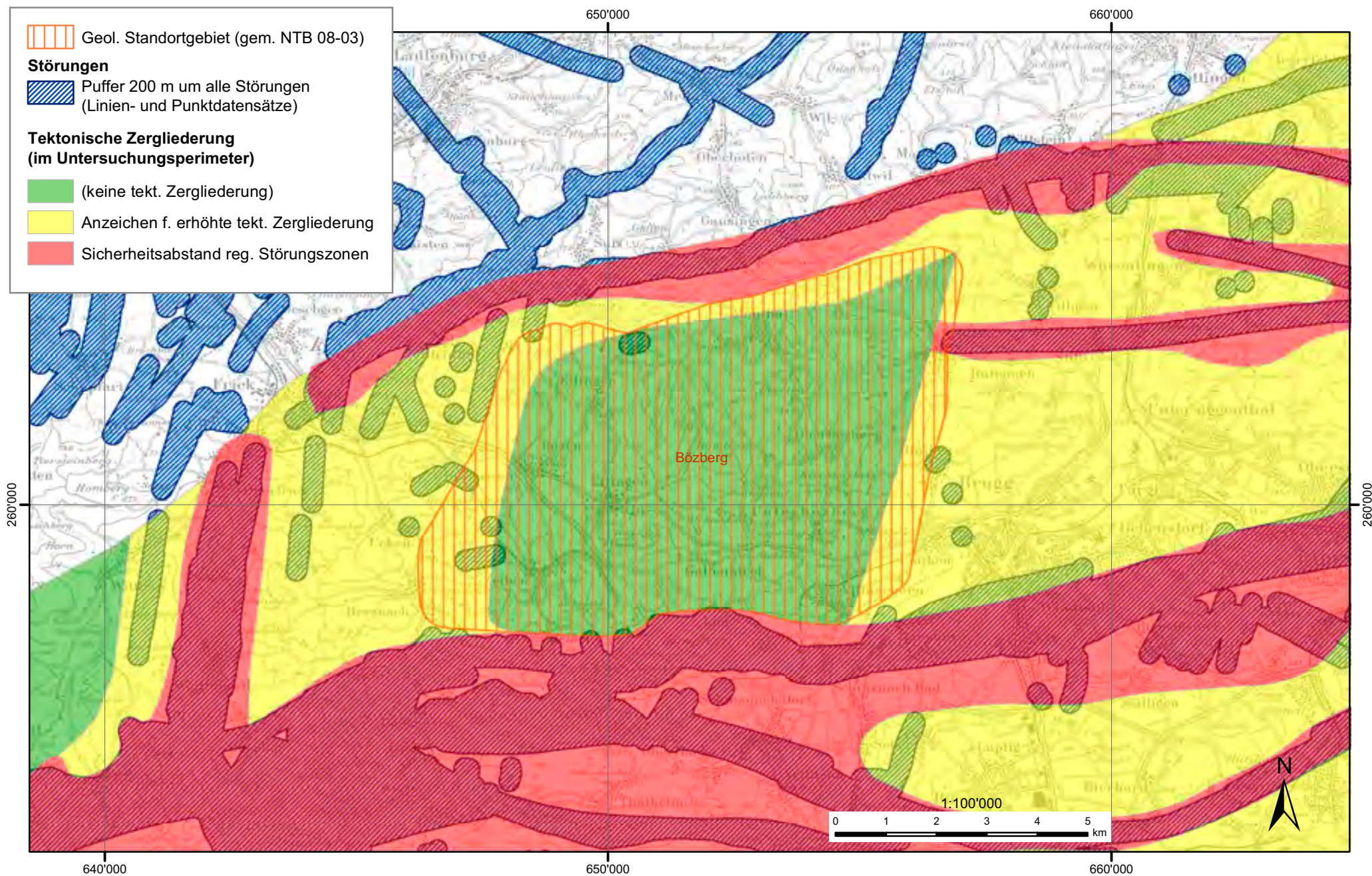


Abbildung 4.2: Tektonisches Regime, Detailkarte Bözberg

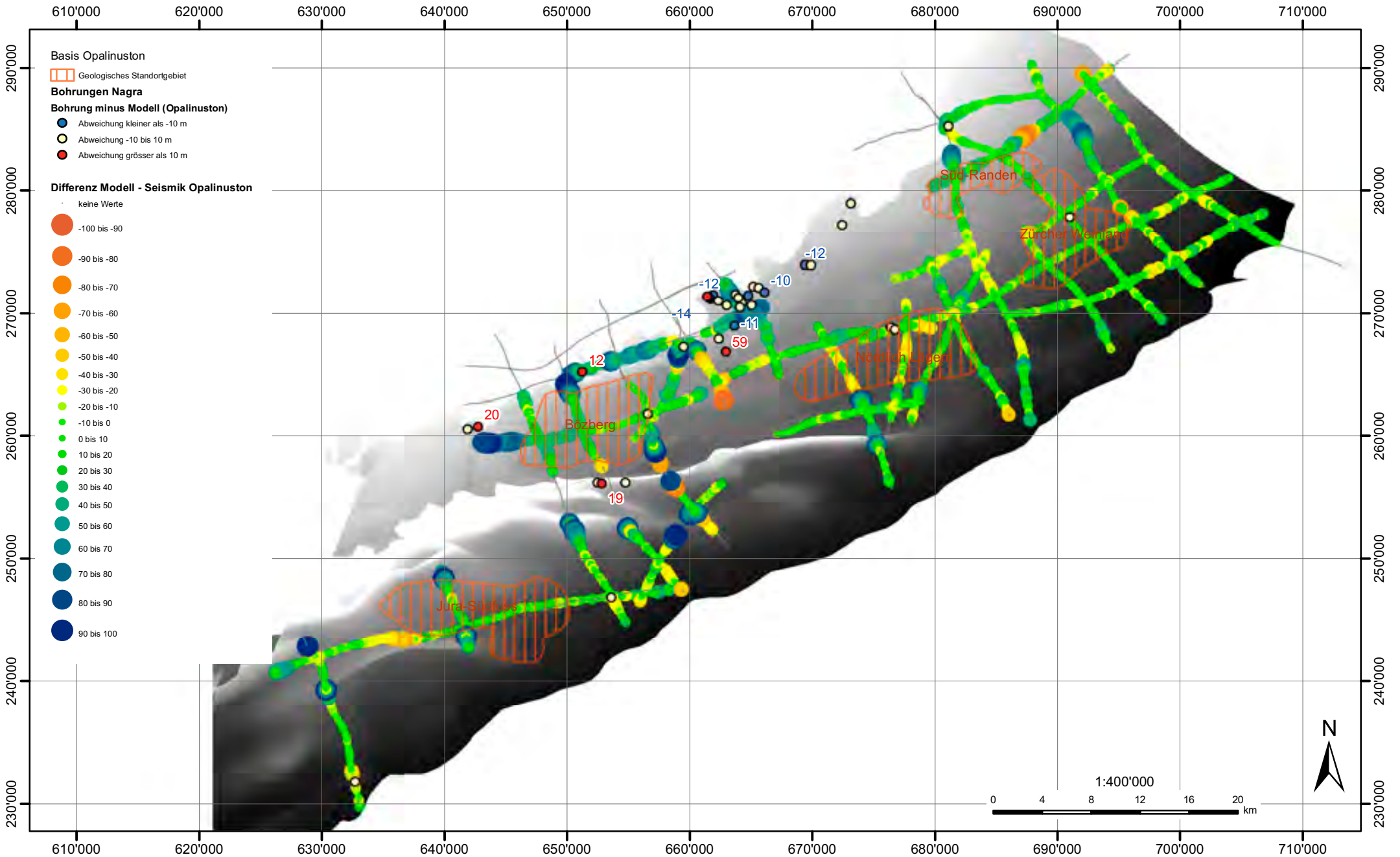


Abbildung 4.3: Differenz Bohrdaten und CDP-Daten zum Modell Basis Opalinuston

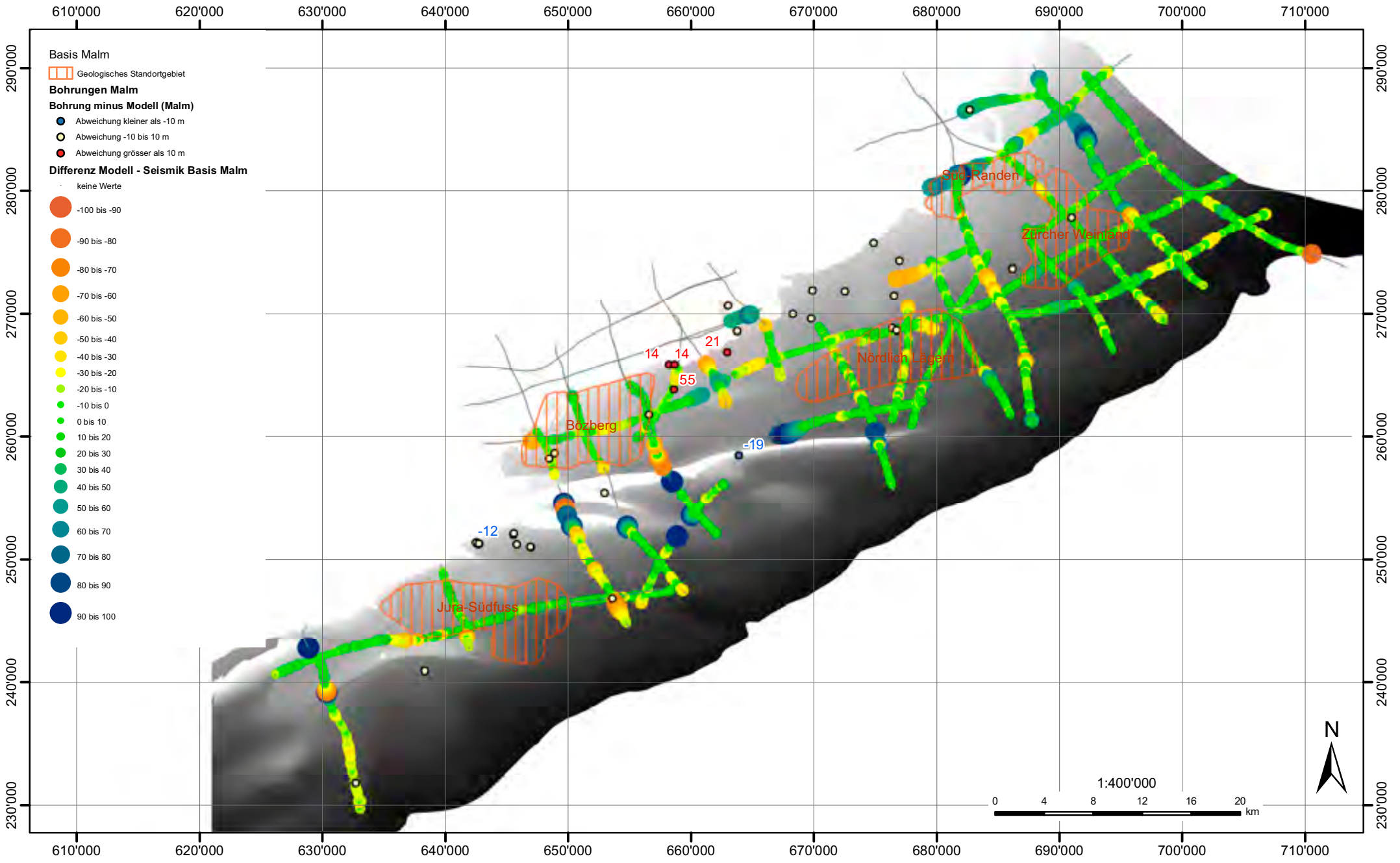


Abbildung 4.4: Differenz Bohrdaten und CDP-Daten zum Modell Basis Malm

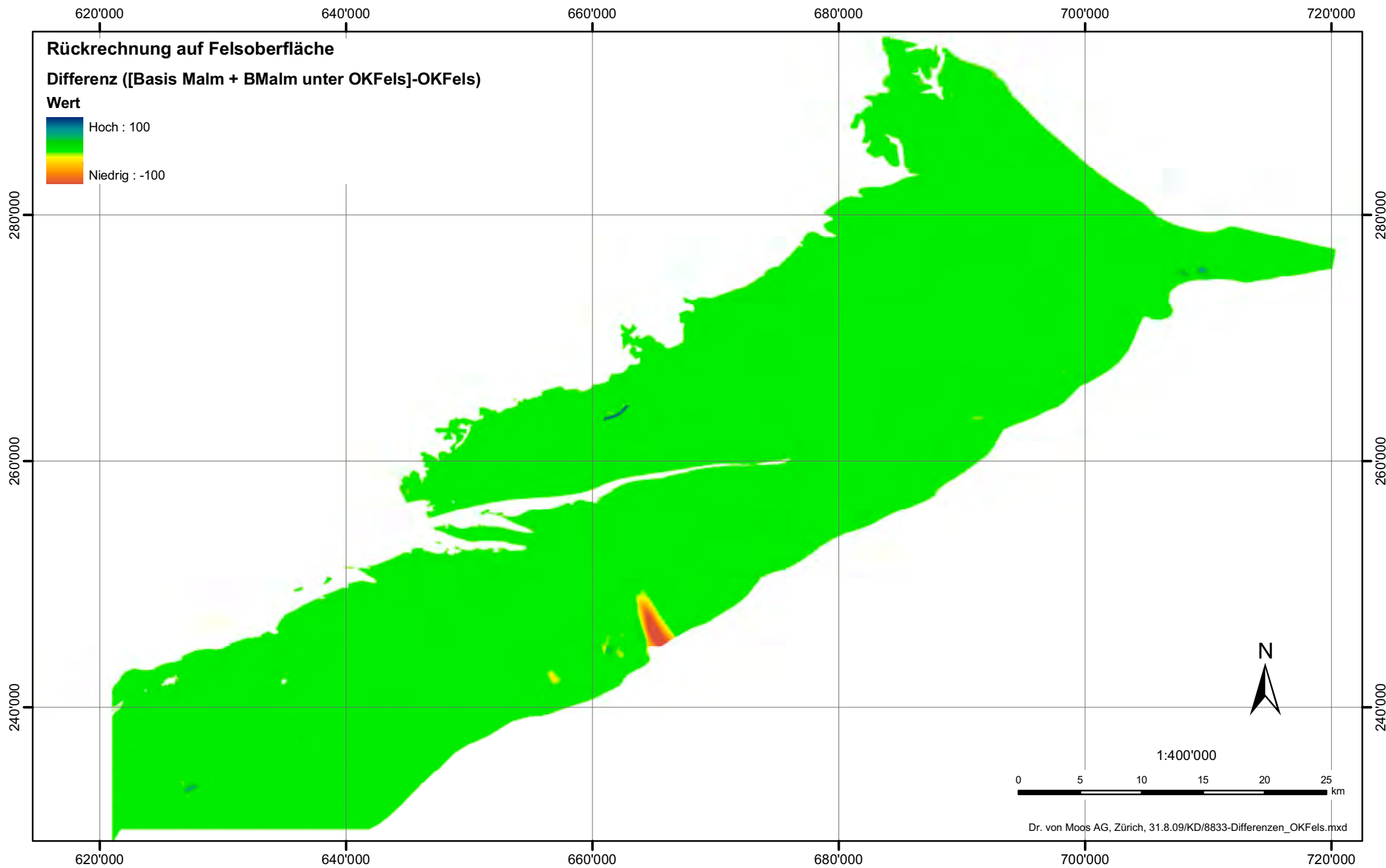
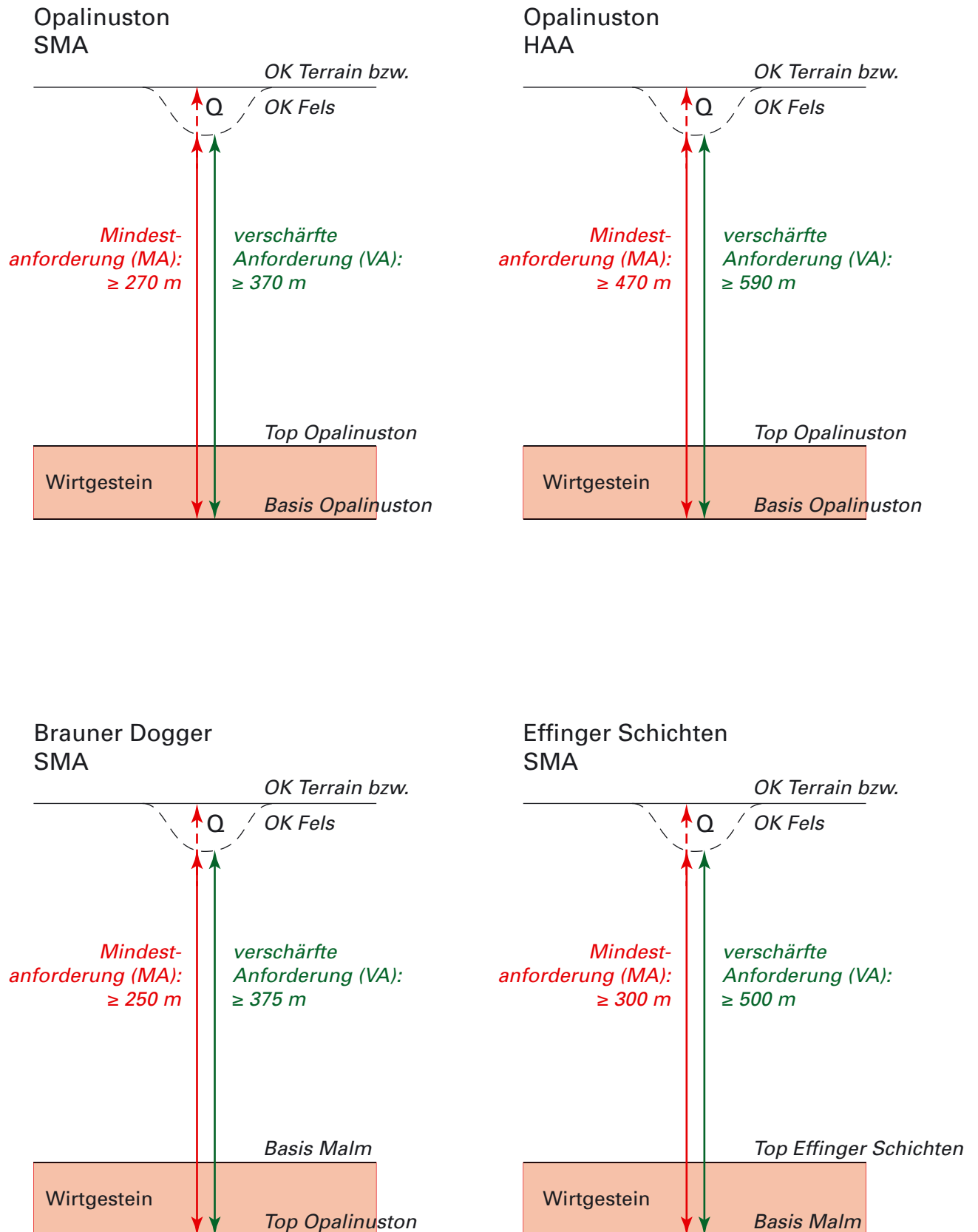


Abbildung 4.5: Rückrechnung Basis Malm auf OK Fels zeigt Differenzen wegen nachträglicher Verfeinerung des Datensatzes Felsoberfläche



Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Terrain für Opalinuston, SMA, Süd-Randen

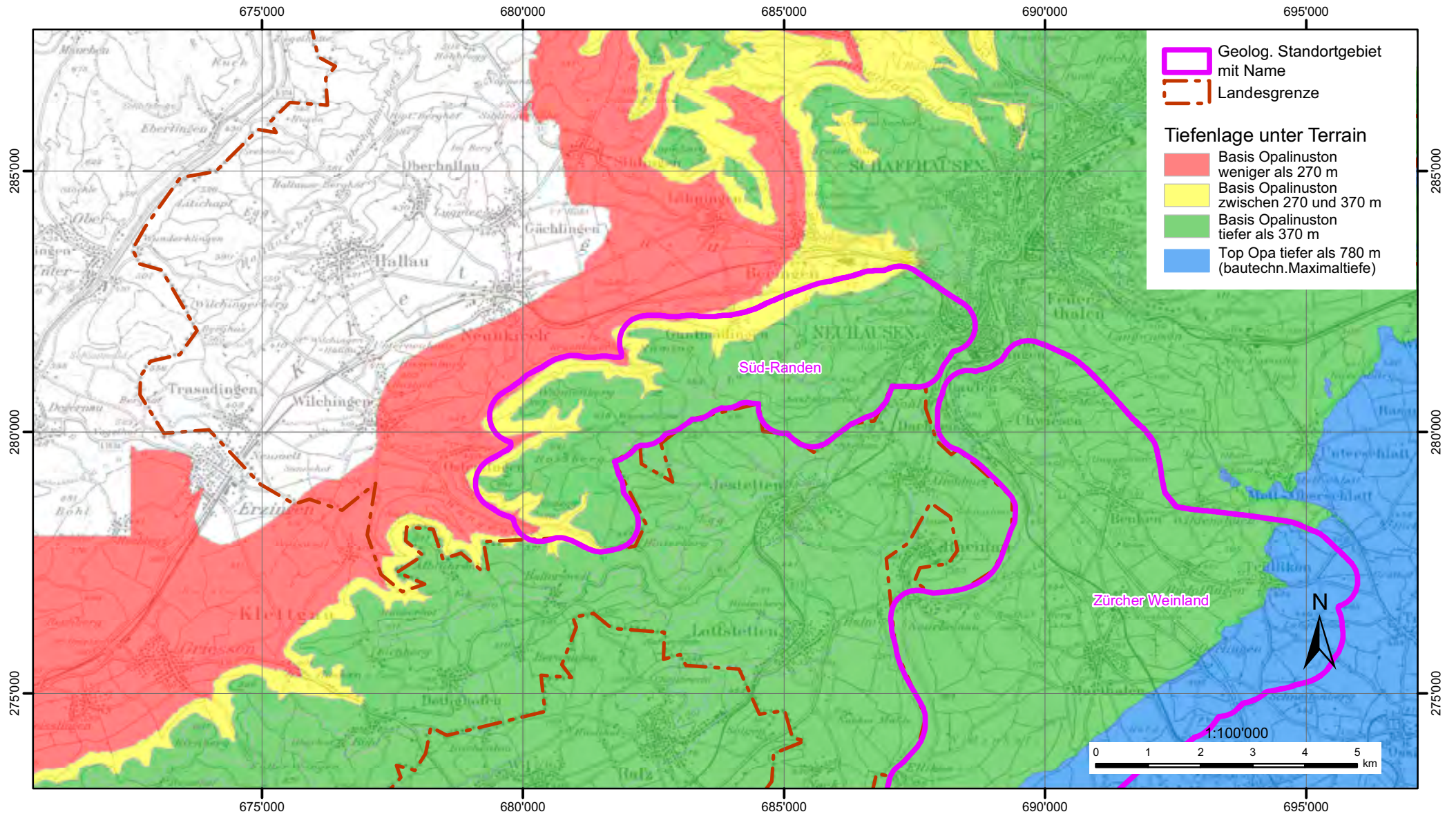


Abbildung 5.2

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Fels für Opalinuston, SMA, Süd-Randen

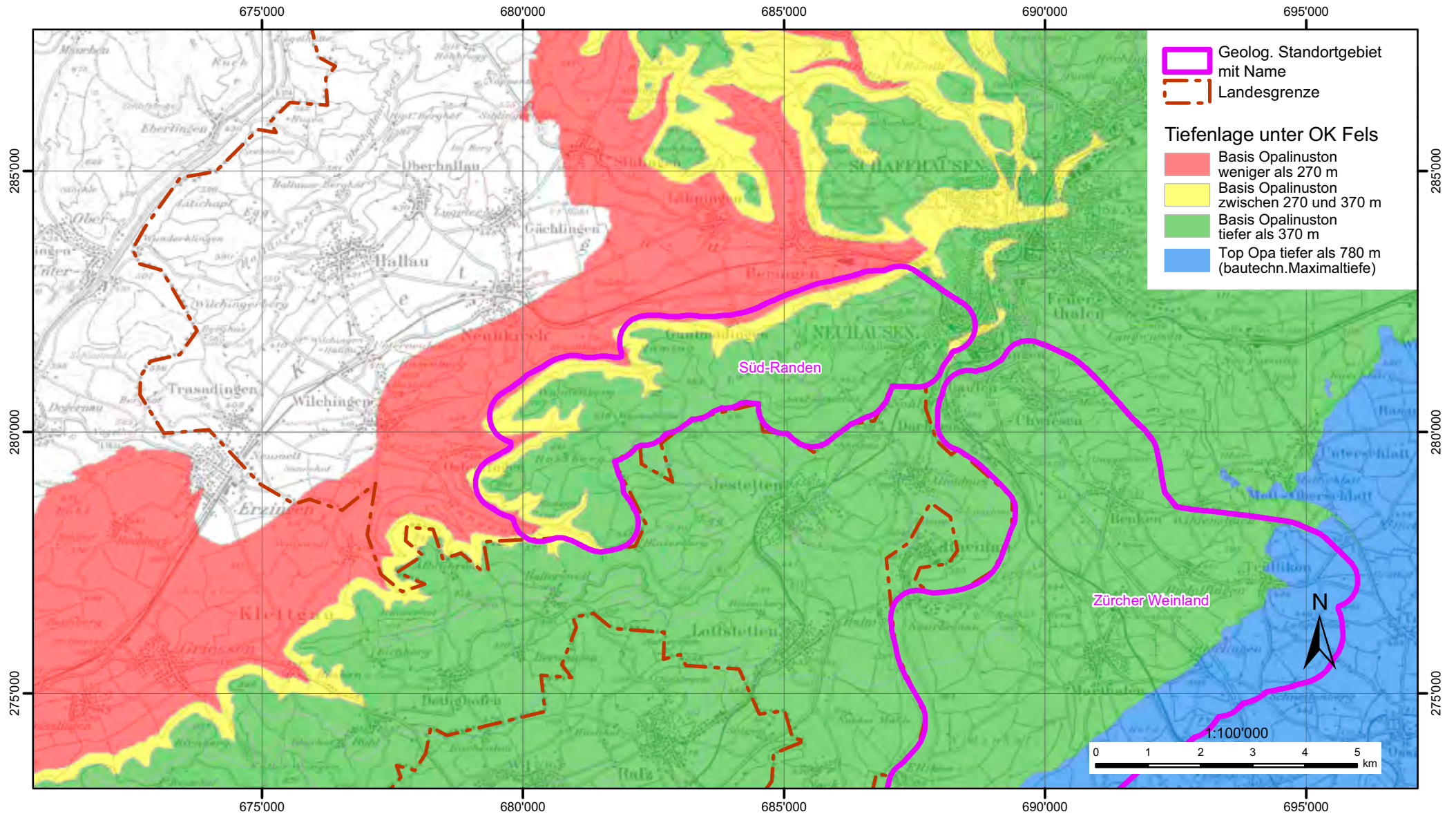


Abbildung 5.3

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Terrain für Opalinuston, SMA, Zürcher Weinland

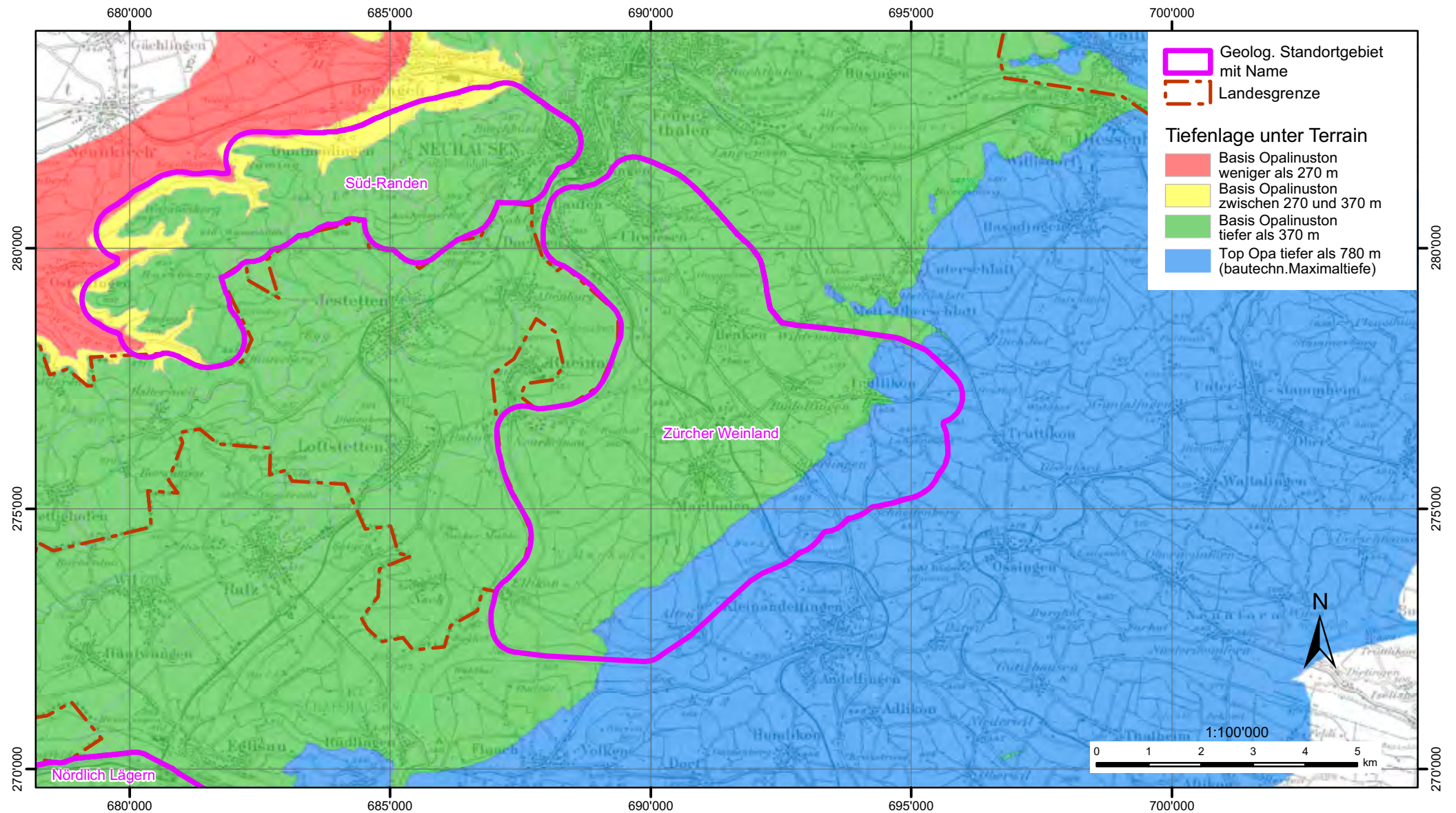


Abbildung 5.4

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Fels für Opalinuston, SMA, Zürcher Weinland

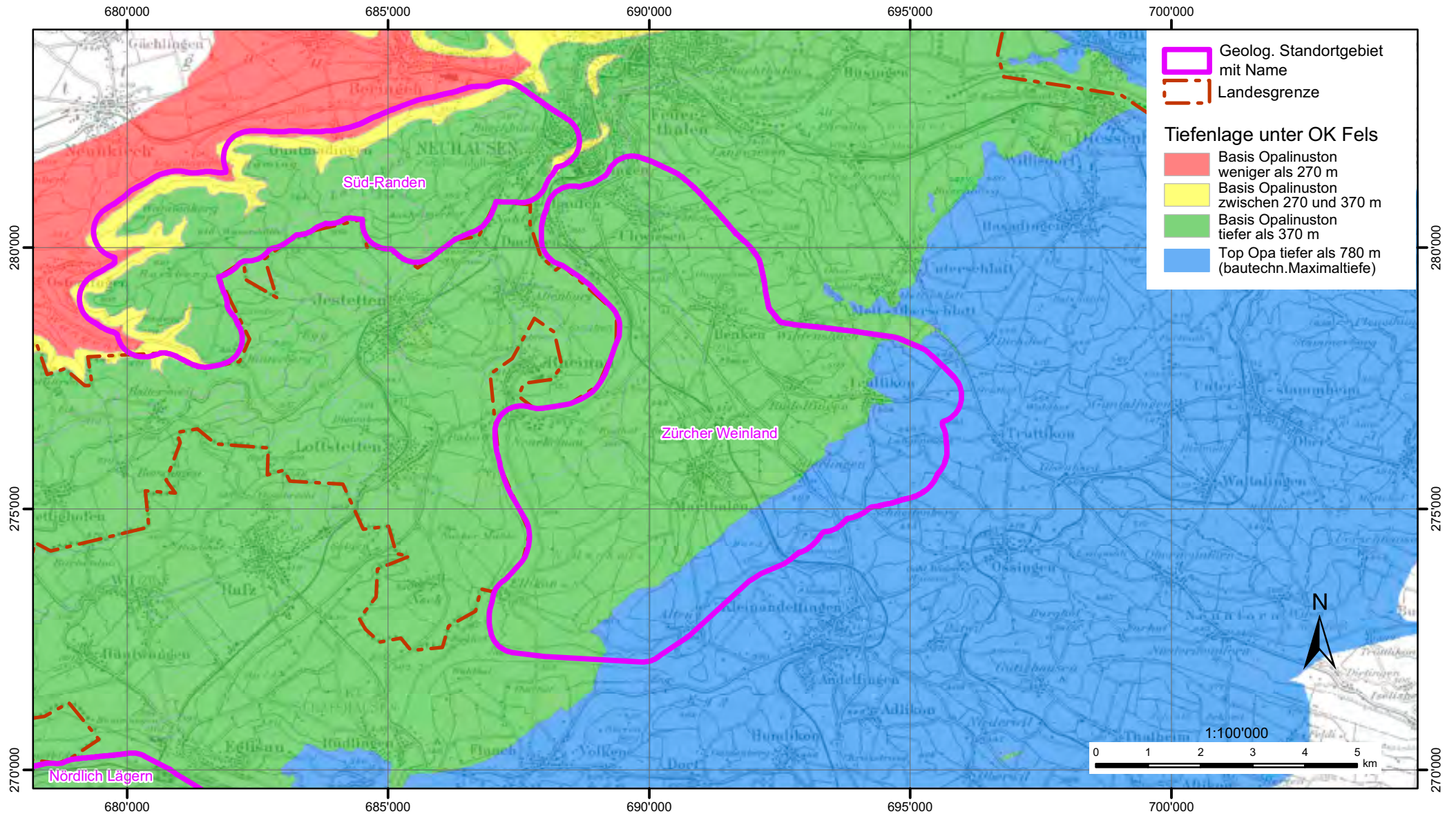


Abbildung 5.5

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Terrain für den Braunen Dogger, SMA, Zürcher Weinland

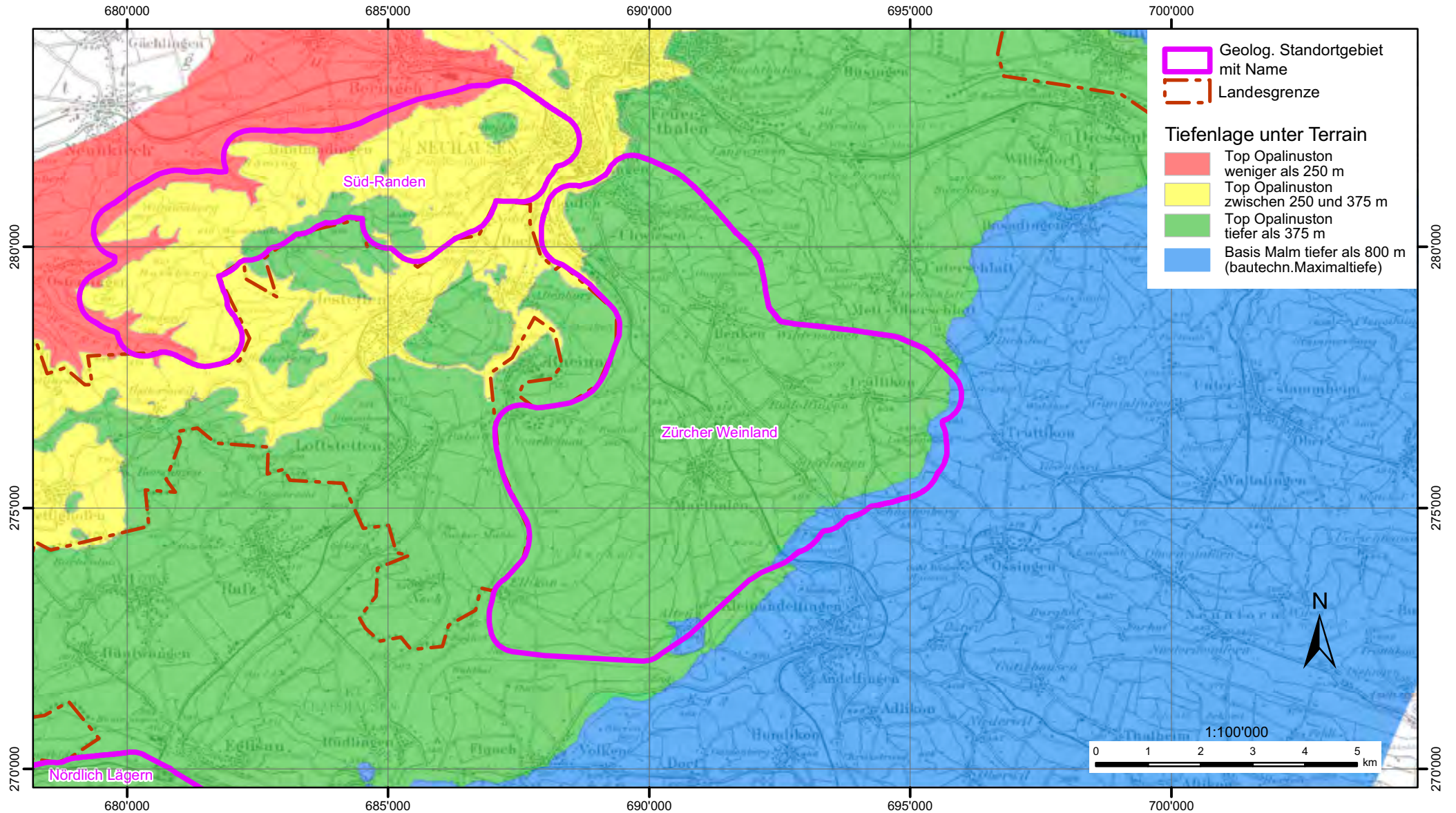


Abbildung 5.6

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Fels für den Braunen Dogger, SMA, Zürcher Weinland

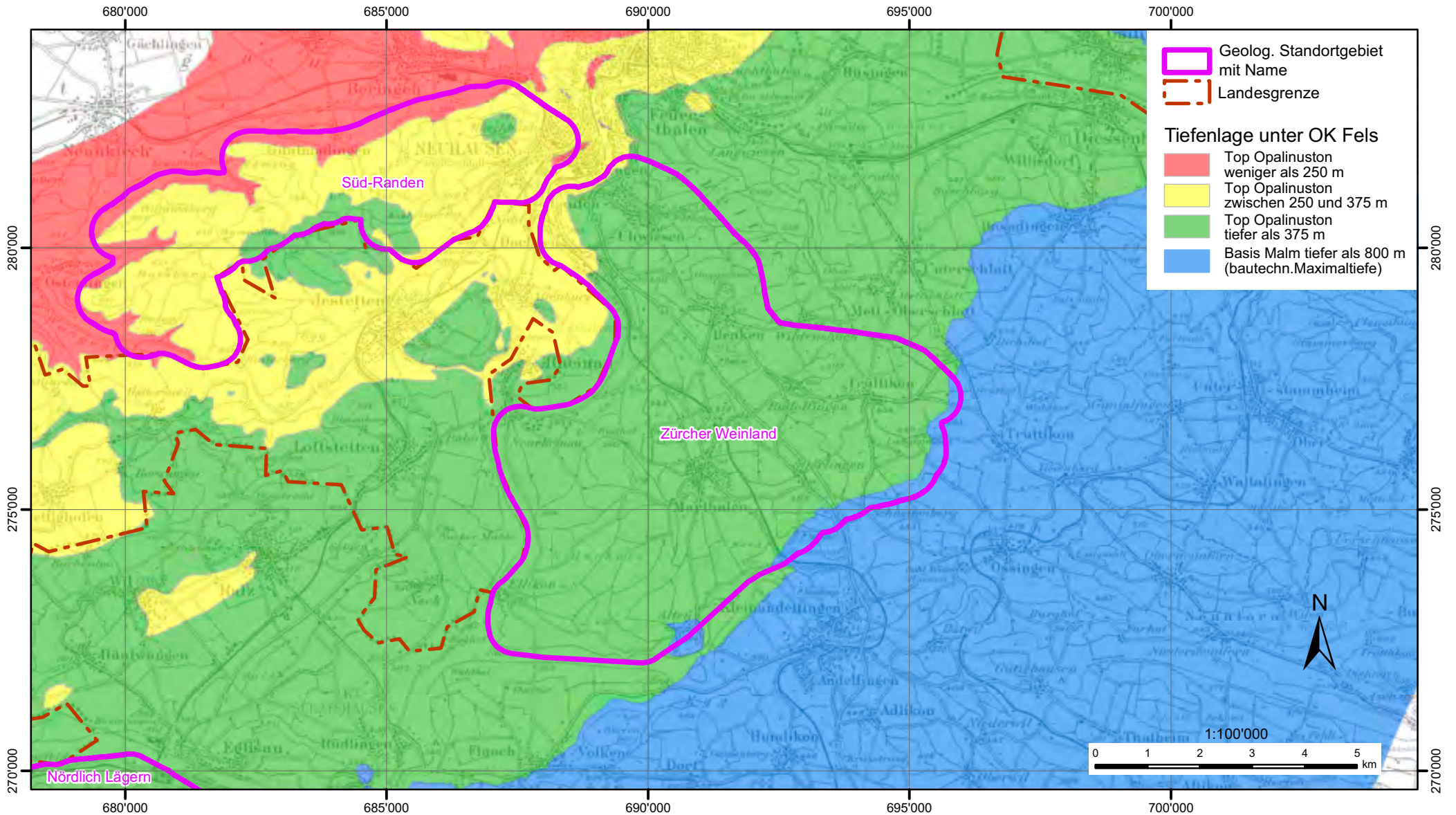


Abbildung 5.7

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Terrain für Opalinuston, HAA, Zürcher Weinland

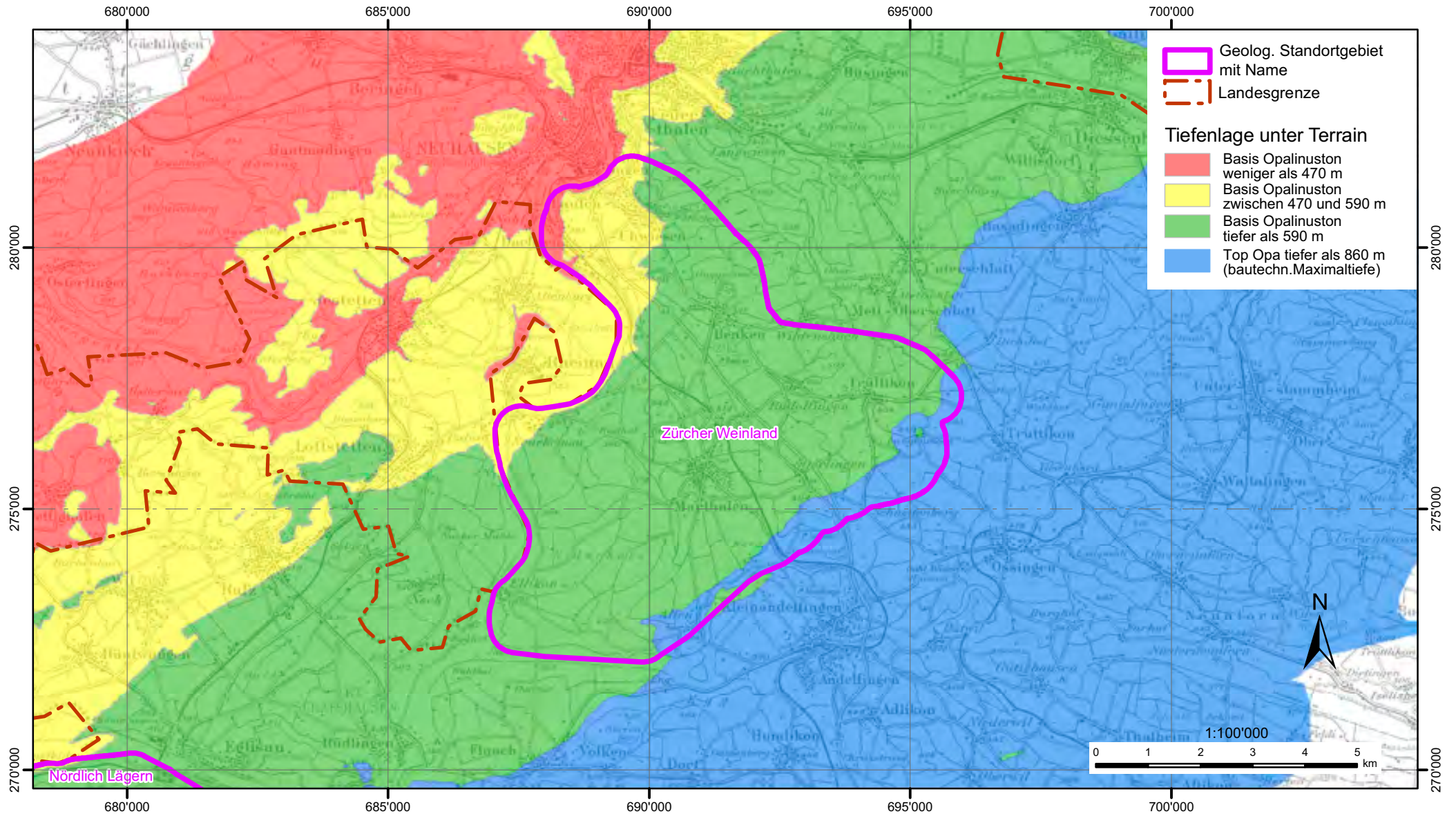


Abbildung 5.8

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Fels für Opalinuston, HAA, Zürcher Weinland

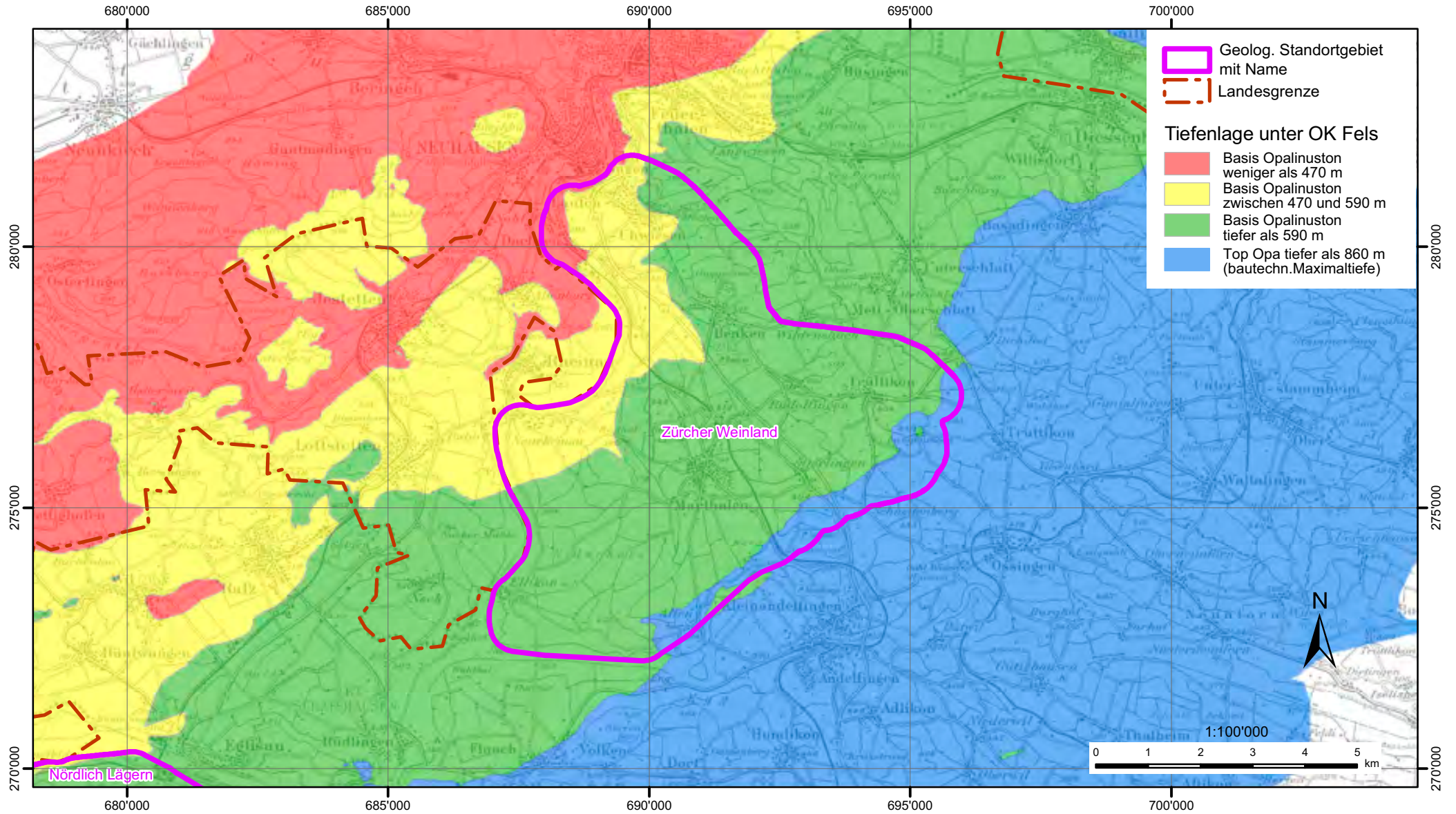


Abbildung 5.9

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Terrain für Opalinuston, SMA, Nördlich Lägern

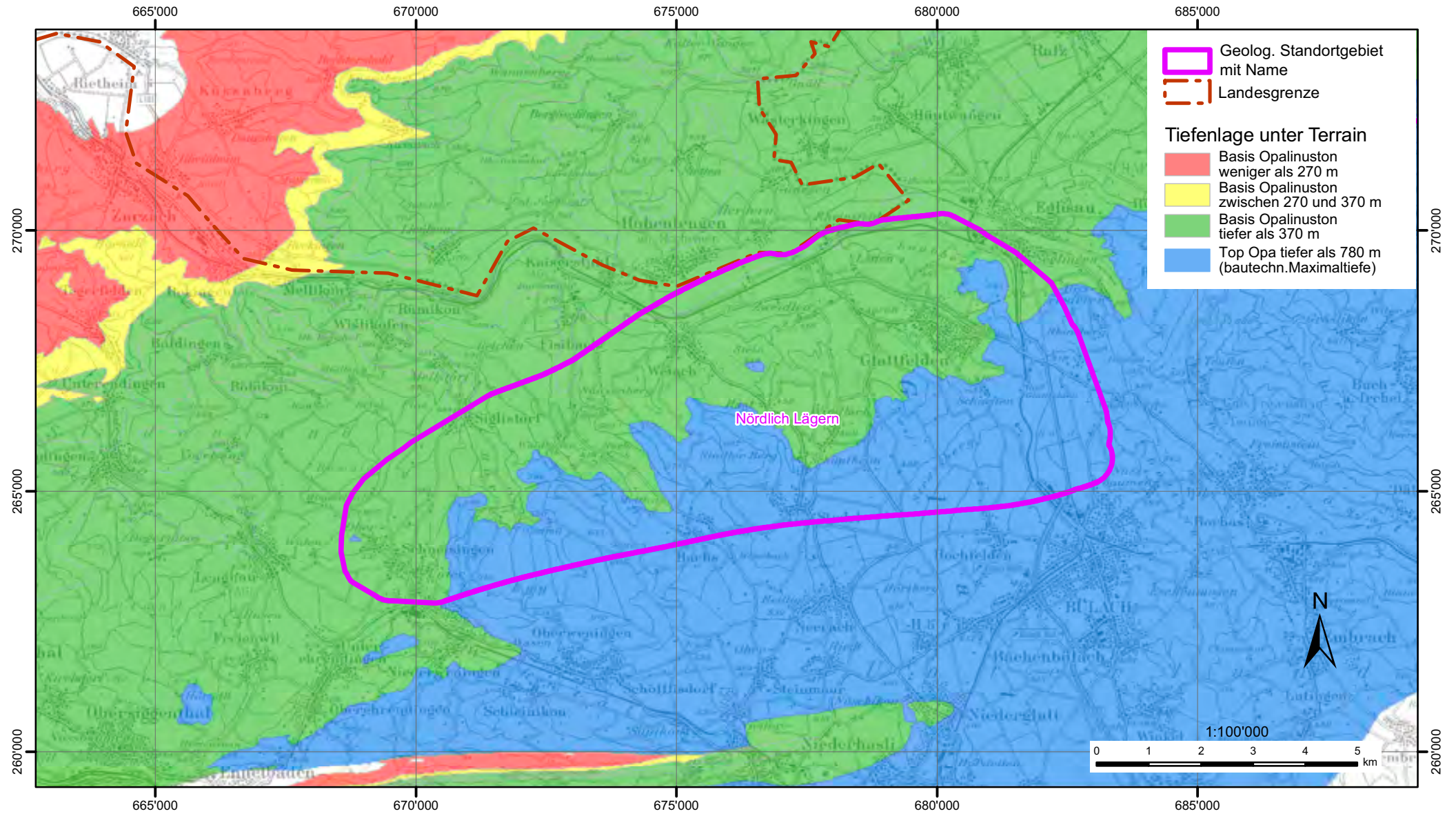


Abbildung 5.10

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Fels für Opalinuston, SMA, Nördlich Lägern

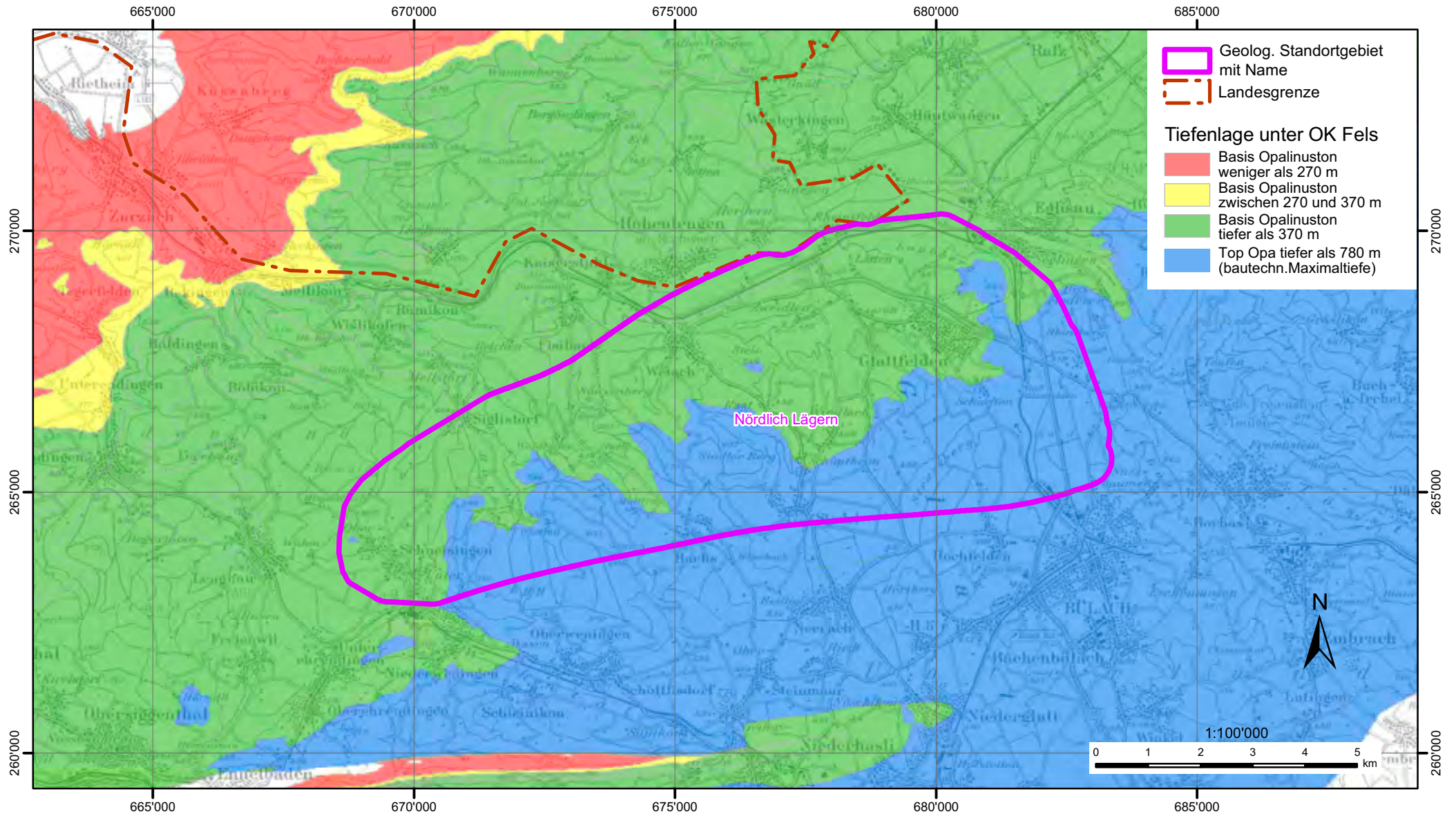


Abbildung 5.11

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Terrain für den Braunen Dogger, SMA, Nördlich Lägern

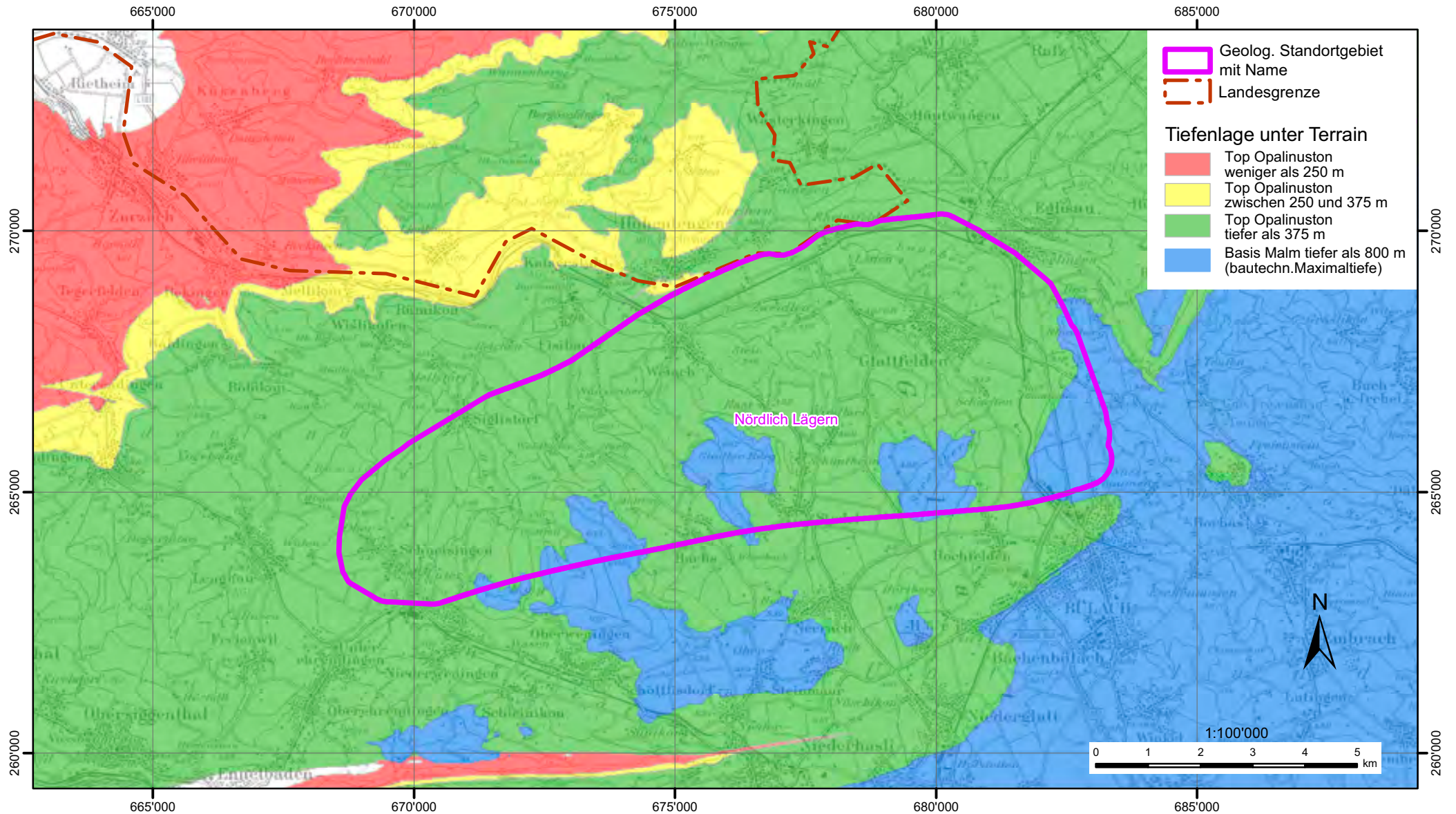


Abbildung 5.12

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Fels für den Braunen Dogger, SMA, Nördlich Lägern

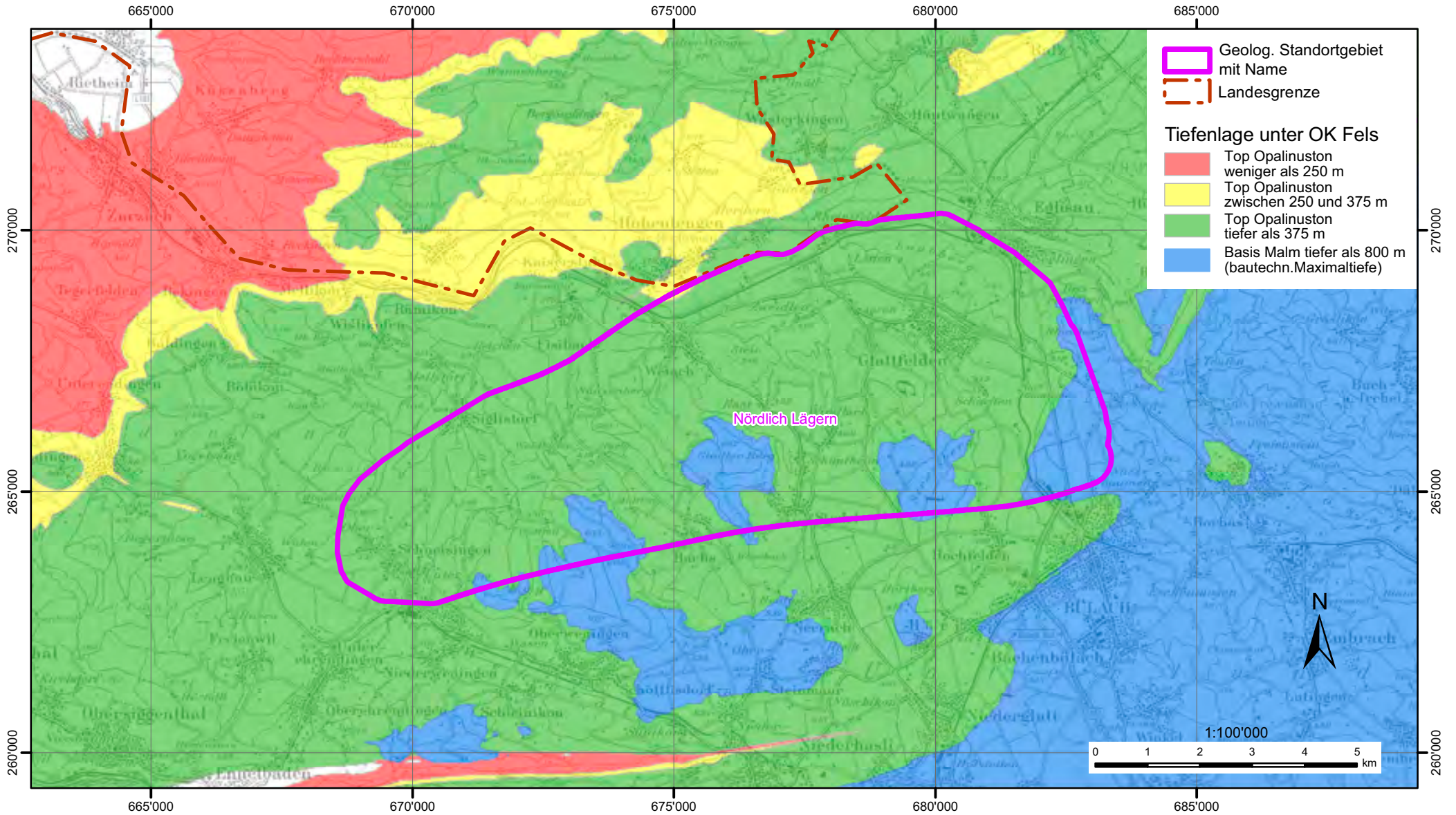


Abbildung 5.13

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Terrain für Opalinuston, HAA, Nördlich Lägern

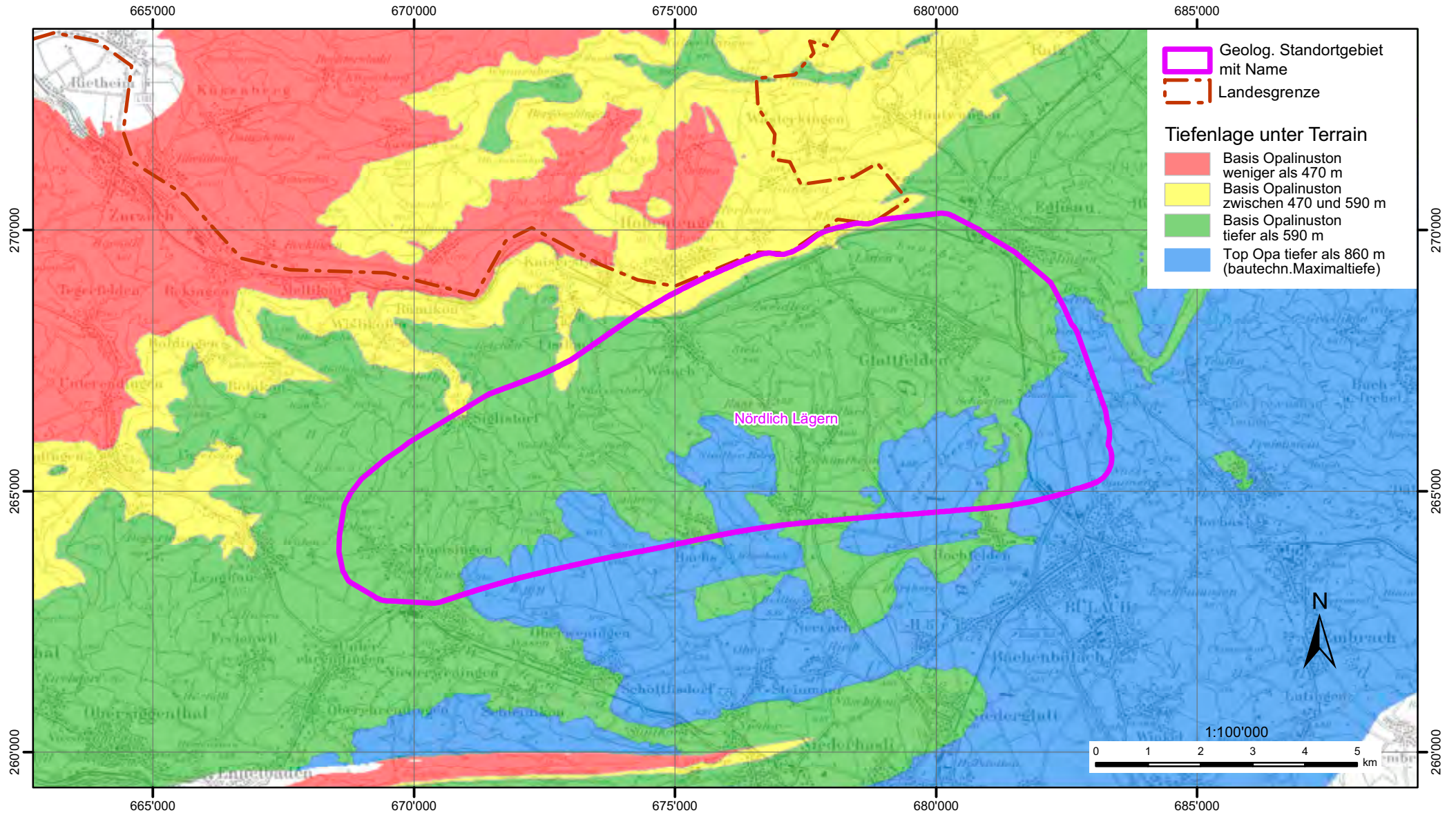


Abbildung 5.14

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Fels für Opalinuston, HAA, Nördlich Lägern

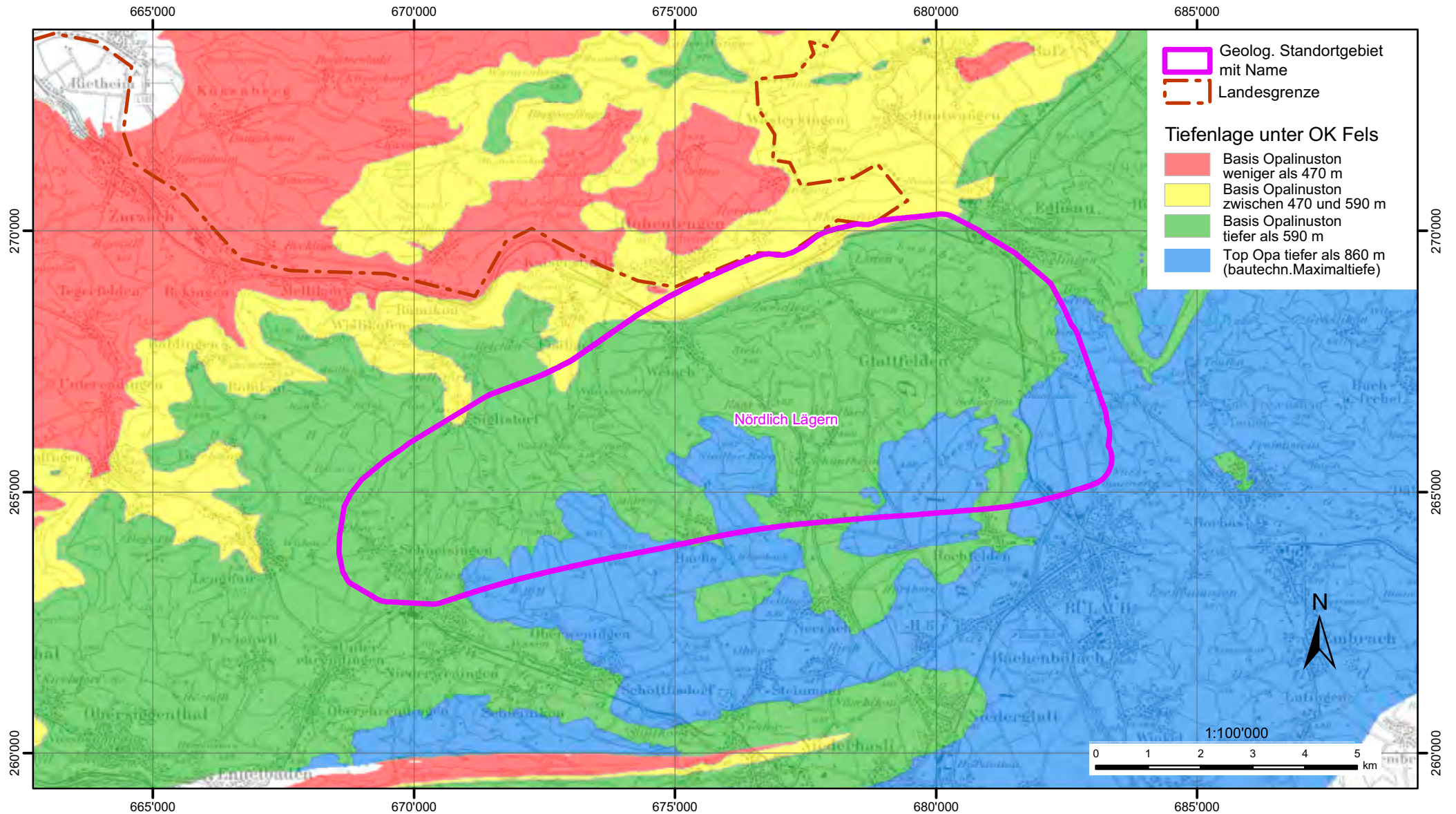


Abbildung 5.15

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Terrain für Opalinuston, SMA, Bözberg

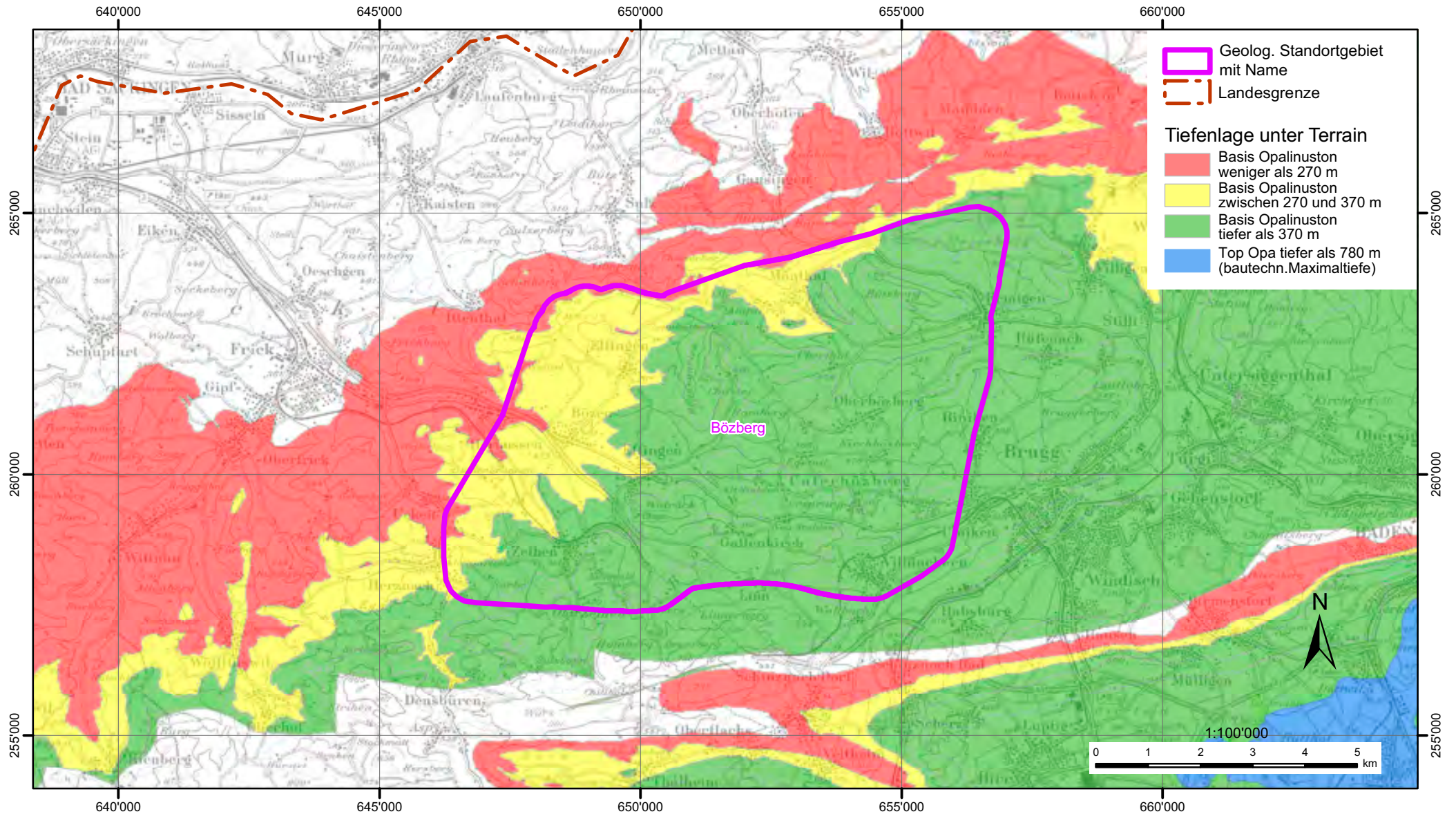


Abbildung 5.16

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Fels für Opalinuston, SMA, Bözberg

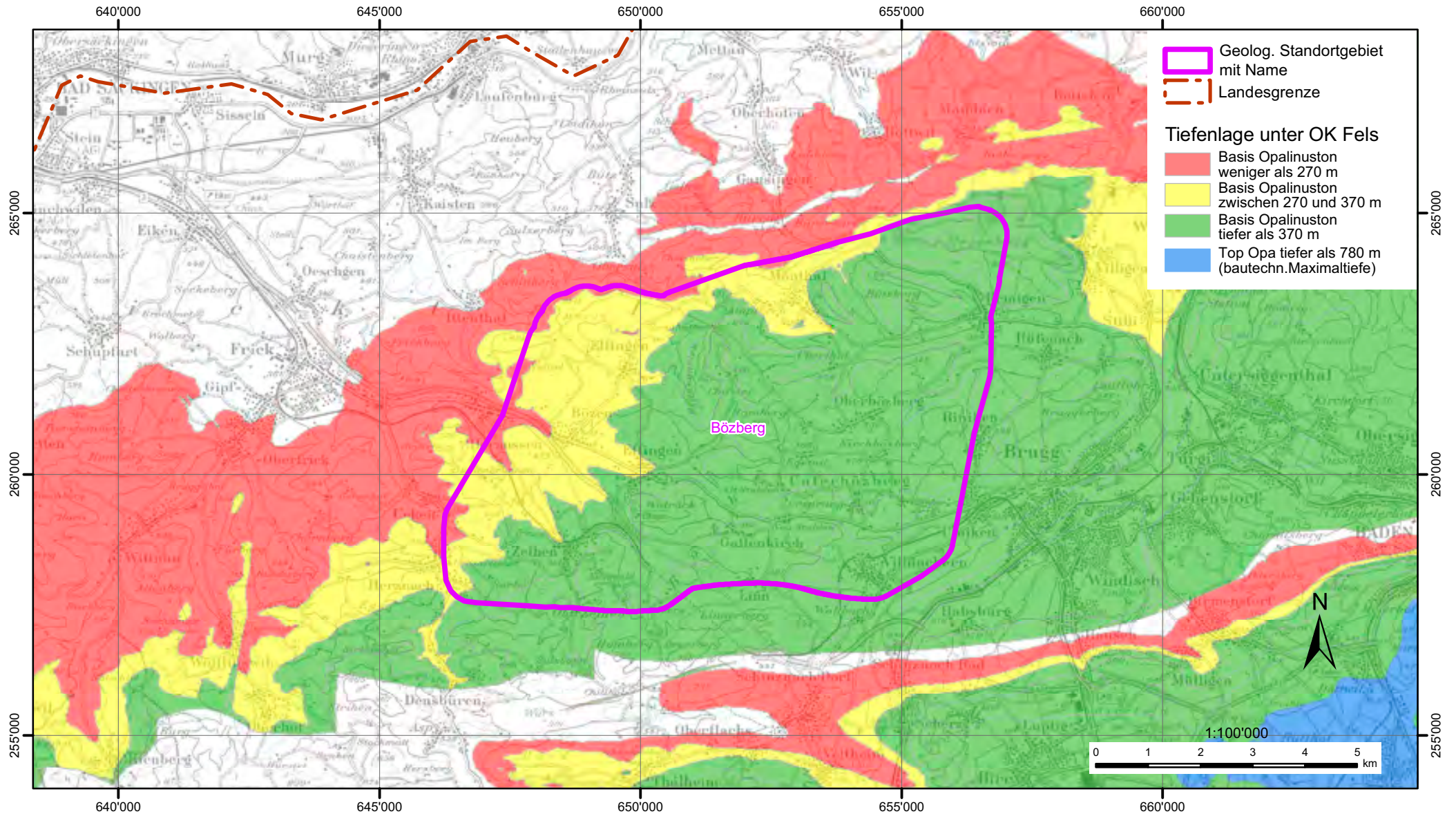


Abbildung 5.17

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Terrain für Opalinuston, HAA, Bözberg

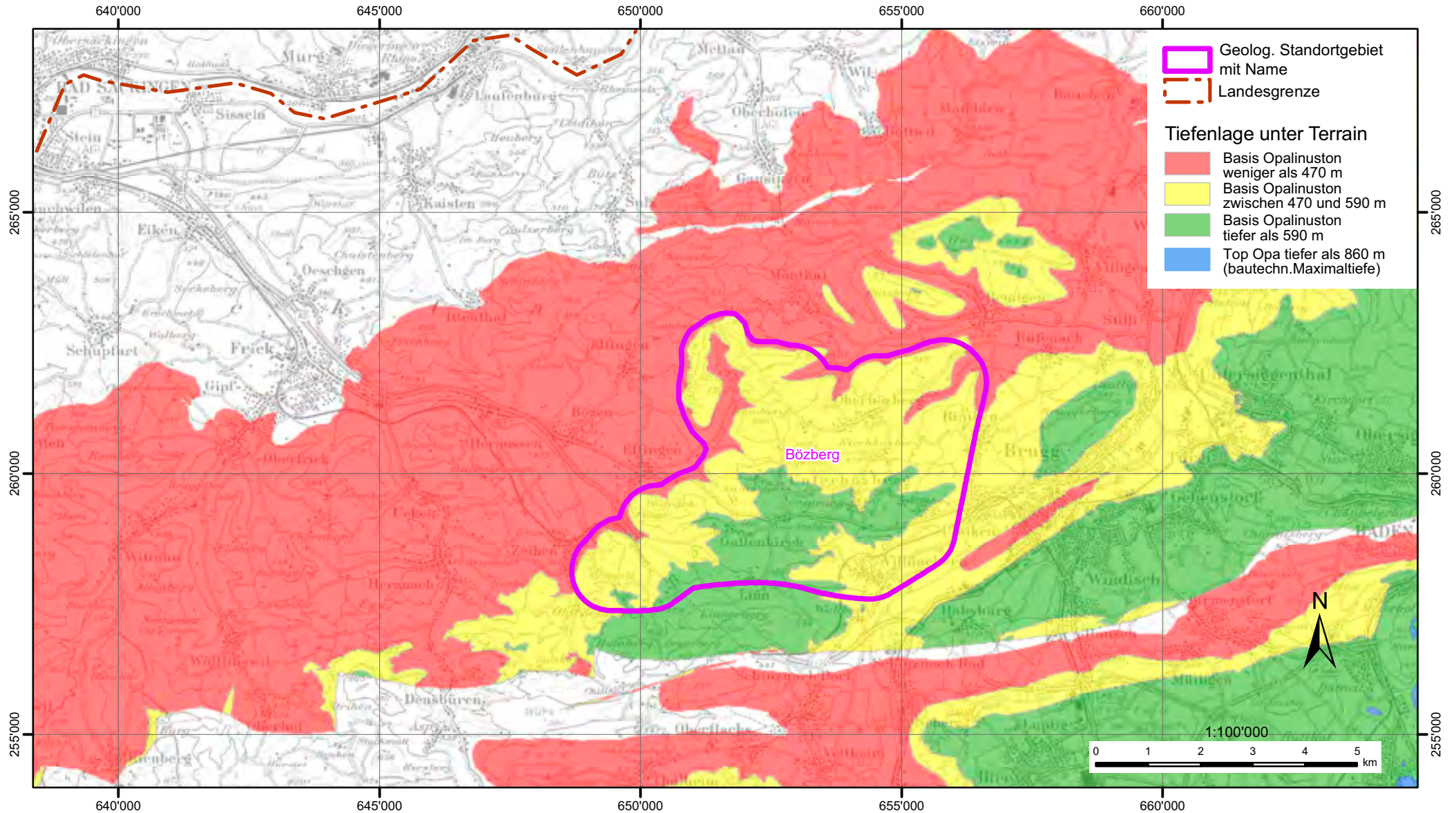


Abbildung 5.18

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Fels für Opalinuston, HAA, Bözberg

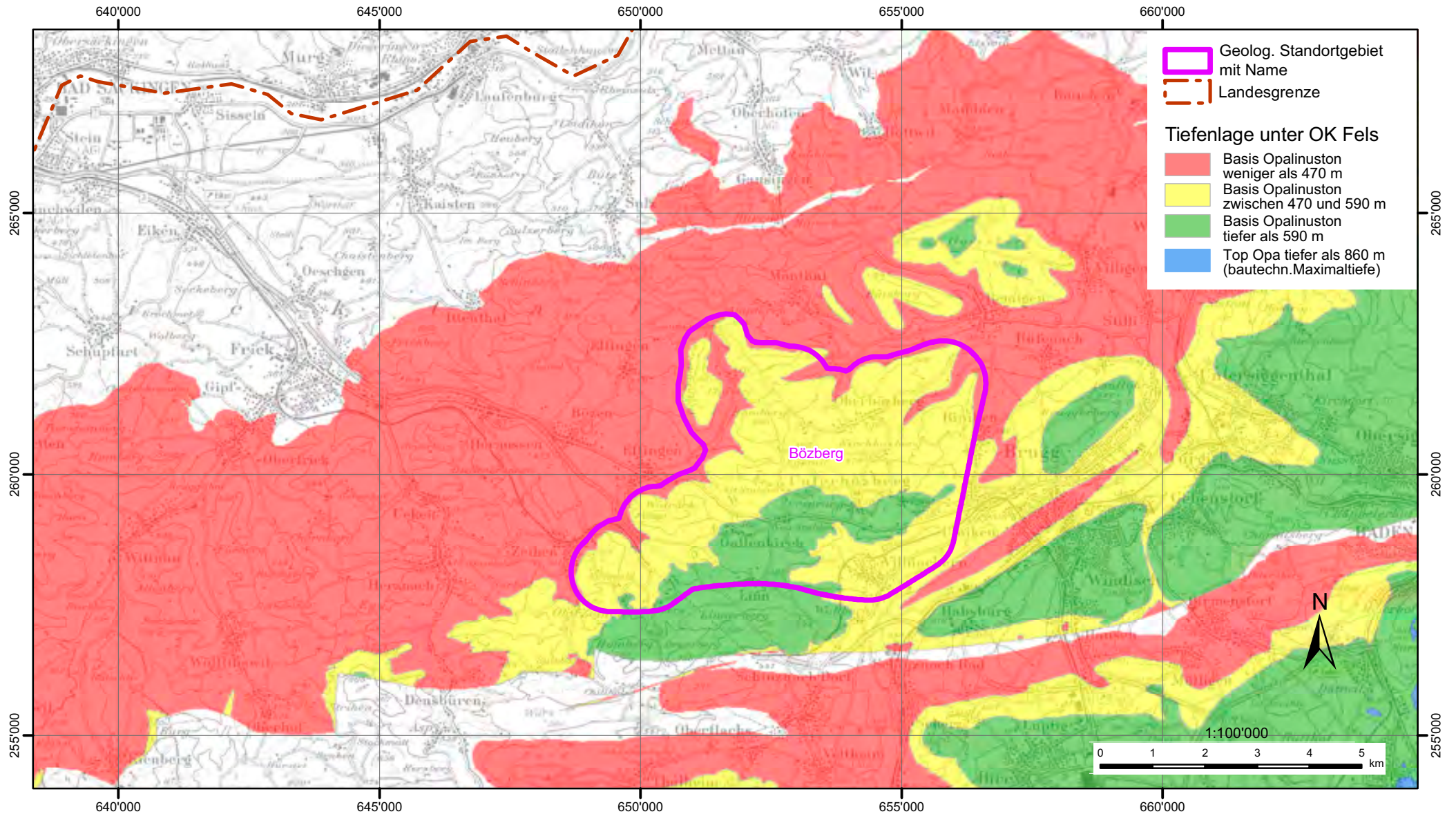


Abbildung 5.19

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Terrain für Opalinuston, SMA, Jura-Südfuss

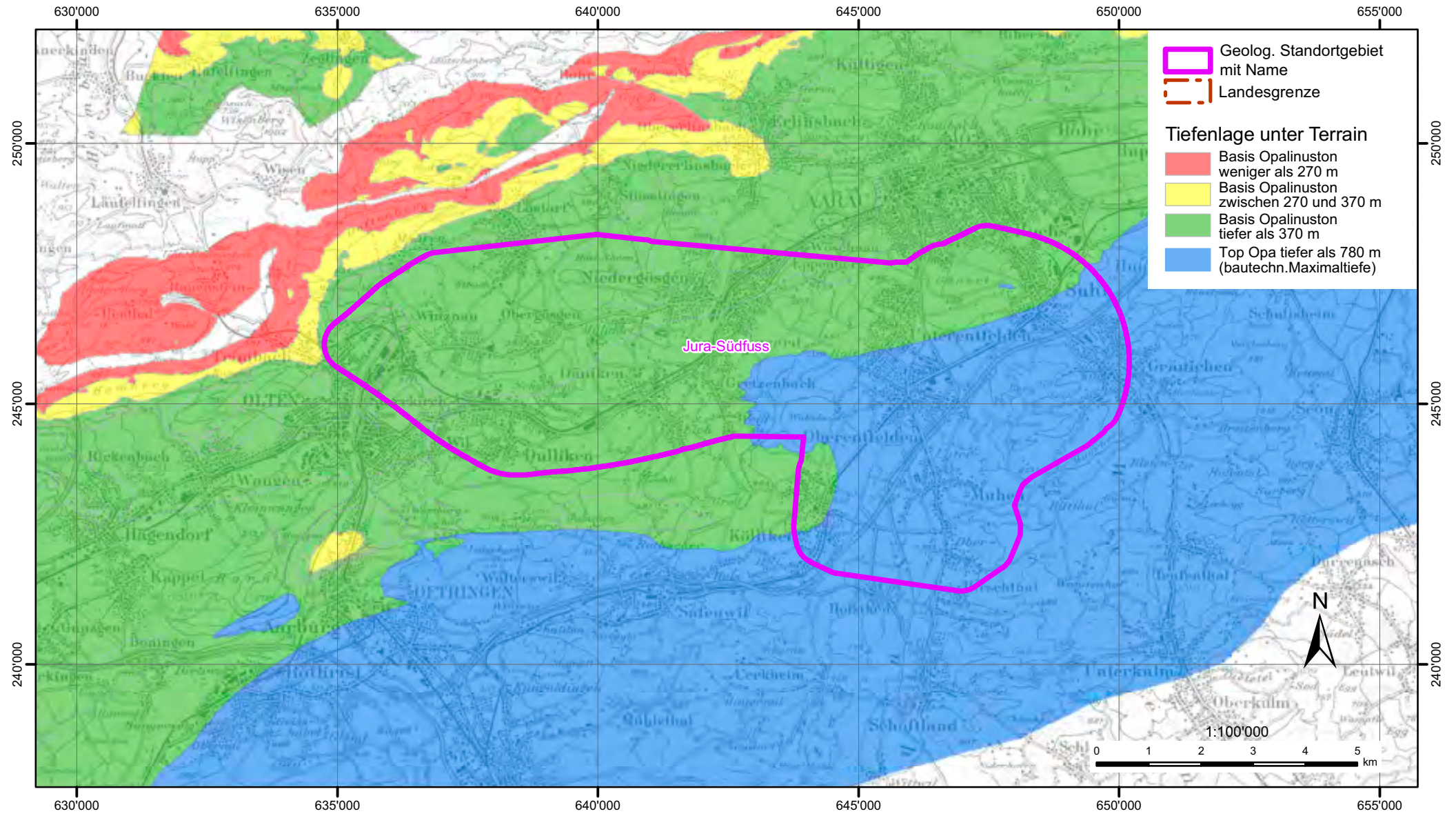


Abbildung 5.20

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Fels für Opalinuston, SMA, Jura-Südfuss

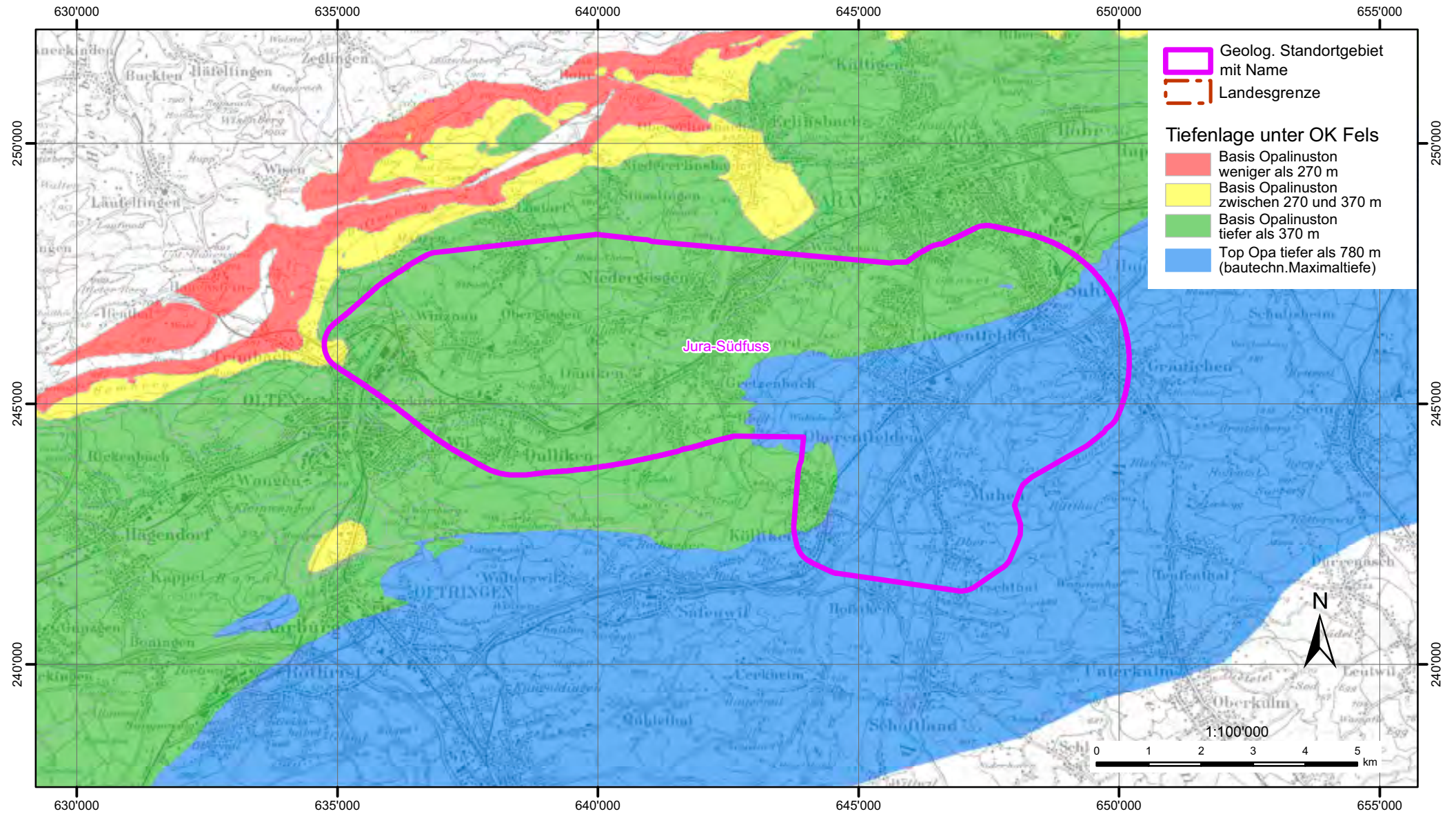


Abbildung 5.21

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Terrain für Effinger Schichten, SMA, Jura-Südfuss

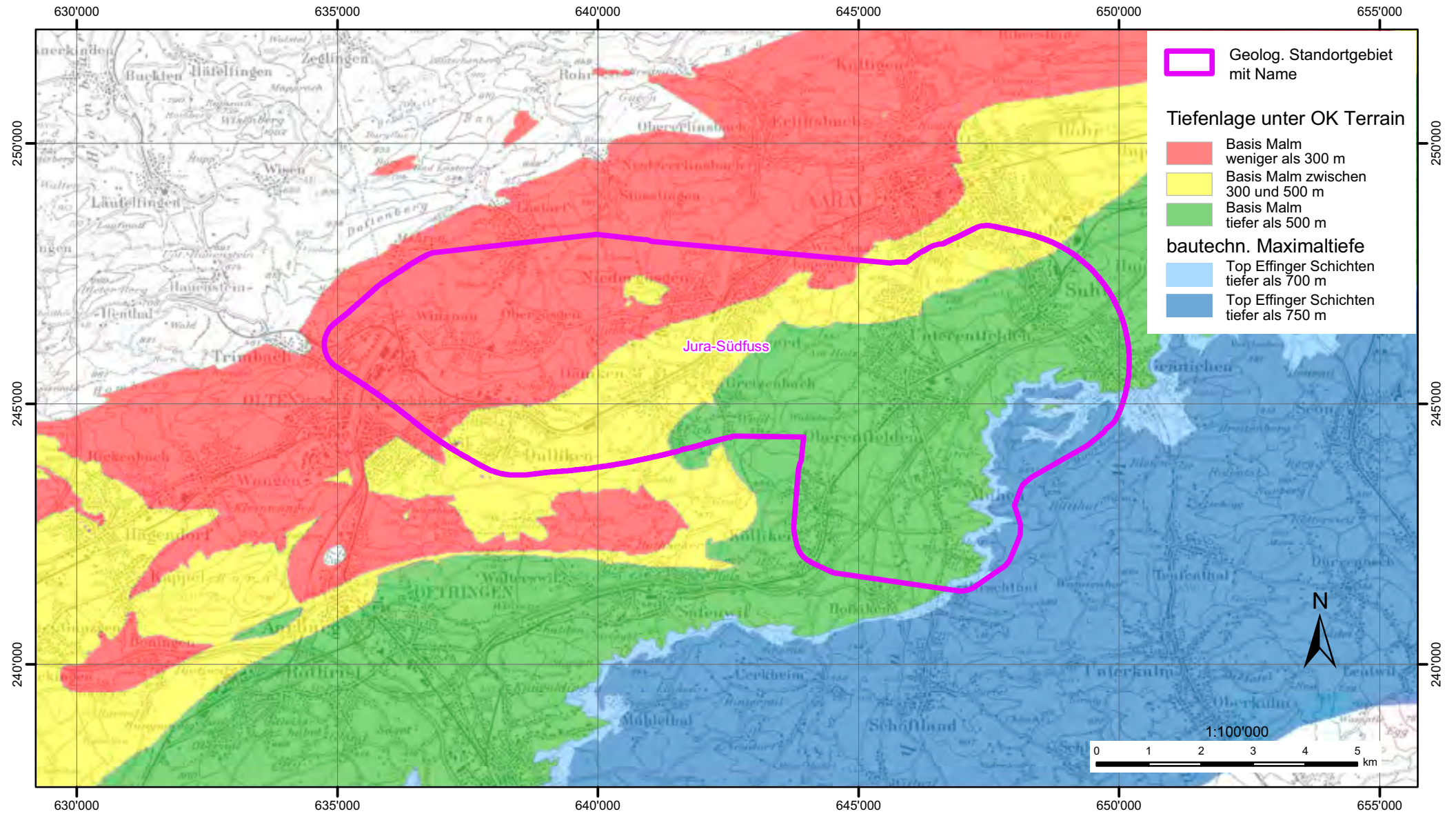


Abbildung 5.22

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Fels für Effinger Schichten, SMA, Jura-Südfuss

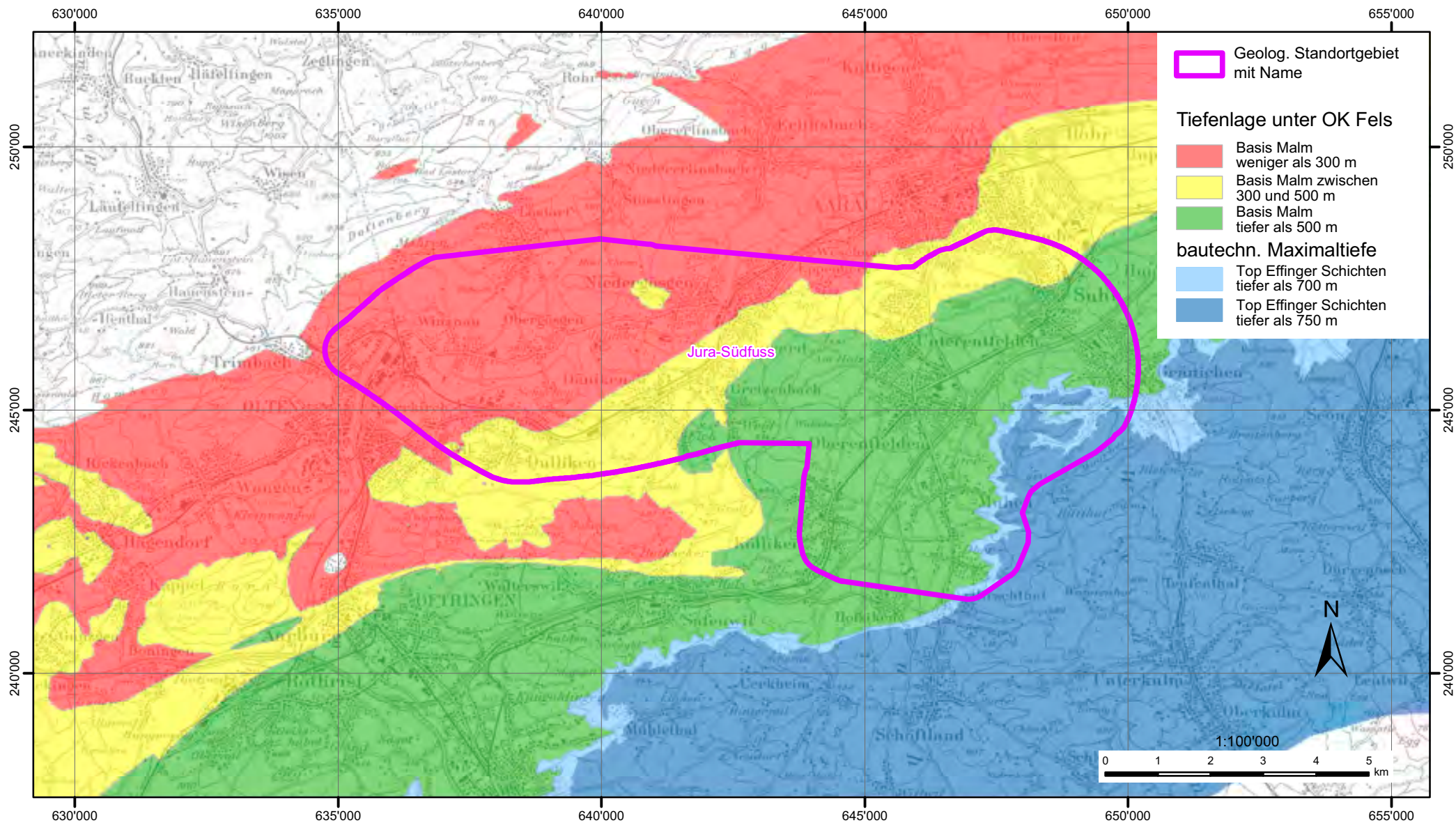


Abbildung 5.23

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Terrain für Opalinuston, SMA, Jura-Südfuss West

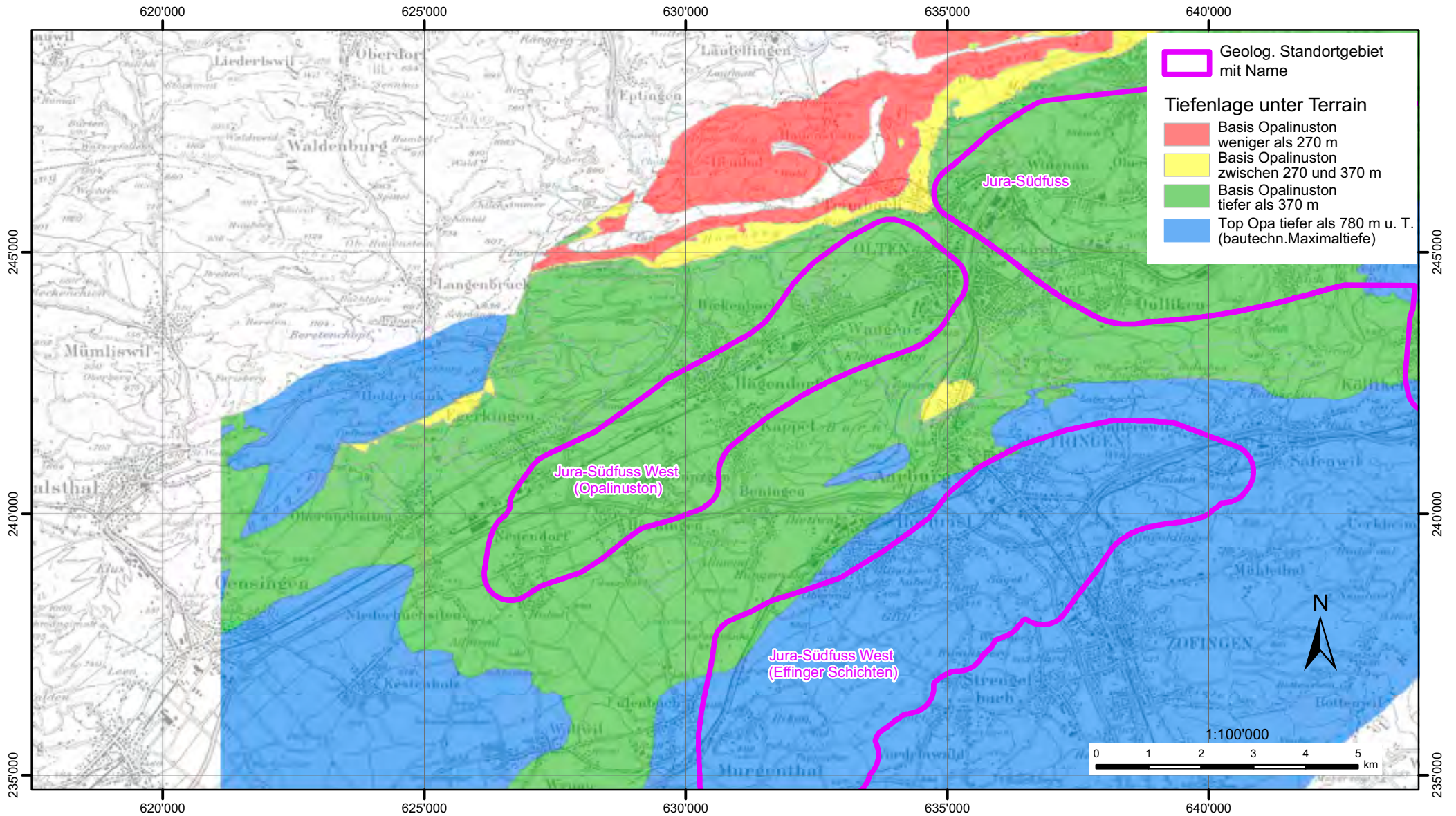


Abbildung 5.24

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Fels für Opalinuston, SMA, Jura-Südfuss West

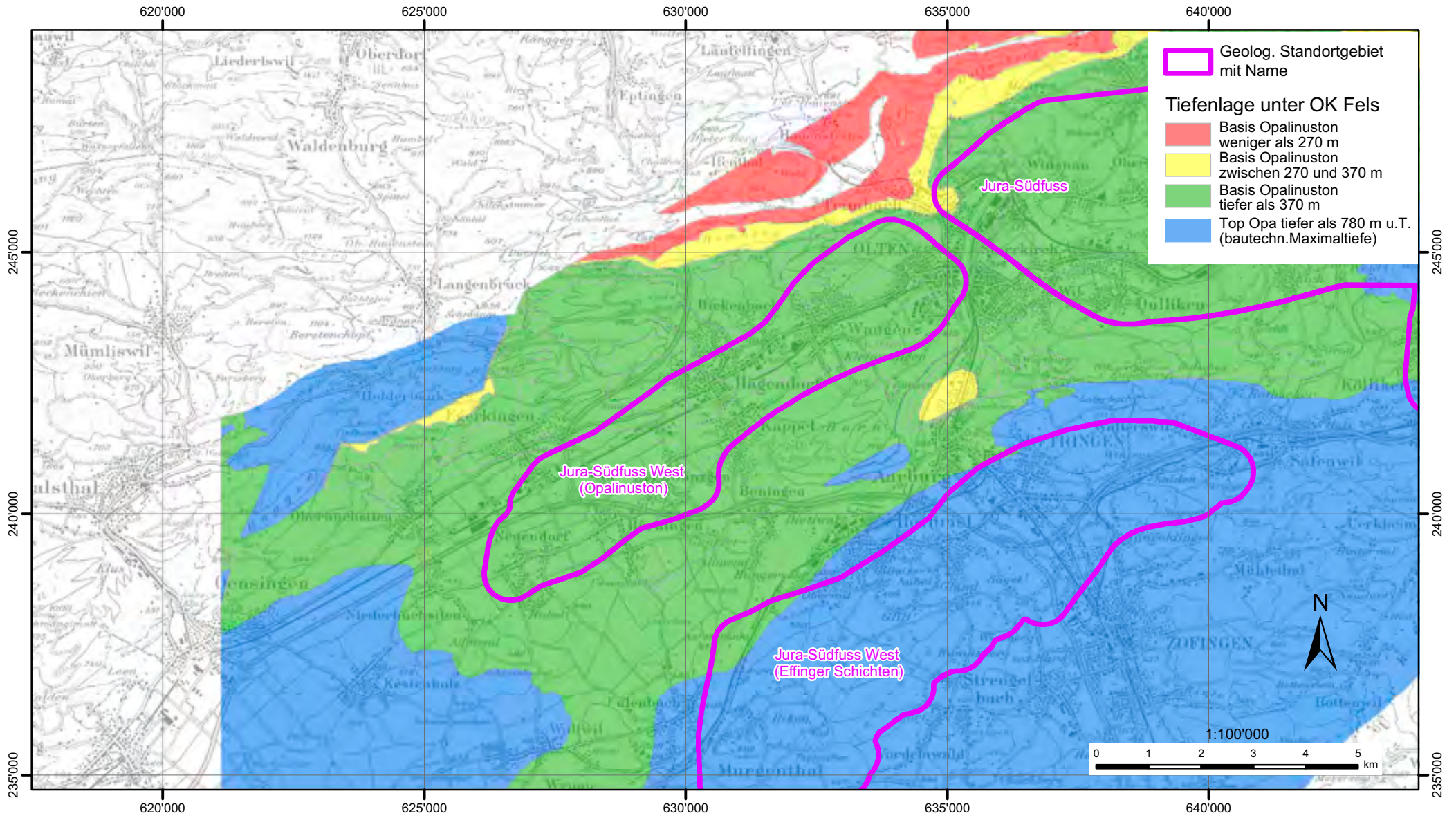


Abbildung 5.25

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Terrain für Effinger Schichten, SMA, Jura-Südfuss West

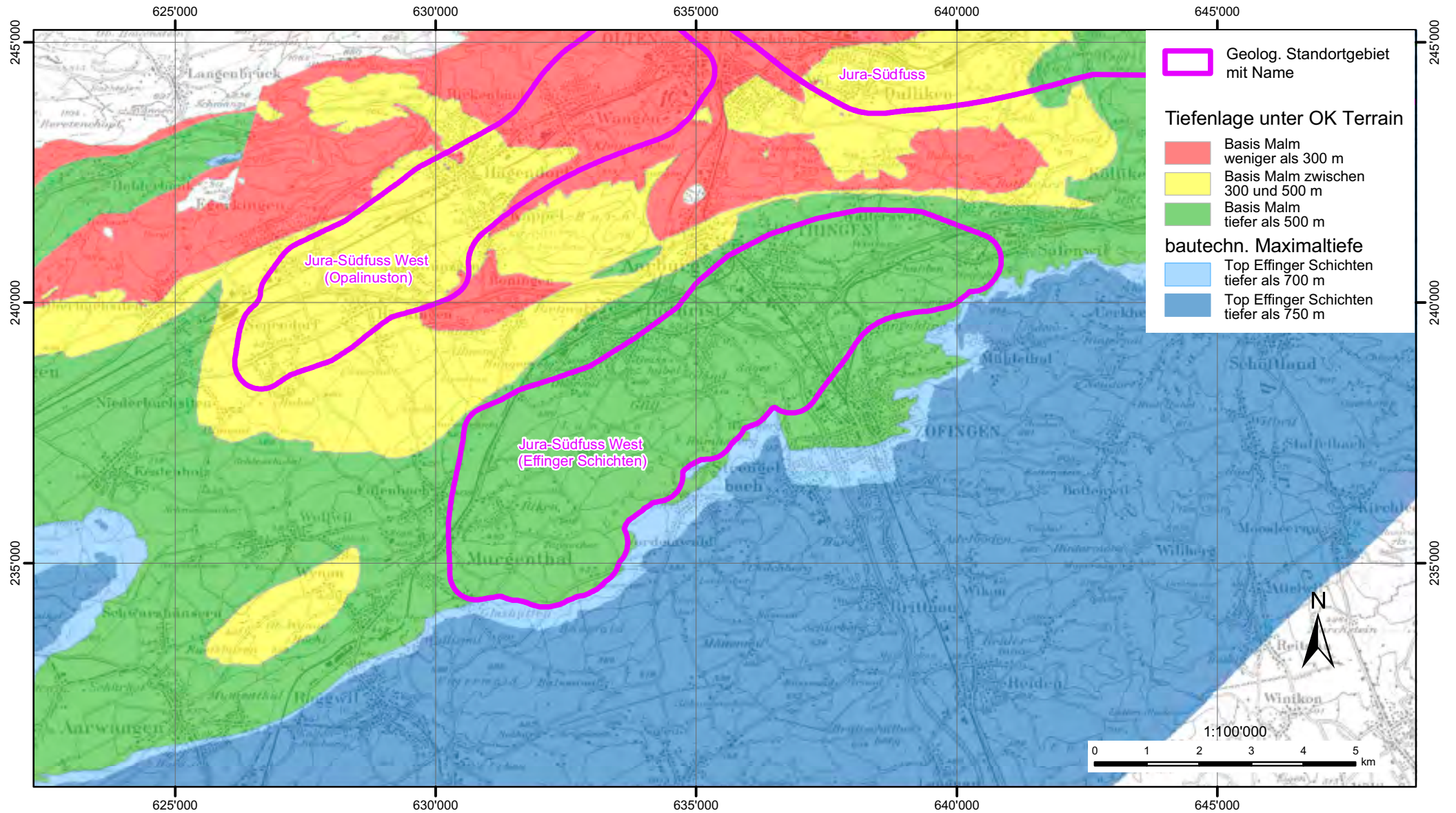


Abbildung 5.26

Erfüllung von Anforderungen bezügl. Tiefe unter Fels für Effinger Schichten, SMA, Jura-Südfuss West

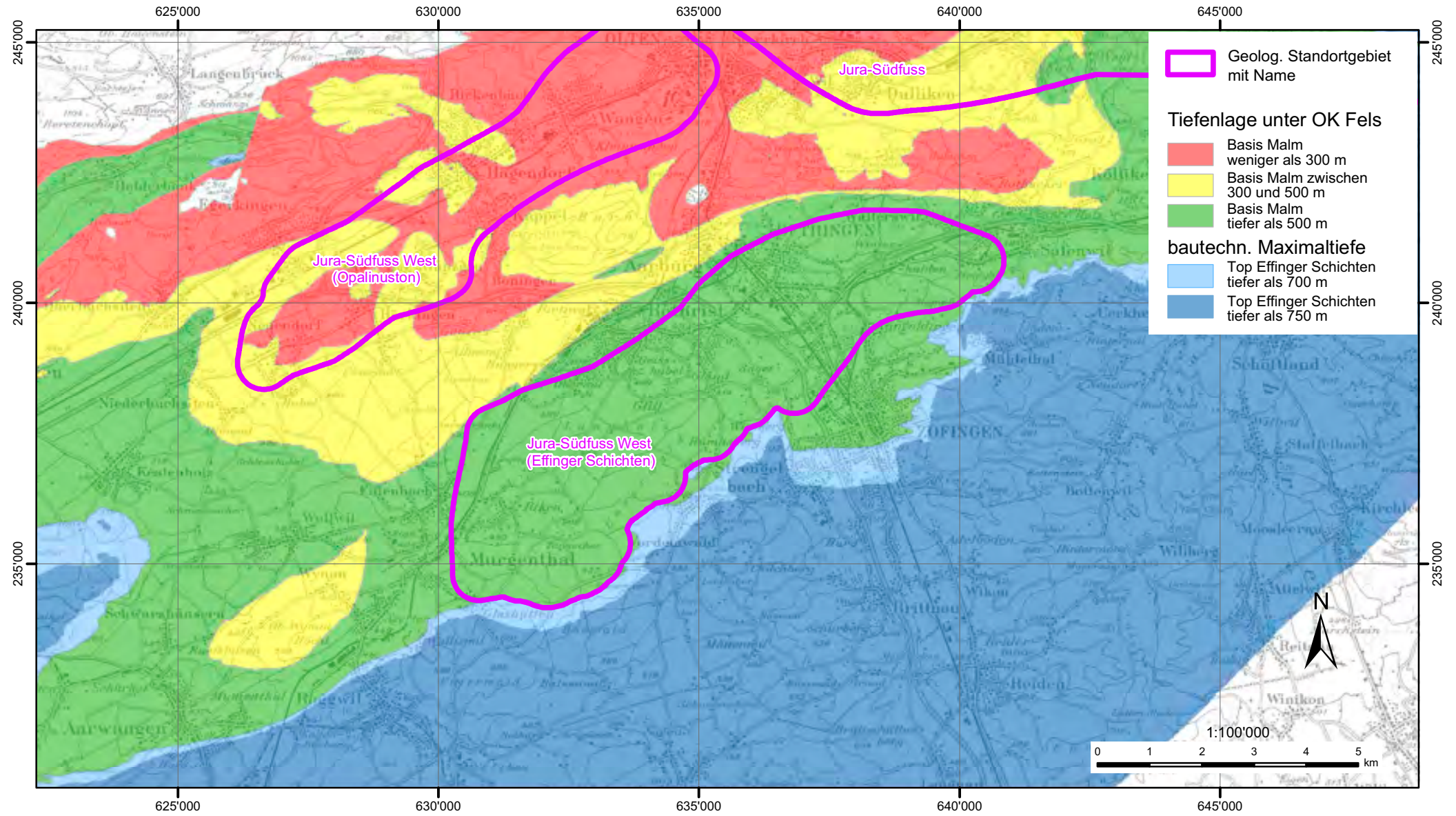


Abbildung 5.27

ENSI 33/064

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
Abrufbar unter www.ensi.ch