

HTPO

ATCZ167

T2.2.2 BEWERTUNG DER VERFÜGBAREN RESSOURCEN UND DES ÖKONOMISCHEN POTENZIALS

Teil 1 – Grundlagen und theoretische Einsatzgebiete von Thermalwässern

Version 3 - Österreich



Kontakt Autor: doris.rupprecht@geologie.ac.at

Autorenteam

Doris Rupprecht	Geologische Bundesanstalt
Magdalena Bottig	Geologische Bundesanstalt
Gregor Götzl	Geologische Bundesanstalt



EINLEITUNG

Vorliegender Bericht wurde im Zuge des Projekts „HTPO – Hydrothermales Gebietspotential“ in Laa an der Thaya-Pasohlávky“ verfasst. Die Einbettung in die Projektstruktur zeigt nachfolgende Tabelle:

Arbeitspaket 2	„Strategische Maßnahmen für eine nachhaltige und effiziente Bewirtschaftung und Nutzung grenzüberschreitender Thermalwasservorkommen“
Aktivität 2.2	„Gemeinsame Strategien für eine nachhaltige Entwicklung und Bewirtschaftung der Thermalwässer im Grenzraum Tschechische Republik - Österreich“
Task 2.2.2	„Bewertung der verfügbaren Ressourcen und des ökonomischen Potenzials“ Teil 1: Grundlagen und theoretische Einsatzgebiete von Thermalwässern Teil 2: Sozio-ökonomisches Potential in der Grenzregion Laa an der Thaya – Pasohlávky

Der Bericht zu Task 2.2.2 wird in 2 Teilen ausgearbeitet. In vorliegendem Teil 1 „Grundlagen und theoretische Einsatzgebiete von Thermalwässern“ wird das ökonomische Potenzial der Thermalwassernutzung im Hinblick auf Tourismus und Energieversorgung allgemein beschreiben. Des Weiteren werden mögliche Anwendungsgebiete für Thermalwässer auf Grundlage der Ergebnisse des Arbeitspakets T1 aufgezeigt. Eine Bewertung dieser Ergebnisse auf Basis einer Sozio-Ökonomischen Analyse erfolgt in Teil 2 „Sozioökonomisches Potenzial in der Grenzregion Laa an der Thaya – Pasohlávky“.

Ziel des Berichts ist es, eine Zusammenfassung über die Möglichkeiten der Nutzung von Thermalwässern zu geben und die wichtigsten zugehörigen technischen Parameter zu skizzieren. Die verschiedenen Nutzungsformen werden hinsichtlich ihrer benötigten Temperaturbereiche aufgelistet. Ein großes Augenmerk liegt dabei auf der Nutzung von Thermalwässern zur Energiegewinnung (Wärme und Strom). Die Nutzung von Thermalwässern zu Heil- und Badezwecken wird hinsichtlich der Eignung der Wässer thematisiert.

Weiters werden Daten aus dem technischen Arbeitspaket WPT1 des Projekts mit den theoretischen Anforderungen an Thermalwassernutzungen abgeglichen. Die zum Zeitpunkt der Berichtslegung vorhandenen Daten umfassen Temperatur und Tiefenbereiche der Thermalwässer. Diese Daten werden mit den allgemeinen technischen Anforderungen an Thermalwassernutzungen überschritten. Die Ergebnisse spiegeln mögliche Anwendungen der Thermalwässer zur Energiegewinnung wider und geben Auskunft über mögliche Anwendungsgebiete für zukünftige Nutzungen im Projektgebiet.

Das Vorgehen zur Umsetzung einer potentiellen Nutzung wird im weiteren Projektverlauf in Form eines Leitfadens beschrieben. Dieser Leitfaden umfasst die wissenschaftlichen und technischen Aspekte einer Umsetzung. Für rechtliche Belange und die Betrachtung von Risiken und Umweltauswirkungen wird auf die Projektberichte aus Task 2.1 „Rechtliche Rahmenbedingungen zur Nutzung von Thermalwässern im Grenzraum Tschechische Republik – Österreich“ und 2.2.3 „Bewertung möglicher Risiken und Umweltauswirkungen durch die Nutzung von Thermalwässern“ verwiesen.

Die Möglichkeit der Nutzung von Hydrothermaler Geothermie und die Verwendung von Thermalwässern zu Heil- und Badezwecken wird aufgrund geologischer Gegebenheiten bewertet. Aussagen über die Wirtschaftlichkeit von Anlagen beziehen sich auf den aktuellen Stand der Technik und die derzeitigen Energiepreise bzw. Energiepolitik. Hierzu sei angemerkt, dass sich die Technologie zur Nutzung von Geothermie aufgrund der steigenden Nachfrage stetig weiterentwickelt, nicht zuletzt aufgrund gesellschaftlicher und politischer Bestrebungen in Richtung Klimaschutz. Somit ist anzunehmen, dass zukünftige Projekte durch Faktoren wie z.B. verbesserte Förderungen für die Errichtung erneuerbarer Energieträger und -Infrastruktur oder das Besteuern von konventioneller Energie eine verbesserte Wirtschaftlichkeit aufweisen können.

Die Ausarbeitung dieses Dokumentes erfolgte unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den im Rahmen des Projektes durchgeführten Zielgruppenbefragungen. Für eine ausführliche Zusammenfassung dieser Befragungen wird auf den Bericht zu Aktivität 2.2.1 „Integrative Erhebung und Bewertung von Chancen und Risiken zur Nutzung von Thermalwässern“ des Projektes verwiesen.

INHALT

Einleitung	3
1. Nutzung von Thermalwässern	6
1.1 Nutzung von Thermalwässern zu Heil- und Badezwecken	8
1.2 Energetische Nutzung von Thermalwässern – Tiefe Geothermie	9
1.3 Stärken und Schwächen der Geothermie	11
2. Anwendungsformen der hydrothermalen Geothermie	14
2.1 Stromerzeugung	16
2.2 Wärmebereitstellung	18
2.3 Wärmespeicher	18
2.4 Weitere Anwendungsmöglichkeiten	19
3. Wärmemarkt, Wärmebedarf und Wärmeanwendungen	22
3.1 Exergestische Priorisierung des Wärmemarkts	23
3.2 Kaskadische Nutzung von Thermalwässern	24
3.3 Anwendungsmöglichkeiten in DER INDUSTRIELLEN Wärmeversorgung	27
4. Gegenwärtige Nutzung von Thermalwässern in Österreich	29
4.1 Nutzung von Thermalwasser im HTPO Projektgebiet	31
4.2 Good Practice - Beispiele	32
5. Potential für die Nutzung von Thermalwässern im österreichischen Projektgebiet	35
5.1 Geologie des Untersuchungsgebiets	35
5.2 Eignung der geologischen Einheiten zur Thermalwassernutzung	36
5.3 Anwendungsmöglichkeiten im HTPO-Untersuchungsgebiet	41
5.4 Bewertung	47
Literatur	46
Anhang 1	47

1. NUTZUNG VON THERMALWÄSSERN

Folgendes Kapitel fasst die wichtigsten Grundlagen zur Nutzung von Thermalwässern zusammen und gibt so einen kurzen Überblick über die Definition von Thermalwasser, die rechtlichen Grundlagen und die Beschreibung und Unterschiede von Nutzung zu Bade- und Heilzwecken (Balneologie) von jenen zur Energiegewinnung (Tiefe Geothermie). Zur Begriffserklärung der Tiefen Geothermie wird außerdem eine Einführung in die unterschiedlichen Anwendungsformen der Geothermie gegeben.

Definition Thermal-/Heilwasser

Die Bezeichnung eines Wassers als Thermalwasser ergibt sich aus seiner Temperatur - ab einer Quellaustrittstemperatur ab 20° C liegen Thermalwässer vor. Nach dem Bundesgesetz 1958 über natürliche Heilvorkommen und Kurorte gilt, dass Heilquellen als Quellen verstanden werden, deren Wasser aufgrund besonderer Eigenschaften und ohne jede Veränderung ihrer natürlichen Zusammensetzung eine wissenschaftlich anerkannte Heilwirkung ausüben oder erwarten lassen. Der Anerkennung einer Quelle als Heilquelle muss einer umfangreichen Untersuchung vorhergehen (Große Heilwasseranalyse), muss mindestens alle 20 Jahre wiederholt und dazwischen alle 5 Jahre einer Kontrollanalyse unterzogen werden. Die Heilwirkung ergibt sich aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung und/oder ihrer Temperatur. Thermalwässer sind in Niederösterreich schon allein über ihre Temperatur als Heilwässer definiert (NÖ Heilvorkommen- und Kurortegesetz 1978). Somit gilt das jedes Thermalwasser in Niederösterreich als Heilwasser eingestuft wird aber nicht jedes Heilwasser ein Thermalwasser ist.

Die Einteilung der unterschiedlichen Thermalwässer erfolgt in der Regel nach ihrer Temperatur (siehe Tabelle 1) und ihrer hydrochemischen Inhaltstoffe. Einerseits ist hier die Gesamtmineralisation, andererseits Konzentration von einzelnen Inhaltsstoffen, wie z.B. Sulfat-, Chlorit-, Radon- oder Kohlenstoffdioxid ausschlaggebend für die weitere Klassifikation.

Tabelle 1: Klassifikation von Thermalwässern nach Temperatur in Mitteleuropa nach Jordan & Weder, 1988

Thermalwässer	Empfinden	Temperatur
Niedrig thermal	Warm	20-37 °C
Thermal	Heiß	37-70 °C
Hochthermal	Sehr heiß	70-100 °C
Dampfthermal	Überhitzt	> 100 °C

Nutzung

Bei der Nutzung von Thermalwässern unterscheidet man die Nutzung zu Heil- (Balneologie) und Badezwecken sowie die energetische Nutzung zur Erzeugung von Heizwärme und Strom („Hydrothermale Geothermie“ oder „Tiefe Geothermie“). Der größte Unterschied zwischen diesen beiden übergeordneten Nutzungsformen liegt in der Handhabung der Thermalwässer. Während zu

balneologischen Zwecken die Wässer direkt zum Einsatz kommen wird bei energetischen Nutzungen das Thermalwasser als Trägermedium für die enthaltene Energie in Form von Wärme verwendet. Wesentlich für beide Nutzungen ist das Vorhandensein ihres Bedarfs. In der Balneologie drückt sich der Bedarf durch die Anzahl von Badegästen und der Beckengröße aus. Der Bedarf für energetische Nutzungen wird über die benötigte Energiemenge bestimmt (frei nach Expertengruppe „Thermalwasser“, 2012).

Die Erschließung von tiefen Thermalwässern erfolgt mithilfe von Tiefbohrungen wie sie auch aus der Kohlenwasserstoffgewinnung bekannt sind. Im Unterschied zu Öl- und Gasbohrungen werden aufgrund der größeren Volumenströme in der Geothermie größere Bohrlochdurchmesser benötigt, zudem werden je nach Wasserchemie unterschiedlich korrosionsbeständige Materialien verwendet.

Rechtliche Grundlagen und Schutz

Die Erschließung der Thermalwässer ist für beide Nutzungsarten gleich und unterliegt diversen Rechtsmaterien. Zum einen gelten in Österreich Thermalwässer als Grundwässer und deren Nutzung unterliegt somit dem Wasserrechtsgesetz (WRG 1959). Das Mineralrohstoffgesetz (MinRoG) ist zusätzlich zu beachten, wenn die Thermalwässer durch Bohrungen über 300 m Tiefe erschlossen werden. Des Weiteren gelten je nach Nutzungsart die Heilvorkommen- und Kurortgesetze sowie die Forst- und Naturschutzrechte der Bundesländer und das Bäderhygienegesetz.

Oberstes wasserwirtschaftliches Ziel bei jeglicher Nutzung ist der umfassende Schutz der Vorkommen in Bezug auf Qualität (chemische und mikrobiologische Zusammensetzung) und Quantität (Menge, Druckverhältnisse im Grundwasserleiter). Das ÖWAV Regelblatt 215 „Nutzung und Schutz von Thermalwasservorkommen“ (ÖWAV = Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband) bietet hierzu eine ausführliche technisch-wissenschaftliche Zusammenfassung der wasserwirtschaftlichen Ziele und des Stands der Technik. Für die Nutzung gilt, dass das nutzbare Dargebot nicht überschritten werden darf. Entnahmemengen werden nur anhand eines nachgewiesenen Bedarfs für eine balneologische und/oder energetische Nutzung unter Berücksichtigung von Summationswirkung festgelegt. Eine Bewirtschaftung muss nachhaltig erfolgen. Dazu zählt, dass Druckverhältnisse nur in engen Grenzen vermindert werden dürfen, die Entnahme sich nach dem Ausmaß der natürlichen Neubildung richtet und das die gewonnene Energie den aufgewandten Stoff- und Energieeinsatz überwiegt. Bei energetischen Nutzungen soll die Anlage so ausgelegt werden, dass unter wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten die größtmögliche Temperaturspreizung erreicht wird. Auf diese Weise wird die Menge des zu fördernden Wassers reduziert und der Energieeinsatz für die Pumpe minimiert. Zudem erlaubt eine größere Temperaturspreizung auch eine Nutzung der Ressource durch mehrere nacheinander geschaltete Wärmeabnehmer (ÖWAV, 2010).

1.1 NUTZUNG VON THERMALWÄSSERN ZU HEIL- UND BADEZWECKEN

Thermalwässer sind nach dem Niederösterreichischen Heilvorkommen- und Kurortegesetz als Grundwässer mit einer Temperatur ab 20°C an der Entnahmestelle definiert und erfüllen dadurch bei ausreichender Ergiebigkeit gleichzeitig die Voraussetzung zur Anerkennung als Heilquelle in Niederösterreich.

Die Nutzung von Thermalwässern zu Heil- und Badezwecken hat eine lange Tradition die bis ins 5. Jahrhundert vor Christus nachweisbar ist. Besonders seit der Römerzeit entwickelte sich eine intensive Nutzung von Thermalwässern. Wenngleich die Nutzung auch als Luxussymbol angesehen wurde, wurden Thermalwässer auch hier schon zur medizinischen Behandlung verschiedenster Erkrankungen eingesetzt. Bis heute dienen Thermalbäder denselben Zwecken. Die therapeutische Wirkung beruht einerseits auf der Temperatur und Chemie des Wassers und andererseits auf dem allseitig wirkenden hydrostatischen Druck im Wasser. Die physiologischen Wirkungen beinhalten unter anderem eine Verbesserung der Venenfunktion, eine Aktivierung des Stoffwechsels, Suppression von Stresshormonen, Gelenkentlastung und Muskelentlastung.

Für die Nutzung von Thermalwässern zu Heil- und Badezwecken werden die Thermalwässer ohne schwerwiegende Veränderungen ihrer Zusammensetzung direkt genutzt. Die Förderung erfolgt über natürliche Quellaustritte oder durch Bohrungen. Von einer Wiedereinleitung der Wässer in den Grundwasserkörper wird wegen der veränderten Zusammensetzung durch den Badebetrieb abgesehen. Grundsätzlich liegen bei Nutzungen zu Heil- und Badezwecken geringere Entnahmemengen vor als bei energetischen Nutzungen.

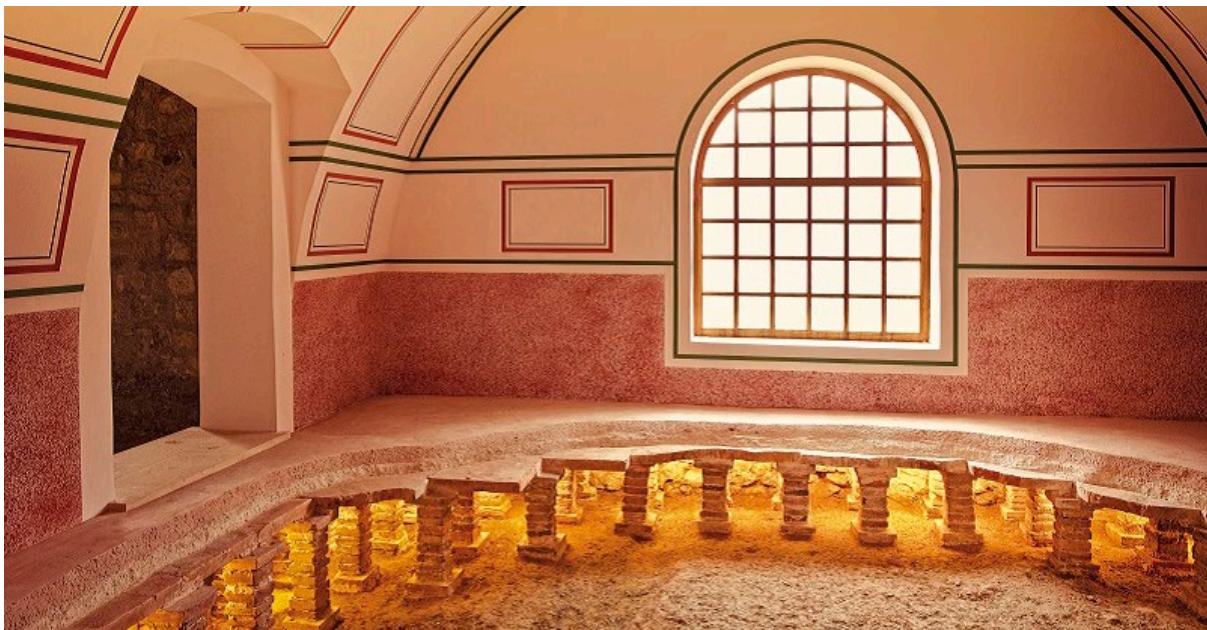


Abbildung 1 : Rekonstruktion der römischen Thermo in Carnuntum (1 bis 4 Jahrhundert n. Chr.) Quelle: <https://www.carnuntum.at/de/ihr-besuch/rekonstruktionen/roemische-therme>

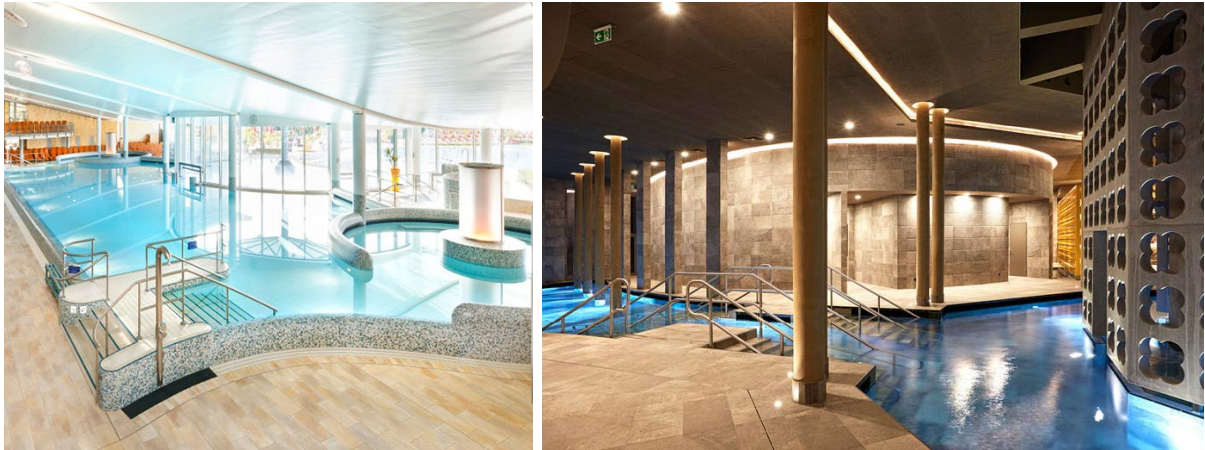


Abbildung 2: Moderne Nutzung von Thermalwässern zu Heil- und Badezwecken. Impressionen aus der Therme Laa an der Thaya.
Quelle: <https://www.therme-laa.at/de/impressionen-therme-bilder-videos.html>

Die Anwendungsbereiche von Thermalwässern liegen im Kur- und Therapiebereich (Balneologie), im Wellnessbereich zur Gesundheitsvorsorge und Erholung sowie im Freizeit- und Erlebnisbereich. Der Einsatz reicht dabei von Wannenbädern bis hin zu Gemeinschaftsschwimmbecken. Der Bedarf richtet sich nach den jeweiligen hygienischen und therapeutischen Anforderungen.

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht gilt, dass eine Nutzung im Kur- und Therapiebereich Vorrang gegenüber Nutzungen im Wellness- oder Freizeitbereich hat. Auch ist eine Verwendung von Thermalwässern zu Heilzwecken aufgrund ihrer gesundheitlichen Aspekte höher einzustufen als die energetische Nutzung. Für eine bestmögliche Nutzung der Ressource wird eine zusätzliche energetische Nutzung der Wässer angeraten (ÖWAV, 2010).

1.2 ENERGETISCHE NUTZUNG VON THERMALWÄSSERN – TIEFE GEOTHERMIE

Die energetische Nutzung von Thermalwässern stellt lediglich ein Teilgebiet der Geothermie dar. Die im Untergrund gespeicherte Wärme kann auch ohne das Vorhandensein von Thermalwässern, zum Beispiel durch den Einsatz von Erdwärmesonden, genutzt werden. Unter Geothermie versteht man allgemein die technische Nutzung von Erdwärme zur Energiegewinnung. Die geothermische Energie ist definiert als die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde.

Durch das Temperaturgefälle zwischen Erdoberfläche und dem Erdinneren wird Wärme aus der Tiefe nach Oben transportiert (geothermischer Wärmefluss). In einem größeren Ausmaß wird Wärme stetig durch den Zerfall von radioaktiven Isotopen im Mantel produziert. Dies macht die Erdwärme bei verantwortungsvollem Umgang zu einer erneuerbaren Energiequelle die im Gegensatz zu anderen erneuerbaren Energien (z.B. Solar, Windkraft) ganzjährig und ohne Unterbrechung zu Verfügung steht.

Bei der Nutzung von Erdwärme unterscheidet man zwischen Oberflächennaher und Tiefer Geothermie (siehe auch Abbildung 3). Grundlegende Unterscheidungsmerkmale sind die Tiefe und die Temperaturen, in denen die Energie genutzt wird. Erdwärmesonden werden klassischerweise zur Oberflächennahen Geothermie gezählt, bilden streng genommen jedoch eine Zwischenkategorie da sie auch in größeren Tiefen eingesetzt werden können. Der Einsatz von Wärmepumpen fällt ebenfalls zum größten Teil in die Kategorie der Oberflächennahen Geothermie. Bei Tiefer Geothermie sind die Temperaturen meist ausreichend hoch, um direkt über Wärmetauscher in den Heizkreislauf eingebracht zu werden. Bei hohen Temperaturen (> 80 °C) kann die Wärme technisch gesehen auch zur Stromerzeugung genutzt werden. Generell gilt, um die Energie im Untergrund gewinnen zu können benötigt man ein Trägermittel. Im Fall von offenen Systemen ist dies das vorhandene Grundwasser (oder Dampf) oder jenes in den Nutzungskreislauf künstlich eingebrachte Wasser (Petrothermie). Bei geschlossenen Systemen werden Wärmeträgerflüssigkeiten eingesetzt, die ohne direkten Kontakt zum Untergrund in Leitungen zirkulieren und so die Wärme transportieren.

	Tiefe Geothermie		Oberflächennahe Geothermie		
Temperatur	20 - 200 °C		8 - 25 °C		
System	PETROTHERMAL	HYDROTHERMAL	Erdwärmesonden	Kollektoren und Energiepfähle	Grundwasserbrunnen
Tiefe	> 5000 m	ab 100 m	10 - 400 m	< 50 m	
Betriebsart	offen		geschlossen		offen
Verwendung	Direkte Nutzung des heißen Wassers Stromerzeugung und Abwärmenutzung	Direkte Warmwassernutzung und Nutzung mit Wärmetauscher Stromerzeugung mit ORC- oder Kalina-Anlage, Wärmenutzung oder direkte Nutzung des Thermalwassers	Wärmenutzung durch den Einsatz von Wärmepumpen Wärmeerzeugung und Kühlung		

Verändert nach Umweltministerium Baden-Württemberg, 2005. Angeführte Werte und Verwendungsarten sind als Richtwerte zu verstehen.

Abbildung 3: Unterscheidung zwischen Tiefer und Oberflächennaher Geothermie

1.3 STÄRKEN UND SCHWÄCHEN DER GEOTHERMIE

Tabelle 2: Stärken und Schwächen der Tiefen Geothermie

Stärken der Tiefen Geothermie	Schwächen der Tiefen Geothermie
Gleichbleibende Verfügbarkeit über Jahr und Tag	Nicht überall in ausreichender Form vorhanden
Grundlastfähig	Hohe Investitionskosten
Geringe CO ₂ Emissionen	Fündigkeitsrisiko
Regionale Energie – Rohstoff vor Ort	Bohr Risiken
Geringer Platzbedarf der Anlage	Komplexe Technologie, je nach geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten anzupassen
Keine Kosten für den Energierohstoff	Konkurrenzfähigkeit
Geringer Eigenbedarf an Betriebsenergie	Akzeptanz sozial und politisch

In Tabelle 2 werden die Stärken und Schwächen der Tiefen Geothermie überblicksmäßig dargestellt. In Tabelle 3 werden diese zusätzlich mit den Chancen und Hindernissen, die sich dadurch ergeben verknüpft. Die Vorteile der Geothermie, auch gegenüber anderen „grünen“ Energierohstoffen wie Wind, Sonne oder Biomassen, liegen unbestreitbar in ihrer Verfügbarkeit. Durch die Gewinnung im Untergrund unterliegt die Geothermie keinen saisonalen Schwankungen und ist somit das ganze Jahr und auch den Tag über gleichbleibend verfügbar. Dies macht die Geothermie zu einer grundlastfähigen Energiequelle. Zudem wird für den Betrieb der Anlage nur ein geringer Eigenbedarf an Energie benötigt. Wird diese in Form von „grünem“ Strom bezogen, läuft die Geothermie zu 100% klimaneutral und produziert maximal geringe CO₂ Emissionen. Geothermieanlagen sind zudem unauffällig im Erscheinungsbild und haben einen sehr geringen Flächenbedarf. Dies gilt sowohl für die Oberflächennahe- als auch die Tiefe Geothermie.

Oberflächennahe Geothermie kann im Prinzip überall eingesetzt werden, wo der entsprechende Platz für Bohrungen vorhanden ist. Tiefe geothermische Reservoirs dagegen bilden sich nur unter bestimmten geologischen und hydrogeologischen Voraussetzungen und sind daher nicht flächendeckend vorhanden.

Im Vergleich mit konventionellen Energieträgern sind die Investitionskosten für alle Arten der geothermischen Nutzung hoch. Die Betriebskosten dagegen sind gering, vor allem da keine Kosten für etwaige Brennstoffe anfallen.

Den größten Unsicherheitsfaktor bei der Tiefen Geothermie stellt das Fündigkeitsrisiko dar. Um das Risiko zu minimieren wird der Untergrund im Regelfall kosten- und zeitintensiv erforscht, doch erst die niedergebrachte Bohrung entscheidet über Erfolg oder Misserfolg eines Projektes.

Vorwiegend aufgrund des bereichsweisen mangelnden Kenntnisstands über diese Technologie und der Hürde der hohen Investitionskosten wird die Tiefe Geothermie von manchen Gruppierungen immer noch als sozio-politisch wenig akzeptierte Technologie angesehen.

Tabelle 3: Die Chancen und Hindernisse der Geothermie

Stärken der Tiefen Geothermie	Erläuterungen und Pro (+), Contra (-)
Gleichbleibende Verfügbarkeit über Jahr und Tag	+ gute Planbarkeit und schnelle Einsetzbarkeit
Grundlastfähig	+ über das Jahr über gleiche Energiebereitstellung - Spitzen müssen über andere Energieträger abgedeckt werden
Geringe CO2 Emissionen	+ Umwelt- und Klimaschutz
Regionale Energie – Rohstoff vor Ort	+ geringe Transportkosten + Regionalpolitische Unabhängigkeit - funktioniert nicht überall - Nutzung muss an die Örtlichkeit der Quelle gebracht werden - nur Nutzungen möglich deren Wärmebedarf mit den Temperaturbedingungen und Ergiebigkeit der Quelle übereinstimmt
Geringer Platzbedarf der Anlage	+ wertvolle Landschaftsflächen werden erhalten + kein Eingriff ins Landschaftsbild oder Ortsbild
Keine Kosten für den Energierohstoff	→ Ausgleich für hohe Investitionskosten
Geringer Eigenbedarf an Betriebsenergie	→ Ausgleich für hohe Investitionskosten
Schwächen der Tiefen Geothermie	Vor (+) - und Nach (-) teile für eine Nutzung
Nicht überall in ausreichender Form vorhanden oder überhaupt vorhanden	- Nutzungen müssen an die Örtlichkeit gebracht werden - nur Nutzungen möglich deren Wärmebedarf mit den Temperaturbedingungen und Ergiebigkeit der Quelle übereinstimmt
Hohe Investitionskosten	→ Ausgleich durch kostenlosen Rohstoff und den geringen Eigenbedarf der Anlage → oft vorschnelle wirtschaftliche Annahme – die wirtschaftlichen Durchrechnungszeiträume müssten erweitert werden für geothermische Anlagen. Die Amortisierungszeit beträgt etwas länger als für andere Anlagen, danach punktet die Geothermie vollends durch geringe Betriebskosten und den kostenlosen Rohstoff + Möglichkeit von Bürgerbeteiligungen groß
Fündigkeitsrisiko	- Hohe Kosten für Untergrunderkundung - nur Nutzungen möglich deren Temperaturbedarf mit den Temperaturbedingungen der Quelle übereinstimmen - oft lange Planungszeiträume - Möglichkeit der Nichtfündigkeit
Bohrisiko	- hohes Risiko bei unzureichender Vorbereitung und Ausführung + sichere und etablierte Technologie + Risikomanagement ist Teil jeder Geothermieinstallation – jede Anlage so individuell, dass Betriebsblindheit schwer entstehen kann

Komplexe Technologie, je nach geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten anzupassen	Ähnlich Fündigkeitsrisiko, Bohrrisiko
Konkurrenzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - fehlende Aufmerksamkeit - fehlende politische Unterstützung - fehlende Förderungen
Akzeptanz sozial und politisch	<ul style="list-style-type: none"> - viel Öffentlichkeitsarbeit schon vor Bohrstart zu leisten - Politische Vernachlässigung sorgt für komplizierte Verfahren + noch kann in vielen Gegenden Pionierarbeit geleistet werden + Vorreiterrolle kann eingenommen werden

2. ANWENDUNGSFORMEN DER HYDROTHERMALEN GEOTHERMIE

Kapitel 2 gibt einen Überblick über die Gewinnung von hydrothermalen Wässern und die Möglichkeiten und jeweiligen Voraussetzungen zu deren Anwendung in der Hydrothermalen Geothermie.

Hydrothermale Geothermie ist die Nutzung von im Untergrund vorkommenden Wässern mit Temperaturen ab etwa 40 °C, also die Nutzung von Thermalwasser-Aquiferen, zur Energiegewinnung.

Bei der Nutzung von Thermalwasser-Aquiferen wird zwischen Systemen mit niedriger Enthalpie und hoher Enthalpie unterschieden. Bei Niederenthalpie-Systemen (bis 120° C?) wird das vorhandene heiße Wasser vorwiegend zur Speisung von Wärmenetzen oder für Heil- und Badezwecke genutzt. Eine Verstromung kann nur mittels zusätzlicher Technologien zur Anhebung des Temperaturniveaus erfolgen. Im Gegensatz dazu liegen bei Hochenthalpie-Systemen (ab 120° C) die Wässer als Dampf- oder Zweiphasensysteme vor. Hier kann die Erzeugung von Strom ohne zusätzliche Technologien erfolgen. Die Verwendung der nach erfolgter Stromerzeugung abgekühlten Wässer entspricht jenen von Niederenthalpie-Systemen. Hochenthalpie-Systeme finden sich weltweit nur an wenigen Lokalitäten und dort meist in Zusammenhang mit vulkanischer Aktivität. In Österreich und der Tschechischen Republik liegen keine sogenannten Hochenthalpie-Zonen für Geothermische Nutzungen vor. Infolgedessen konzentriert sich der vorliegende Bericht im Weiteren auf Niederenthalpie-Systeme.

Die Gewinnung der Thermalwässer erfolgt in allen Fällen über eine Förderbohrung wo das Wasser entweder mithilfe von Pumpen an die Oberfläche gebracht wird oder es von selbst zutage steigt. Die Wärmeenergie wird über einen Wärmetauscher direkt in den Heizkreislauf übertragen, in seltenen Fällen werden zusätzlich Wärmepumpen zur Erhöhung der Betriebstemperatur eingesetzt. Im Falle von Stromerzeugung wird das Wasser zuerst in eine Verstromungsanlage geleitet. Durch jeden Prozess kommt es zu Abkühlung des Wassers. Dieses wird am Ende der Nutzung über eine Injektionsbohrung wieder in den Aquifer eingeleitet, um den Mengenhaushalt und die Druckverhältnisse des Wassers im Untergrund zu erhalten.

Voraussetzungen für eine hydrothermale Energiegewinnung sind (Bayerischer Energieatlas, 2018):

- » das Thermalwasser muss eine für die geplante Nutzung ausreichend hohe Temperatur besitzen - Allgemein formulierte Temperaturbereiche liegen dabei bei $\geq 40^\circ\text{C}$ für Nahwärme, über 80°C für Fernwärme und Temperaturen ab 120°C für Stromerzeugung
- » die chemische Zusammensetzung, der Gasgehalt und die Mikrobiologie des Wassers müssen für die geplante Nutzung geeignet sein bzw. technisch kontrollierbar sein
- » der Aquifer muss ein ausreichend großes Reservoir darstellen (ausreichende vertikale und horizontale Ausbreitung)
- » der Aquifer muss eine ausreichende Ergiebigkeit besitzen (ausreichend hohe hydraulische Leitfähigkeit - Permeabilität)

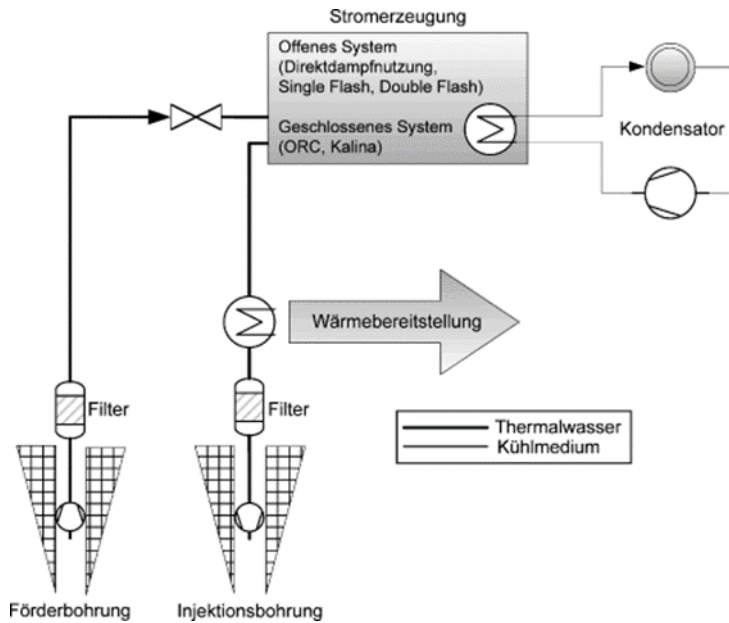


Abbildung 4: Schema Wärme- und Stromgewinnung der Hydrothermalen Geothermie (Janczik, 2013).

Das Kreislaufsystem aus Förder- und Injektionsbohrung wird als „Hydrothermale oder Geothermische Dublette“ bezeichnet (siehe Abbildungen 4 und 5). Dem aus der Förderbohrung heiß zu Tage gefördertem Wasser wird ein Großteil seiner gespeicherten Wärme entzogen um es anschließend abgekühlt über die Reinjektionsbohrung wieder in den Untergrund zurückzuleiten. Dieses reinjizierte Wasser wird durch die im Gestein gespeicherte Wärme langsam wieder aufgewärmt, breitet sich im Aquifer schrittweise in Richtung der Förderbohrung aus und kann so irgendwann aufgewärmt wieder zu Tage gefördert werden.

Dies kann, je nach Beschaffenheit des Aquifers sowie der Menge und Temperatur an gefördertem- und reinjiziertem Wasser, im Laufe der Zeit zu Temperaturverlusten im zu Tage gefördertem Wasser führen. Da der Betrieb jeder Anlage jedoch auf einen bestimmten minimalen Temperaturgrenzwert in der Förderbohrung angewiesen ist, endet die Laufzeit einer Anlage mit Erreichen dieses Grenzwertes, also mit der zu starken Abkühlung des Aquifers. Aussagen über die Nutzungsdauer variieren je nach Ausbau der Anlage und der allgemeinen Nutzung des Aquifers. In Larderello, Italien, wird die geothermische Energie bereits seit 1913 für die Stromerzeugung ausgeschöpft (Stober und Buchner, 2014). Allgemein liegt die durchschnittliche Nutzungsdauer einer Hydrothermalen Nutzung bei 50 Jahren.

Um eine wirtschaftliche Nutzungsdauer einzuhalten und auch um einen thermischen Kurzschluss (d.h. Förderung von bereits abgekühltem Wasser) während des Betriebs zu vermeiden muss der Abstand zwischen Förder- und Injektionsbohrung an die thermischen und hydraulischen Eigenschaften des Aquifers und an die Förderrate angepasst werden. Oftmals sind die thermischen und hydraulischen Eigenschaften des Aquifers erst nach Abteufen der ersten Bohrung genau bekannt. Die Auslegung der Bohrungen und somit der Anlage wird deswegen mit Modellierungen fortlaufend über die Bauzeit angepasst.

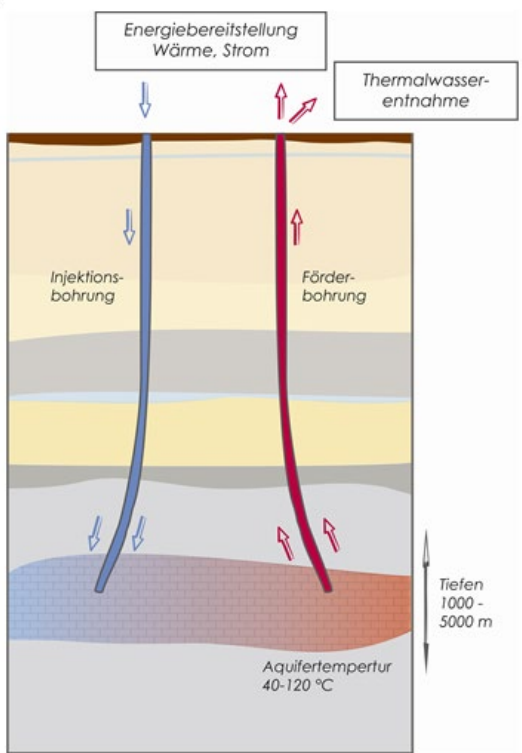


Abbildung 5: Schema einer hydrothermalen Dublette

2.1 STROMERZEUGUNG

Eine Stromerzeugung aus hydrothermalen Quellen ist bereits ab einer Wassertemperatur von 80° C möglich. Dazu wird die Wärme in einem Sekundärkreislauf über ein Arbeitsmittel in Strom umgewandelt.

Organic Rankine Cycle Prozess

Bei einer ORC (Organic Rankine Cycle) Anlage werden organische Medien eingesetzt, die bei relativ geringen Temperaturen verdampfen. Dieses Medium wird über Wärmeübertragung aus dem Thermalwasser auf Kondensationstemperatur gebracht. Der Dampf wird anschließend der Turbine, die den Stromgenerator antreibt, zugeleitet (Abbildung 6). Die Wärmeübertragung von Thermalwasser auf das Arbeitsmittel erfolgt isotherm, das heißt die Temperatur im Arbeitsmittel bleibt unverändert bei der Übertragung.

Kalina Verfahren

Beim Kalina-Verfahren wird, anstatt eines organischen Mediums wie beim ORC Prozess, ein Ammoniak-Wasser Gemisch als Arbeitsmittel eingesetzt. Dieses hat die Eigenschaft durch Konzentrationsänderungen Temperaturänderungen zu bewirken. Dabei verdampft das Gemisch unter stetig ansteigenden Temperaturen und zeigt erhöhte Temperaturänderungen bei der Verdampfung. Dadurch kann eine bessere Wärmeübertragung von der Temperaturquelle erreicht werden. Der Nachteil des Kalina Prozesses ist jedoch die aufwändigere Anlagenkonstruktion (Abbildung 6).

Direkte Dampfnutzung

Bei ausreichend hohen Temperaturen ($\sim 120^\circ\text{C}$) der Thermalwässer kann die Verstromung direkt ohne zusätzliche Arbeitsmittel erfolgen. Man spricht von offenen Systemen wie z.B. die Direktampfnutzung (Abbildung 7).

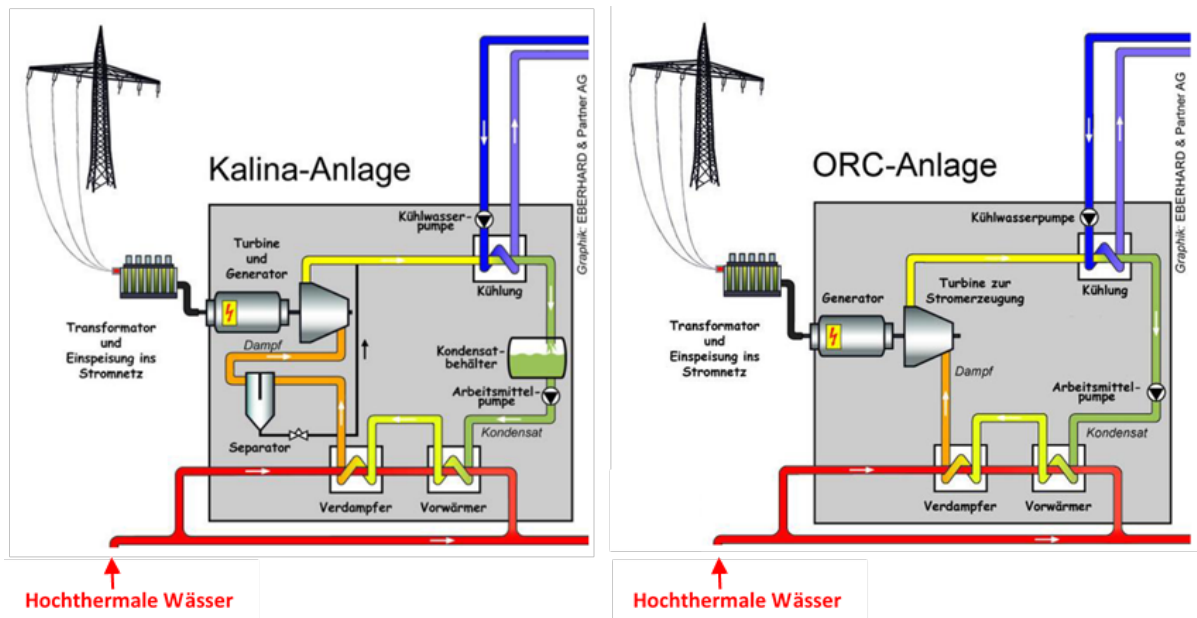


Abbildung 6: Prinzipschemata von tiefen geothermischen Stromgewinnungsanlagen über ein Arbeitsmittel. Links: Kalina Anlage. Rechts: ORC Anlage.

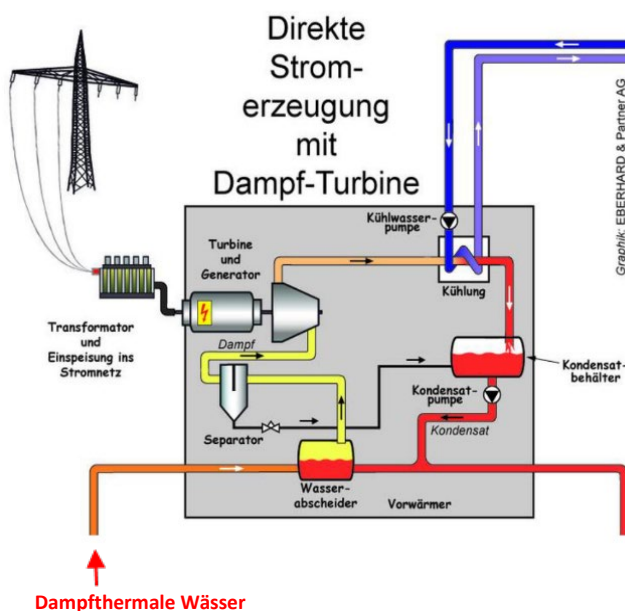


Abbildung 7: Stromproduktion aus Tiefer Geothermie mittels Dampfturbine

2.2 WÄRMEBEREITSTELLUNG

Je nach Temperatur des Thermalwassers kann dieses direkt über Wärmetauscher für den Heizkreislauf genutzt werden (Abbildung 8) oder es werden zusätzlich noch Wärmepumpen eingesetzt. Mit Hilfe von Wärmepumpen kann unter Zufuhr von technischer Arbeit, meist Strom, die Temperatur auf das gewünschte Niveau angehoben werden. Dies bietet sich in der Tiefen Geothermie vor allem für eine Wärmeengewinnung im Rücklauf des Thermalwassers am Ende einer direkten Nutzung an und kann somit die Ausbeute an Wärmeenergie erhöhen.

Die bevorzugten Thermalwassertemperaturen für eine Wärmeversorgung zur Raumheizung liegen bei 60- 90° C je nach Netzgröße. Die Rücklauftemperatur des genutzten Wassers hängt vom Wärmebedarf ab. Gängige Rücklauftemperaturen liegen bei 25 – 40° C. Es gilt, je höher die Spreizung zwischen der geförderten und der rückgeleiteten Temperatur, desto mehr Wärmeenergie kann gewonnen werden.

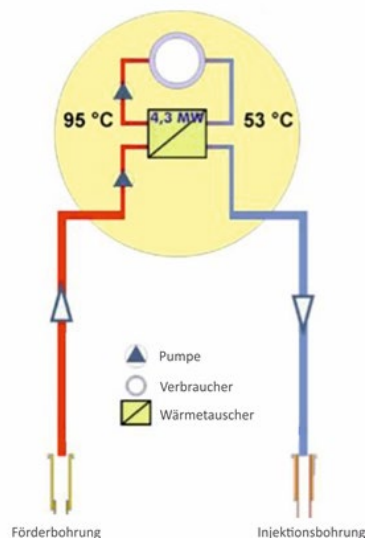


Abbildung 8: Schema einer Wärmenutzung mit Wärmetauscher. Frei verändert nach Lassacher et al., 2018.

2.3 WÄRMESPEICHER

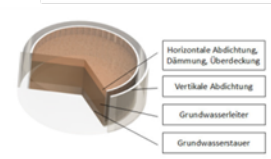
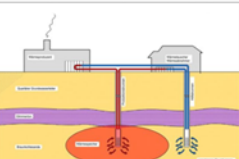

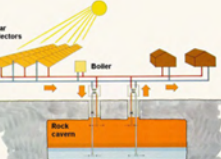
Eine Sondernutzungsform der Geothermie stellt die Wärmespeicherung dar. Bei der Wärmespeicherung wird generell das jahreszeitliche Ungleichgewicht von Wärmeangebot und Wärmebedarf ausgeglichen. So wird überschüssige Wärme die im Sommer anfällt im Untergrund gespeichert und in den kälteren Monaten zu Heizwecken genutzt. Bei der anfallenden überschüssigen Wärme handelt es sich meist um Energie aus Solarthermie, aus der Raumkühlung oder aus verschiedensten industriellen Prozessen.

Die geologische bzw. geothermische Speicherung lässt sich hinsichtlich der Wärmeübertragung, dem möglichen Tiefenbereich und des Speichermediums in verschiedene Methoden untergliedern. Findet die Speicherung im Untergrund über Bohrungen statt spricht man von Bohrlochspeichern (BTES – Borehole Thermal Energy Storage), findet sie über künstliche oder natürliche Hohlräume im Untergrund statt spricht man von Kavernenspeichern (CTES – Cavern Thermal Energy Storage). Ist

Grundwasser das Speichermedium spricht man von Aquiferspeichern (ATES – Aquifer Thermal Energy Storage). Sind Wärmespeicher künstlich errichtet spricht man von (AATES – Artificial ATES), dabei handelt es sich meist um Kiesbecken Speicher.

Eine Übersicht über die wichtigsten Charakteristika der verschiedenen Speichersysteme fasst Abbildung 9 zusammen.

Systemcharakteristika

	(AATES)	ATES	BTES	CTES
Systemskizze				
	Quelle: Projekt GeoWSP (Blue Globe Foresight #10/2014, KLIEN)	Quelle: https://blog.paradigma.de .	Quelle: http://underground-energy.com	Quelle: G. Hellström; UTES Experiences from Sweden
Tiefenbereich	< 10 Meter	> 10 Meter bis >>1.000 Meter	30 bis >>1.000 Meter	>10 Meter
Temperaturbereich	Flexibel	bis 20°C* bis 100°C	bis 30°C* bis <100°C	Flexibel
Vorteile	Geringes Erschließungsrisiko; Überall anwendbar	Geringer Oberflächenverbrauch Geringe Speicherverluste	Geringes Erschließungsrisiko	Geringes Erschließungsrisiko
Nachteile	Oberflächenverbrauch; Speicherverluste	Geologisches Erschließungsrisiko; Begrenzt anwendbar	Hohe Investkosten; Begrenzte Wärmeübertragungsleistung	Hohe Investkosten; Begrenzt anwendbar

*In Österreich bei Nutzung oberflächennaher Systeme (Empfehlung ÖWAV Regelblatt 207)

Abbildung 9: Überblick über die Charakteristika unterschiedlicher Speicheranwendunegn.

Die Nutzung von tiefen Grundwasserkörpern, wie sie in der hydrothermalen Geothermie verwendet werden, zur Speicherung fällt in die Speicherkategorie ATES. Diese Speicher werden direkt durch Grundwasseraustausch genutzt. Auch hier wird schon wie bei der Wärmeförderung das Dublettenprinzip angewandt. Im Gegensatz zur Wärmegewinnung wird die Funktion der Förder- und Injektionsbohrung je nach Aufgabe (Speicherung oder Wärmeentnahme) abgewechselt.

2.4 WEITERE ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

„Brine Mining“ – Stoffliche Nutzung von Thermalwässern

Brine Mining ist ein weitgefaster Begriff und fasst die Gewinnung von Rohstoffen die natürlich in Solen gelöst sind zusammen. Als Sole werden salinare Wässer verstanden wie z.B. Meerwasser, salinare

Oberflächen- und Grundwässer, aber auch hypersalinare Lösungen aus verschiedenen industriellen Prozessen. In der Geothermie bezeichnet man mit Brine Mining die Gewinnung von verschiedenen Mineralen, wie Lithium, Rubidium, Silizium oder auch Magnesium, aus den zur Energiegewinnung geförderten Wässern. Diese Wässer werden üblicherweise nach der Energiegewinnung wieder in den Aquifer reinjiziert. Zur Rohstoffgewinnung werden die abbauwürdigen Minerale vor dieser Reinjektion aus den abgekühlten Wässern extrahiert („mineral extraction“). Dies führt auch dazu, dass im Gegensatz zum herkömmlichen Bergbau eventuell unerwünschte Begleitminerale wieder in ihr ursprüngliches System zurückgeführt werden und keine Abfallentsorgung notwendig ist.

Zurzeit ist die Extraktion von Mineralen aus Geothermiewässern noch auf dem Level von Forschungsvorhaben, erscheint jedoch als zukunftssträchtige Alternative zum konventionellem Bergbau. Die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage richtet sich nach mehreren Punkten. Einerseits ist die Konzentration des Rohstoffs in den Thermalwässern von entscheidender Bedeutung. Die Gewinnung richtet sich aber auch nach der Höhe des Förderstroms, je mehr Wasser in kürzerer Zeit gefördert wird desto mehr kann extrahiert werden. Weitere Faktoren sind die Nachfrage und die Rohstoffpreise.

Als Beispiel ist in Abbildung 10 eine Ertragsaufstellung aus dem Projekt BrineMine (<https://www.bmbf-client.de/projekte/brinemine>) für ausgewählte Standorte in Chile ersichtlich.

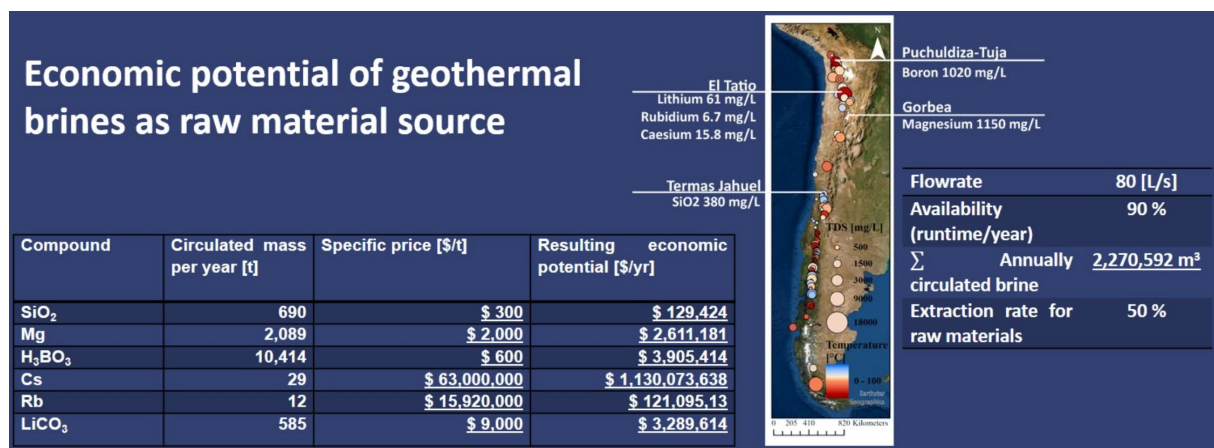


Abbildung 10: Wirtschaftliches Potential der Rohstoffgewinnung aus geothermisch genutzten Wässern in Chile aus dem Projekt BrineMine.

Nachnutzung von stillgelegten oder nicht fündigen Tiefbohrungen

Bei einer Nachnutzung von Tiefbohrungen, dabei kann es sich z.B. um stillgelegte Bohrungen oder nicht-fündige Bohrungen der Kohlenwasserstoffindustrie sowie Tiefen Geothermie handeln, werden die vorhandenen Bohrlöcher zu tiefen Erdwärmesonden umgerüstet. Bei diesen tiefen Erdwärmesonden handelt es sich um geschlossene geothermische Systeme in denen ein Wärmeträgermedium zirkuliert ohne in direktem Kontakt mit dem Untergrund zu sein. Der Wärmeinhalt des Untergrunds wird über das Trägermedium in der Tiefe aufgenommen und an der Oberfläche in einem Verteilsystem abgegeben.

Bei dieser Technologie handelt es sich um keine hydrothermale Nutzung, sie bietet aber eine Gelegenheit nicht-fündige Bohrungen in der Hydrogeothermie zum Teil finanziell abzuschwächen, da der Einsatz dieser Technologie immer möglich ist. Auch die Nachnutzung von anderen Tiefbohrungen die ihren Zweck nicht oder nicht mehr erfüllen erscheint im Gegensatz zur Verfüllung nach einer kostenintensiven Herstellung der Bohrlöcher als sinnvoll. Der Einsatz ist jedoch generell vom Vorhandensein von Wärmeabnehmern oder der geplanten Ansiedlung jener abhängig.

3. WÄRMEMARKT, WÄRMEBEDARF UND WÄRMEANWENDUNGEN

Abseits der bekannten und gut etablierten Verwendung von Geothermischer Energie zur Raumheizung gibt es eine Vielzahl von weiteren Wärmeabnehmern. Kapitel 3 gibt einen Überblick über diese Anwendungen der Hydrothermalen Geothermie zur Wärmenutzung. Dabei wird der Wärmebedarf von unterschiedlichen industriellen Nutzungen aufgezeigt und in Beziehung zu den Einsatzmöglichkeiten von Hydrothermaler Geothermie gestellt. Zudem werden praktische Grundlagen für die Nutzung von Thermalwässern beschrieben. Hauptaugenmerk liegt hier auf einer „sinnvollen“ Nutzung der Ressource auch im Vergleich zu anderen Erneuerbaren Energien.

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel beschreiben kann neben der Nutzung von hydrothermalen Wässern zu Bade- und Heilzwecken auch deren Energie zur Wärme und Stromerzeugung verwendet werden. Gerade im Bereich der Wärmenutzung ergeben sich dabei vielfältige Nutzungsmöglichkeiten (Abbildung 11).

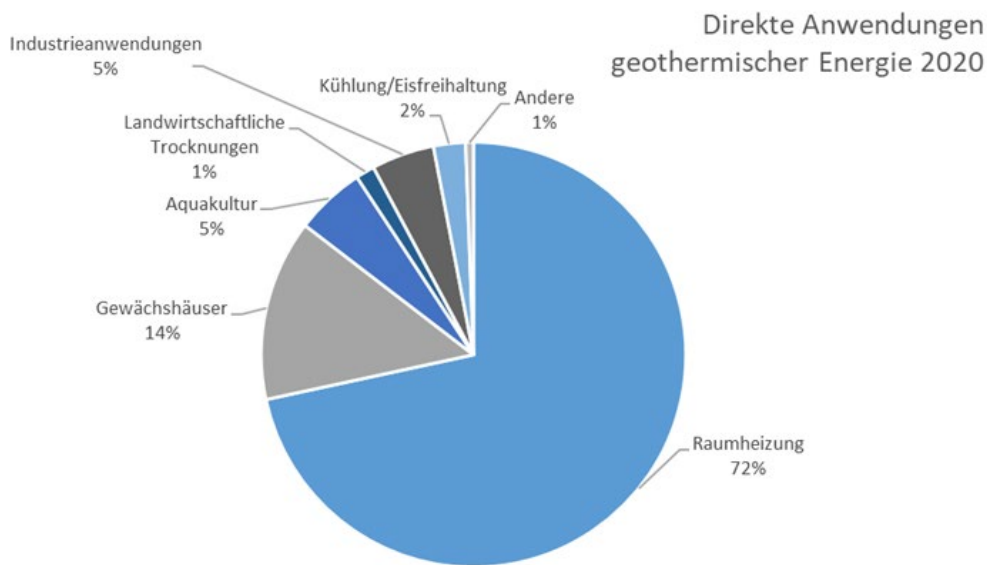


Abbildung 11: Aufteilung von direkten Wärmeanwendungen geothermischer Energie 2020 weltweit (nach Lund und Toth, 2020)

Die weltweit installierte Leistung zur direkten Wärmenutzung mit hydrothermalen Geothermie kann für 2020 mit 108 GW_{th} (1.020.887 TJ/a) abgeschätzt werden (Lund an Toth, 2020).

Die gängigste und wohl auch bekannteste Nutzungsform stellt die Bereitstellung von Raumwärme, meist durch Fernwärmenetze, dar gefolgt von der Gewächshausbeheizung. Aber auch andere Anwendungsmöglichkeiten wie Fischzucht, landwirtschaftliche Beheizung, Trocknungsprozesse, Schneeschmelze und der Einsatz in industriellen Prozessen kommen bereits seit Jahren zum Einsatz (Abbildung 11). Der Trend ist dabei seit 1995 steigend (Lund und Toth, 2020).

3.1 EXERGESTISCHE PRIORISIERUNG DES WÄRMEMARKTS

Durch die Nutzung von geothermischen Wärmequellen, oder anderen erneuerbaren Energien, kann ein wesentlicher Beitrag zur Dekarbonisierung des Wärmemarktes geleistet werden. Neben der saisonal- sowie täglich gleichbleibenden Verfügbarkeit sowie des geringen Einsatzes an Ressourcen liegt ein weiterer großer Vorteil der Geothermie in der Möglichkeit zur bedarfsorientierten (meist saisonalen) Energiespeicherung im Untergrund. So kann anfallende Überschusswärme aus z.B. industriellen Prozessen oder aus der Raumkühlung im Untergrund gespeichert und im Winter ohne Ausnützung des natürlichen Erdwärmeangebots zum Heizen bereitgestellt werden (siehe auch 2.3 Wärmespeicher). Unter Berücksichtigung des Gesamtenergiemarktes kann durch den Einsatz von lokalen Wärmerohstoffen wie Sonne und Erdwärme auch eine zusätzliche Ersparnis im Bereich Transport und Verkehr erfolgen.

Der Einsatz von erneuerbaren Energien im Bereich der Wärmebereitstellung ist ein fest verankerter, wenngleich auch verglichen mit der Stromerzeugung junger, Bestandteil jeder Klimastrategie in Österreich und darüber hinaus. Dabei wird neben der Geothermie der Einsatz von Umgebungswärme, Biomasse, Solarthermie, elektrischer Energie (power to heat) und „Green Gas“ forciert.

Anstelle einer unmittelbaren Konkurrenz dieser verschiedenen erneuerbaren Energieträger sollte bei deren Verwendung zu einer „exergetischen Priorisierung“ kommen. Dies bedeutet, den Einsatz verschiedener Technologien an das benötigte Temperaturniveau und die Verfügbarkeit anzupassen (siehe Abbildung 12). Dabei sollten Energieträger (z.B. Elektrische Energie, Green Gas oder Biomasse), die sehr hohe Temperaturen für unverzichtbare Prozesse (z.B. in der Chemie- oder Stahlindustrie) gewährleisten können, im Bereich von Anwendungen mit niedrigeren Temperaturen, wie Raumheizung, vermieden werden.

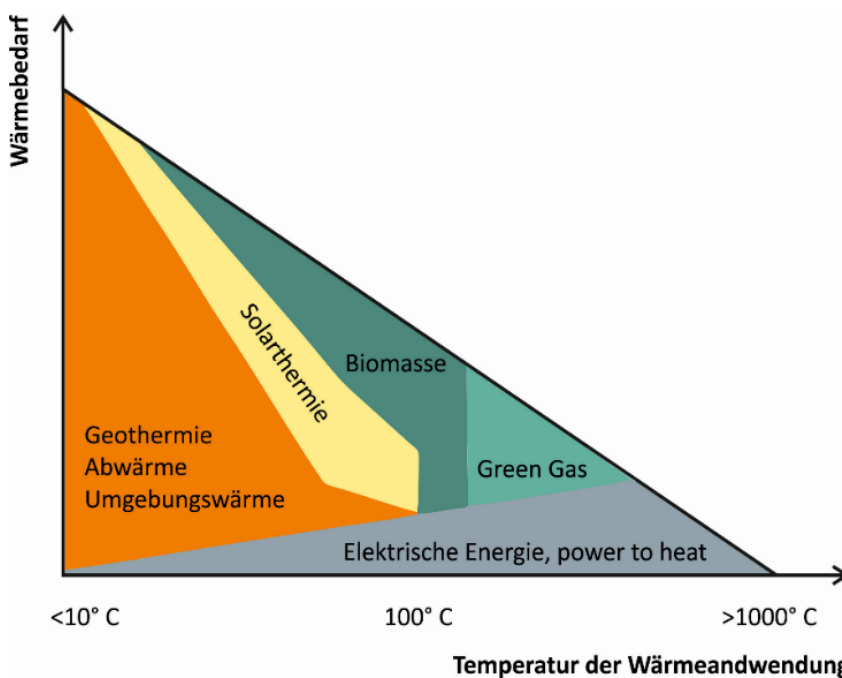


Abbildung 12: Exergetische Priorisierung des Wärmemarktes. Erneuerbare Energieformen und ihre idealen Einsatzbereiche bezogen auf Wärmebedarf und Temperatur der Wärmeanwendung. Bearbeitet nach MUSE www.geoera.eu.

Der exergetisch günstige Bereich für die Nutzung von Thermalwässern zur Wärmebereitstellung liegt im Temperaturbereich bei etwa 100°C. Höhere Temperaturen, bis 400 °C, können nur in Gebieten mit geothermischen Anomalien erreicht werden. Abbildung 13 zeigt den Anwendungsumfang der Geothermie je nach vorliegendem Temperaturniveau im Allgemeinen.

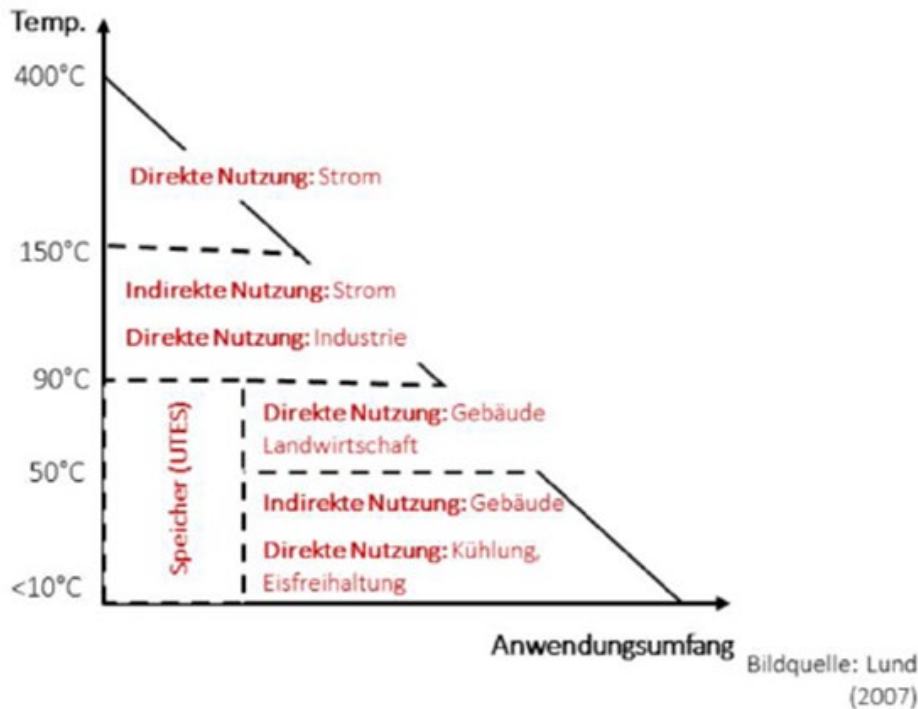


Abbildung 13: Anwendungsumfang der Geothermie im Allgemeinen

Die indirekte Nutzung (siehe Abbildung 13) bezieht sich auf den Einsatz von Hilfsmitteln bei der Anwendung, wie jenen von Wärmepumpen in der Oberflächennahen Geothermie oder Arbeitsmitteln zur Stromerzeugung.

Die direkte Nutzung hängt vom geforderten Temperaturniveau im Endverbrauch ab und kann zur Eisfreihaltung auch schon in der Oberflächennahen Geothermie erbracht werden.

3.2 KASKADISCHE NUTZUNG VON THERMALWÄSSERN

Eine sinnvolle Nutzung von Thermalwasser, auch im Hinblick auf die Investitionskosten, sollte die optimale Ausnützung des Potentials unter durchgehend hohen Volllaststunden vorsehen. Sollte eine einzelne Nutzung nur geringe Volllaststunden erreichen so stellt eine Mehrfachnutzung oder Kaskadennutzung des geförderten Thermalwassers eine Möglichkeit zur Ausweitung dar. Eine solche Nutzung setzt naturgemäß den Bedarf voraus, daher braucht es entweder Gebiete mit möglichst breit gefächelter Landnutzung – von Wohnraum über Landwirtschaft bis hin zur Industrie oder Anwendungen verschieden hoher Temperaturanforderungen innerhalb eines Betriebes. Durch eine

Kaskadennutzung kann also der Wärmebedarf verschiedener Nutzungen bedient werden, folglich die Volllaststundenanzahl der Anlage erhöht und somit die Effizienz und die Wirtschaftlichkeit einer Geothermieanlage erheblich gesteigert werden. Die häufigste und auch meistangewendete Form der Kaskade liegt in Österreich bei der Kombination aus Fernwärme und der Nutzung zu Heil- und Badezwecken.

Funktionsprinzip

Bei der Kaskadennutzung wird der Heizkreislauf je nach Temperaturangebot um zusätzliche Nutzungen erweitert. Gewöhnlich kommt es bei jeder Stufe der Verwendung zu einer Temperaturabsenkung des Thermalwassers. Je nach Wärmeinhalt des gefördertem Wassers können so mehrere Nutzungen mit unterschiedlichen Temperaturanforderungen hintereinandergeschaltet werden. Die Nutzung mit dem höchsten Temperaturbedarf wird dabei als erstes bedient. Als Beispiel ist in Abbildung 14 ein mögliches Schema der Wärmenutzung in Geinberg veranschaulicht. Nachdem das Thermalwasser für die Fernwärme und das Thermenzentrum genutzt wurde, wird mit der Resttemperatur ein Gewächshaus bedient.

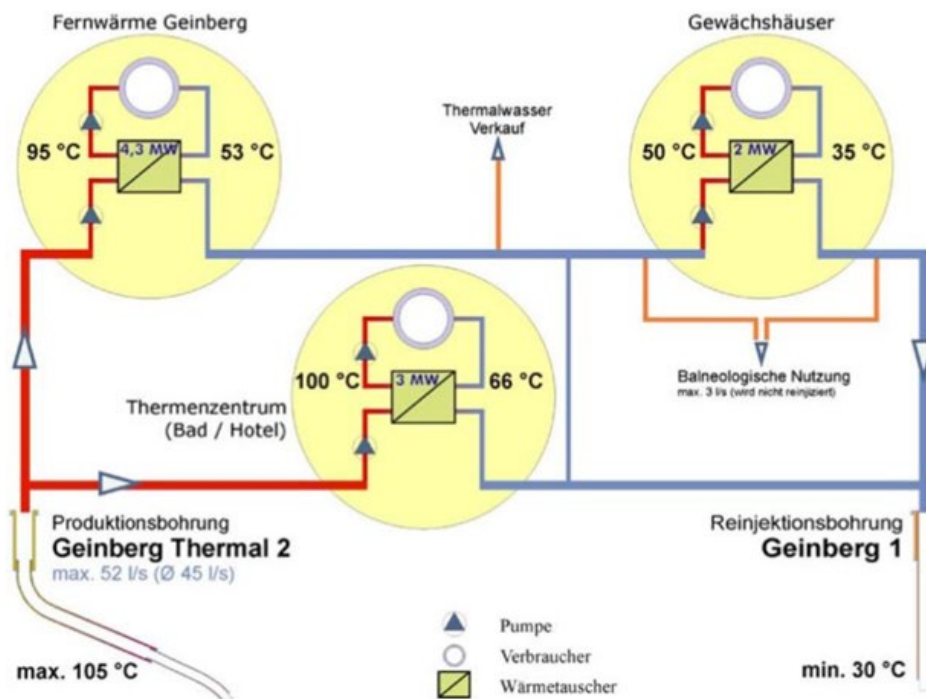


Abbildung 14: Schema einer Fernwärmenutzung inklusive möglicher Kaskade für eine Gewächshausbeheizung am Beispiel Geinberg Thermal. Quelle: Lassacher et al., 2018.

Welche Nutzungen für eine solche Kaskade in Frage kommen hängt davon ab ob die geforderten Prozesstemperaturen im Bereich der förderbaren Thermalwassertemperaturen liegen. Für Thermalwasser mit $< 100^{\circ}\text{C}$ bieten sich hier als erste Nutzung der Kaskade vor allem industrielle Prozesse aus der Lebensmittelindustrie oder auch der Landwirtschaft an. Es benötigen jedoch auch

zahlreiche andere Industriezweige, wie die Papierherstellung oder die Textilindustrie, Temperaturen von unter 100° C (Abbildung 15). Auch ist der Raumwärme- und Warmwasserbedarf von industriellen Anlagen nicht zu unterschätzen. In Österreich und der Tschechischen Republik liegt rund 25% der benötigten Wärme unter 100° C (Abbildung 16).

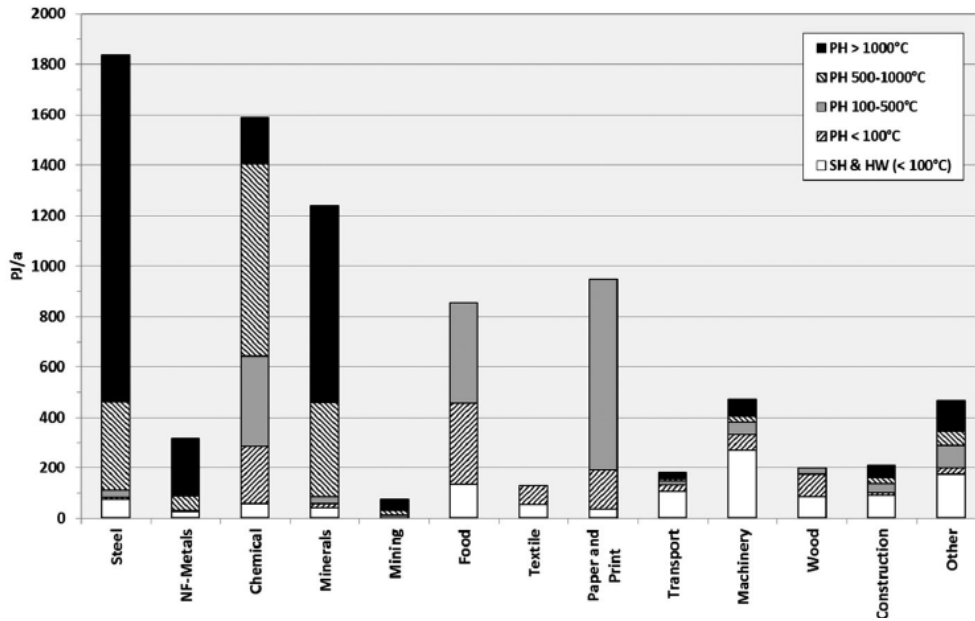


Abbildung 15: Prozesswärmeverteilung inkl. Raum- und Warmwasser in unterschiedlichen Industriellen Zweigen in Europa (Naegler et al., 2015).

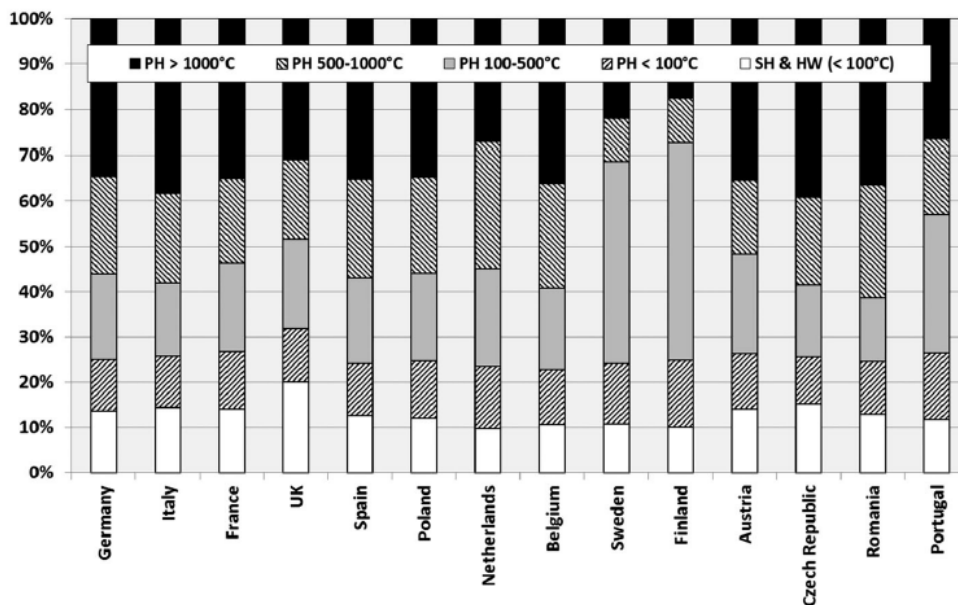


Abbildung 16: Anteile von Prozesstemperaturbereichen inkl. Raumwärme und Warmwasser für die 14 größten Industriestaaten in der EU (Naegler et al., 2015).

3.3 ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN IN DER INDUSTRIELLEN WÄRMEVERSORGUNG

Wärme wird in den meisten industriellen Prozessen benötigt. Die Temperaturbereiche umspannen dabei die volle Temperaturpalette, von Niedertemperaturprozessen bis hin zu Hochtemperaturprozessen und dem Bedarf an Heiz- und Warmwasser (siehe auch Kapitel 3.2). Meist wird der industrielle Wärmebedarf über fossile Brennstoffe gedeckt. Aber gerade im Niedertemperaturbereich ($\leq 100^\circ\text{C}$) bietet sich in den geothermischen Hoffungsregionen in Österreich, einschließlich des HTPO-Projektgebiets, die Möglichkeit einer industriellen Wärmeversorgung durch die Nutzung von Thermalwässern.

Wie aus Tabelle 2 und 3 in Kapitel 1 hervorgeht, liegen die größten Nachteile einer geothermischen Nutzung in ihrer nicht flächendeckenden Verfügbarkeit und der Angewiesenheit auf die regional gegebenen geothermischen Bedingungen. Eine Anlage kann so nicht immer bedarfsorientiert errichtet werden. Vielmehr muss sich die Nutzung an der Temperatur der Quelle und deren Ergiebigkeit orientieren. Wenn sich industrielle Prozesse von Bestandanlagen nicht durch vorhandene Thermalwässer versorgen lassen, besteht zumindest die Möglichkeit den Heiz- und Warmwasserbedarf dieser Unternehmen zu decken und so eine Teilreduktion von herkömmlichen Heizmitteln (wie Öl und Gas oder auch Biomasse bei weiten Transportwegen) zu erreichen.

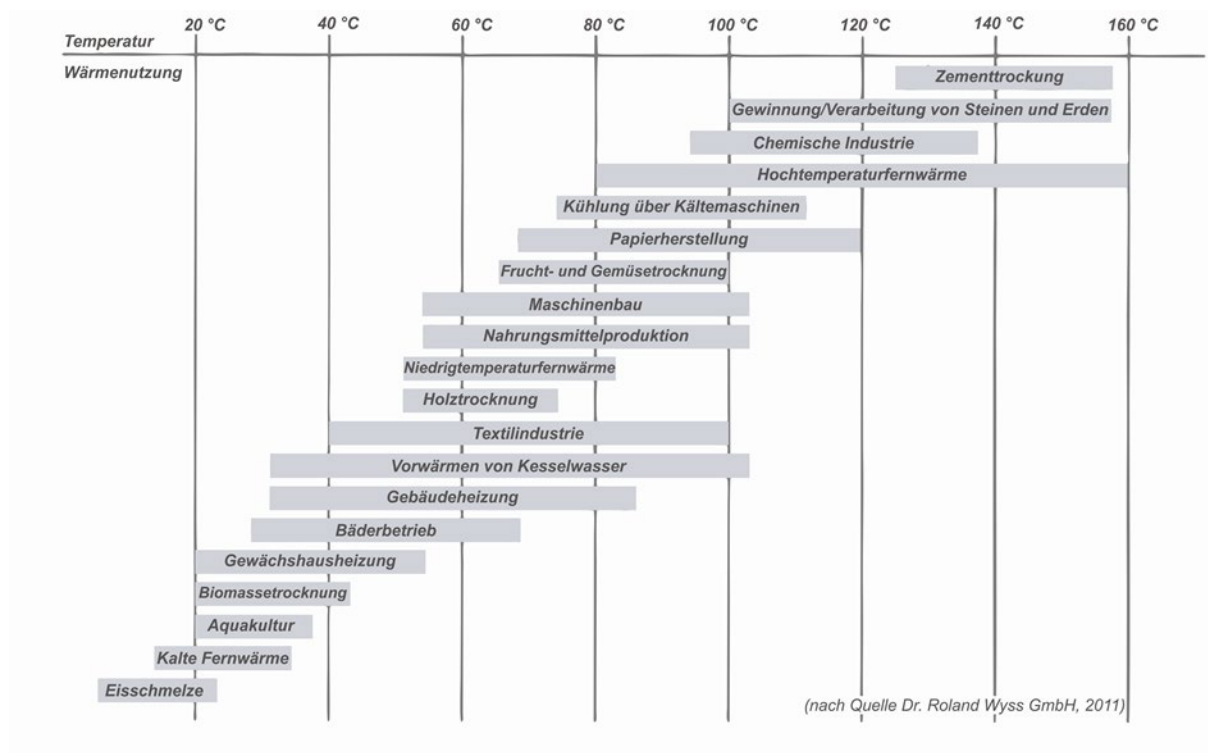


Abbildung 17: Temperaturbedarf verschiedener Wärmenutzungen im Vergleich

Die regionale Verfügbarkeit von hohen Thermalwassertemperaturen bietet auch die Möglichkeit der Ansiedlung von neuen Industriezweigen, der Schaffung von Industriestandorten und dadurch auch einen Bevölkerungszuzug durch neu entstandene Arbeitsplätze. Versorgungssicherheit und Einsparung von Importen und Transportkosten sind zunehmend wichtige Themen, einen Beitrag kann die Geothermie hier im Bereich der Nahrungsmittelerzeugung, wie z.B. für Gewächshäuser oder Aquakulturen, leisten.

Eine Übersicht über eine Vielzahl von Wärmeabnehmern und deren benötigten Prozesswärmebereich bis maximal 160 °C ist in Abbildung 17 dargestellt. Die Abbildung hat nicht den Anspruch auf Vollständigkeit und gibt lediglich einen Einblick über mögliche Wärmeabnehmer für geothermische Energie. Die angegebenen Temperaturbereiche können je nach Land und Region sowie dem Stand der Technik variieren.

Für den österreichischen Teil des HTPO-Projektgebiets wurde ein Abgleich der vorhandenen und benötigten Temperaturen mit ausgewählten Branchen durchgeführt. Siehe dazu Kapitel 5.

4. GEGENWÄRTIGE NUTZUNG VON THERMALWÄSSERN IN ÖSTERREICH

In diesem Kapitel werden die größten Potentialgebiete in Österreich und vorhandene Nutzungen vorgestellt. Die Nutzung von Thermalwässern zu Heil- und Badzwecken hat in Österreich eine langjährige Tradition und ist weit verbreitet. Tiefe Geothermische Nutzungen hingegen sind auf wenige Regionen beschränkt und leisten nur einen geringen Anteil an der gesamten Wärme- und Stromversorgung.

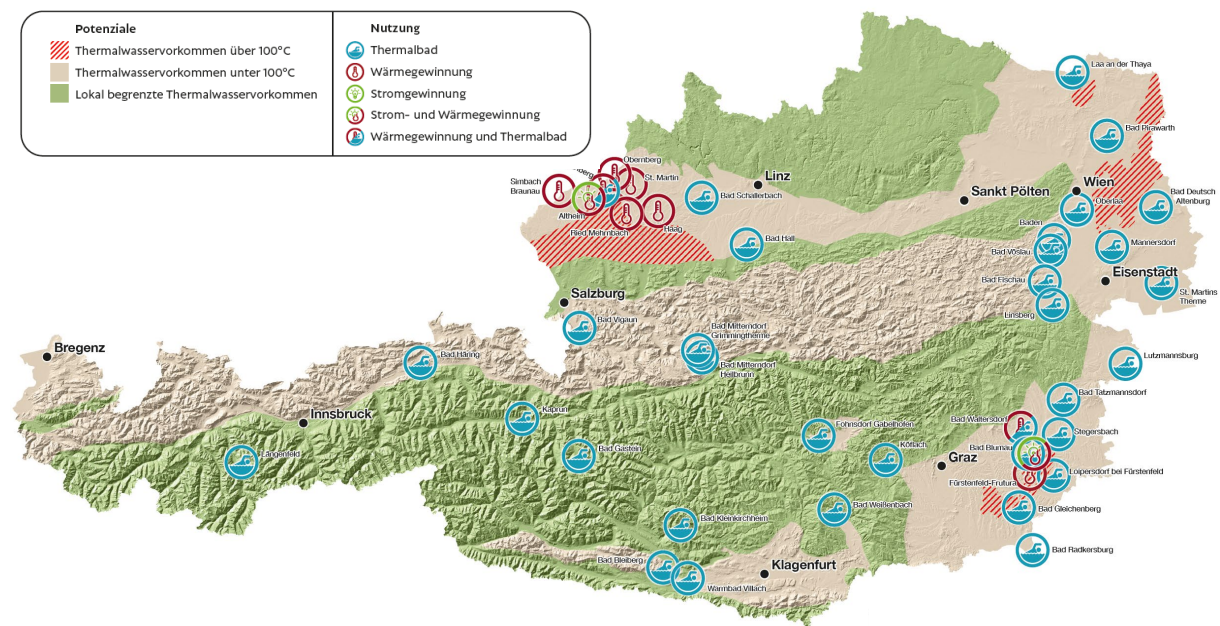


Abbildung 18: Nutzung von Thermalwässern in Österreich, verändert nach Verein Geothermie Österreich, 2019.

Die Voraussetzungen für Tiefe Geothermie in Österreich variieren über die verschiedenen geologischen Einheiten. So finden sich die günstigsten Bedingungen für eine Wärme- und Stromproduktion, also möglichst hohe Temperaturen in möglichst geringen Bohrtiefen, in den karbonatischen Gesteinen unterhalb der großen Beckenbereiche und den Becken selbst (Molassebecken in Ober- und Niederösterreich, Steirisches Becken, Pannonisches Becken und Wiener Becken). Anlagen zur Wärmegewinnung konzentrieren sich derzeit auf zwei dieser Beckenbereiche, auf das Steirische- sowie das Molassebecken, wie in Abbildung 18 in Rot markiert, ersichtlich ist.

Im Bereich der Alpen ist die Wärmestromdichte im Vergleich zu den Becken geringer, die erschlossenen Wässer daher meist von geringerer Temperatur. Die Quellaustrittstemperatur von bis zu 46°C in Bad Gastein beweist jedoch, dass auch in diesen Gebieten Thermalwässer mit hohen Temperaturen möglich sind. Solche Nutzungen erstrecken sich über das gesamte Bundesgebiet, wie in Abbildung 18 in blau markiert ersichtlich ist. Bisher werden diese inneralpin erschlossenen Wässer jedoch ausschließlich für Bade- und Heilzwecke verwendet.

Neben der Therme Laa an der Thaya, der einzigen Thermalwassernutzung im Projektgebiet von HTPO, gibt es in Österreich weitere 40 Nutzungen zu Heil- und Badezwecken. Die Nutzung der Tiefen Geothermie zur Energiegewinnung in Österreich wurde speziell in den 1990 und frühen 2000er Jahren intensiv ausgebaut (Tabelle 4). Gegenwärtig gibt es 9 Anlagen die Fernwärmenetze speisen, 2 davon in Kombination mit geothermischer Stromerzeugung. Seit 2016 liegt mit der Anlage Frutura in der Oststeiermark auch eine landwirtschaftliche Nutzung der Geothermie vor.

Insgesamt werden so in Österreich 1,2 MWe und 95,1 MWth an Energie durch die Nutzung der Tiefen Hydrothermalen Geothermie bereitgestellt. Der Anteil der Tiefen Geothermie an der erneuerbaren Stromproduktion beträgt lediglich <0,1 %, jener der Wärmebereitstellung beträgt gemeinsam mit der Produktion aus Wärmepumpennutzungen (Oberflächennahe Geothermie) 1,6 %. Damit ist das Potential der Tiefen Geothermie zu 95 % ungenutzt (aus Positionspapier Verein Geothermie Österreich) und noch lange nicht ausgeschöpft.

Tabelle 4: Zusammenstellung der wichtigsten Parameter von Nutzungen der Tiefen Geothermie in Österreich.

Nutzung	Art	Bohrtiefe [m]	Fördertemperatur [° C]	Förderrate [l/s]	Installierte Leistung** [MWth]	Installierte Leistung [MWe]**
Simbach/Braunau*	W	1848 - 1942	80	90	10	
Altheim*	W, S	2306 - 2165	93-99	100	11,2	1,0
Geinberg*	W, T	2127-2225	100	52	13,2	
Obernberg*	W	>1560	80	20	6,5	
St. Martin*	W	1793-2214	80	46	8,5	
Ried im Innkreis**	W	2592	105	100	15,0	
Haag*	W, T	1650-2056	83	20	1,0	
Bad Waltersdorf***	W, T	1100	61		2,3	
Bad Blumau****	W, S, T	3000	107	25 (artesisch)	8,0	0,2
Fürstenfeld/Frutura**	I	3300	124,5	60	15	

W... Fernwärme, S... Strom, T... Bade- und Heilzwecke, I... Industrielle Nutzung

*Daten aus Lassacher et al. 2018 außer Installierte Leistung aus Goldbrunner und Götzl 2019

** Daten aus Goldbrunner und Götzl 2019

*** Daten aus members.aon.at/otvg

**** Daten aus tiefegeothermie.de/projekte/bad-blumau-steiermark

4.1 NUTZUNG VON THERMALWASSER IM HTPO PROJEKTGEBIET

Gegenwärtig werden im HTPO Projektgebiet nördliches Niederösterreich – Südmähren Thermalwässer ausschließlich für den Betrieb von zwei Thermen genutzt, die Therme Laa an der Thaya und die Moravia Therme in Pasohlávky.

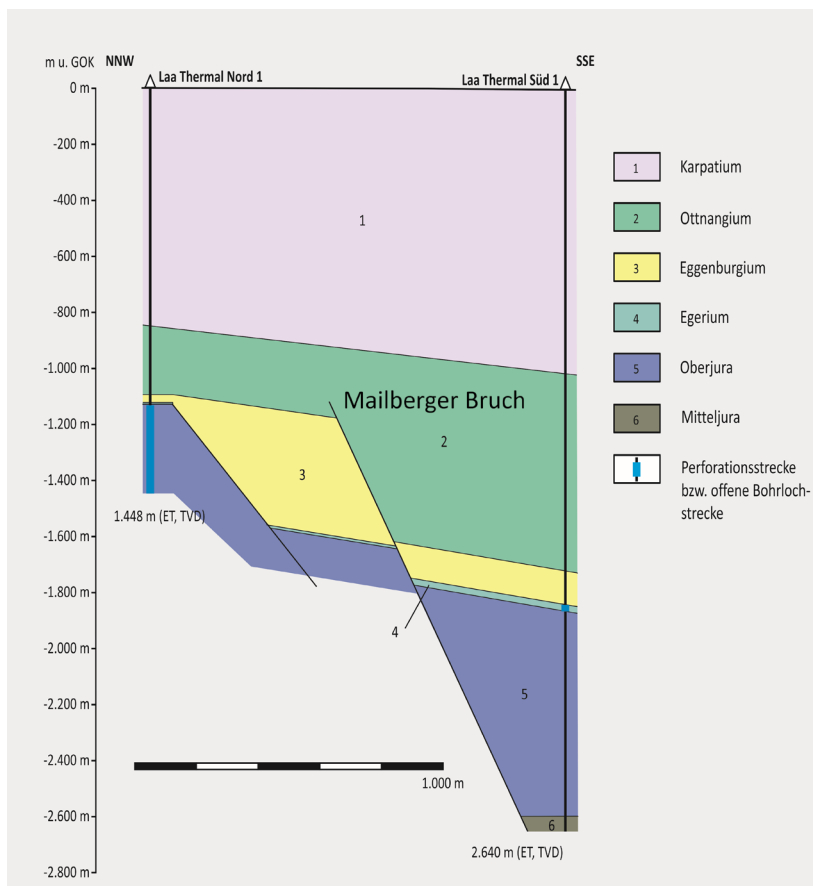


Abbildung 19: Geologisches Profil der Bohrungen in Laa an der Thaya (verändert nach Elster et al., 2016).

Die Förderung des Thermalwassers für die **Therme Laa an der Thaya** erfolgt aus der Bohrung Thermal Nord 1 mit einer Förderrate von 0,5 l/s. Es handelt sich um eine Chlorid-Jod-Mineral-Thermalquelle mit einer Austrittstemperatur von 42 °C. Laut Goldbrunner und Kolb (1997) handelt es sich um eine Mischung aus Formationswasser und meteorischem Wasser. Die Gesamtmineralisation beträgt 10.300 mg/l. Bei den wasserführenden Schichten handelt es sich um Kalke der Altenmarkter Schichten (Oberjura) in einer Tiefe von 1.125,3 bis 1.448 m unter Geländeoberkante. Insgesamt liegen in dieser Schichtabfolge 19 wasserführende Horizonte mit einer Gesamtmächtigkeit von 33 m vor. Etwa einen Kilometer südlich der Bohrung wurde mit der Bohrung Laa Thermal Süd ebenfalls Thermalwasser erbohrt. Auch hier wurden in den Altenmarkter Schichten und im darüber liegenden Egerium Thermalwasser gefunden. Die Schichten im Süden liegen jedoch durch die tektonische Situation am Mailberger Bruchsystem in größeren Tiefen. Die Temperaturen sind hier mit 65 °C erheblich höher, jedoch auch die Gesamtmineralisation mit bis zu 45.500 mg/l, was die Wässer für eine balneologische Nutzung ungeeignet macht (Elster et al., 2016).

Bei der Bohrung Thermal Nord 1 handelt es sich um die einzige Nutzung von Thermalwässern im Projektgebiet auf österreichischer Seite. Die Verwendung des Thermalwassers erfolgt ausschließlich zu Badeszwecken in einer Thermenanlage.

4.2 GOOD PRACTICE - BEISPIELE

Wärme und Strom

ALTHEIM	Bohrtiefe [m]	Fördertemperatur [° C]	Förderrate [l/s]	Installierte Leistung** [MWth]	Installierte Leistung [MWe]**
	2306 - 2165	93-99	100	11,2	1,0

In Altheim wurde im Jahr 1990 die erste geothermische Fernwärmanlage in Österreich installiert. Die Erschließungsbohrung war 1989 auch die erste erfolgreiche Geothermiebohrung in Österreich. Es wurde eine geothermische Dublette (siehe Kapitel 2, Abschnitt „Prinzip der Geothermischen Dublette“) installiert, wobei die erste Bohrung mit fast 2500 m Tiefe die Entnahmebohrung, und die zweite Bohrung mit einer Entfernung zur ersten von 1.7 km als Reinjektionsbohrung agiert (siehe Abbildung 20). Die Finanzierung erfolgte ausschließlich durch den Betreiber, die Gemeinde Altheim. Eine Erweiterung der Anlage wurde 1999 durch ein EU-Projekt unterstützt.

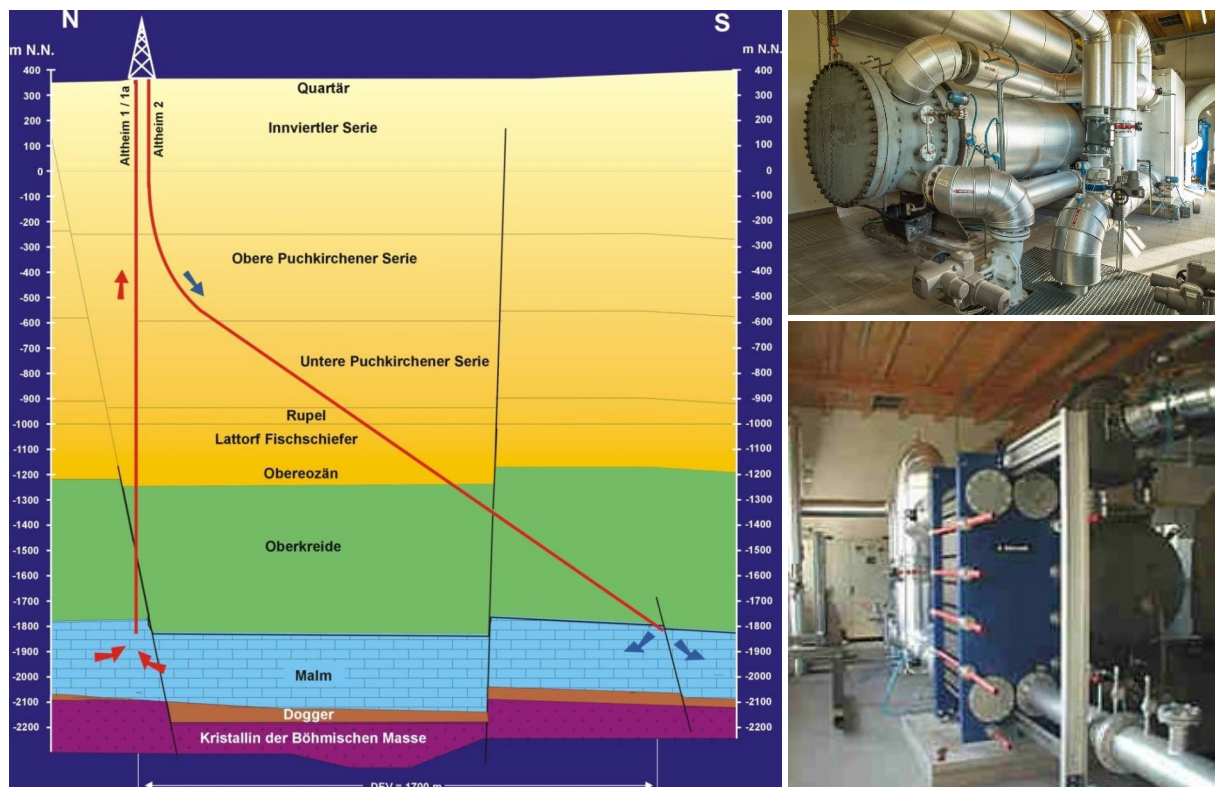


Abbildung 20: Geothermiedublette Altheim und Anlageneinblicke (Fotos von links im Uhrzeigersinn: Uhlig & Walker-Hertkorn, 1999 aus unveröffentlichter Vortrag J. Goldbrunner 2019, www.altheim.ooe.gv.at/Geothermische_Waermeversorgung, www.tiefageothermie.de/projekte/altheim-oberoesterreich)

Heute ist Altheim die zweitgrößte Anlage in Oberösterreich und auch eine der zwei in Österreich aktiven Stromerzeugungsanlagen. Mit der Fernwärme beheizt die Anlage rund **710 Abnehmer** mit geothermischer Wärme (~11 MW) was einen **Anschlussgrad von knapp über 40 %** ausmacht. Seit dem Jahr 2001 ging zusätzlich eine OCR-Stromerzeugung mit 1 MW in Betrieb. Die Nutzung deckt überwiegend den Eigenbedarf (Lassacher et al., 2018).

Industrie

Fürstenfeld/Frutura	Bohrtiefe [m]	Fördertemperatur [° C]	Förderrate [l/s]	Installierte Leistung** [MWth]
	3300	124,5	60	15

Die Frutura Thermal-Gemüsewelt liegt inmitten des Steirischen Thermenlandes und stellt die erste ausschließlich industriell genutzte Geothermieanwendung in Österreich dar. Das Thermalwasser wird über einen Kreislauf (siehe Abbildung 21) den Gewächshäusern mit einer Fläche von 18 ha (Stand 2018) zugeführt und anschließend wieder in den Tiefengrundwasserkörper eingebracht. Dies geschieht über zwei Bohrungen mit einer maximalen Teufe von 3300 m (siehe Abbildung 21). Durch die ganzjährig gleichbleibend verfügbare Wärme kann so in den Wintermonaten von Oktober bis Mai **Fruchtgemüse** (rund **9,5 Tonnen** an Tomaten, Paprika und Gurken) erzeugt werden. Die Nutzung von Erdwärme ermöglicht dies ohne Einsatz von fossilen Energieträgern und reduziert zudem Transportkosten und CO₂ Ausstöße durch Importe. Laut Angaben auf www.frutura.com werden somit 1 Mio. Transportkilometer eingespart.

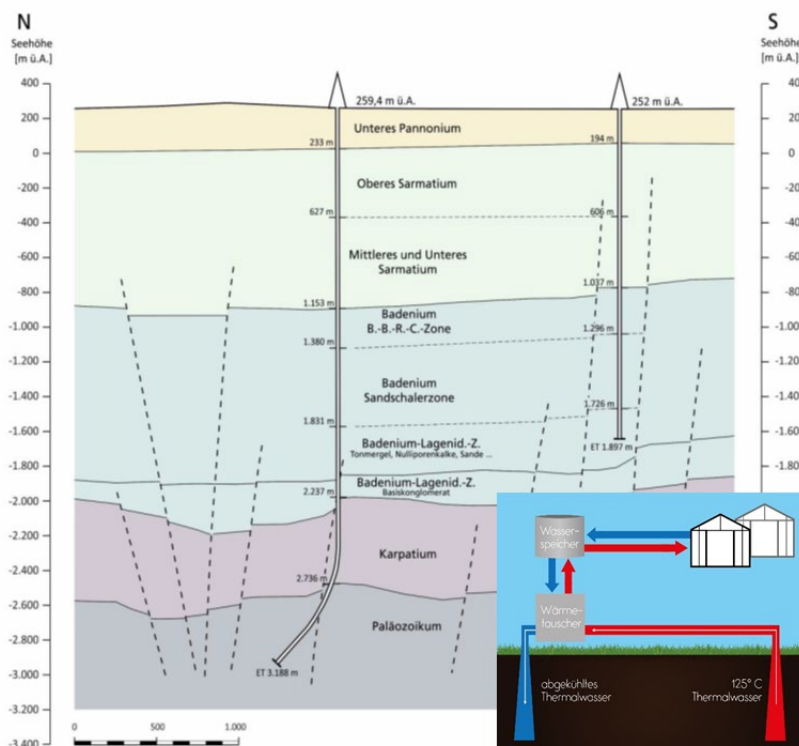


Abbildung 21: Thermalbohrungen der Frutura Gemüsewelt im geologischen Profil (Geoteam, 2019) und Schema des Kreislaufprinzips (www.frutura.com)



Abbildung 22: Thermalgemüsewelt FRUTURA. Oben: Thermalbohrung (www.impulsregion.at/impulsregion/aktuelles/detail/frutura-gemuesewelt-startet-mit-der-umsetzung). Unten: Gewächshäuser im derzeitigen Betrieb (www.frutura.com)

5. POTENTIAL FÜR DIE NUTZUNG VON THERMALWÄSSERN IM ÖSTERREICHISCHEN PROJEKTGEBIET

Das Potential der Thermalwässer in der Projektregion wird in enger Zusammenarbeit der unterschiedlichen Arbeitsgruppen im Projektteam untersucht. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen noch nicht alle Daten vor. Jedoch konnten in einem ersten Schritt drei unterschiedliche Grundwasserkörper mit Temperaturverteilung und den zugehörigen Tiefenstufen als aussichtsreiche geothermische Quellen im österreichischen Teil des Arbeitsgebiets identifiziert werden. Diese werden in folgendem Kapitel beschrieben und mit unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten verschnitten. Die Ergebnisse geben einen ersten Eindruck wie die Thermalwässer im Untersuchungsgebiet genutzt werden könnten.

5.1 GEOLOGIE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETS

Grob lässt sich die Geologie im Projektgebiet in drei Bereiche untergliedern. Von der Basis bis zur Oberfläche wird diese vom kristallinen Untergrund (Böhmische Masse), darauf lagernden Karbonaten (autochthones Mesozoikum) und den auflagernden Sedimenten des Molassebeckens gebildet (Abbildung 23 und 24). Im Oberflächenaufschluss liegen jedoch nur die Sedimente des Molassebeckens vor.

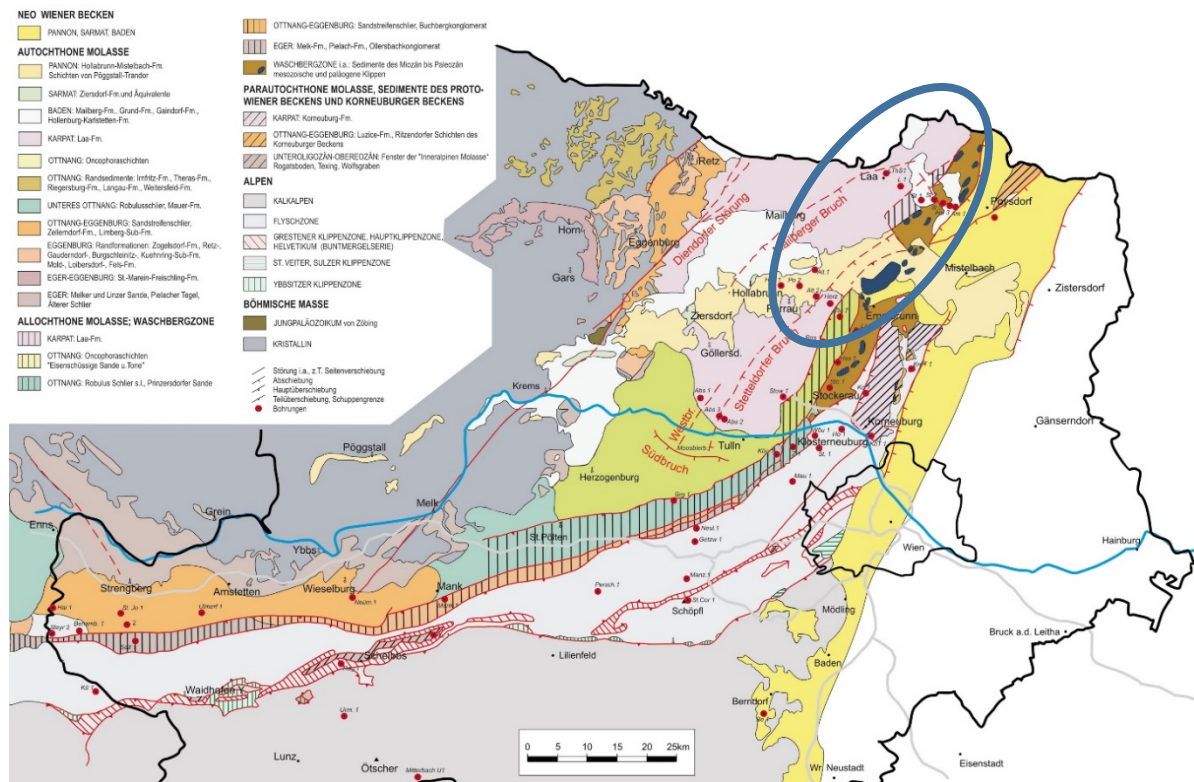


Abbildung 23: Geologische Karte Niederösterreichs 1 : 200.000 (Quartär abgedeckt), aus: Geologie der österreichischen Bundesländer – Niederösterreich (Wessely 2006, Abb. 52), grobe Umrandung des HTPO Projektgebietes in blau.

Der Gesteinsinhalt der einzelnen Einheiten unterscheidet sich dabei markant. Während die Böhmisches Masse einen Kristallinkomplex aus metamorphen und magmatischen Gesteinen bildet, liegen im autochthonen Mesozoikum eine Reihe von unterschiedlichen Gesteinen vor (160 bis 142 Mio. Jahre). Den Anfang der Abfolge bilden Quarzarenite (Sandsteine) die sich mit Tonsteinfolgen abwechseln. Diese Sedimente stellen Deltasedimente dar und wurden im Mittleren Jura abgelagert. Diesen folgen im oberen Jura mächtige Karbonatserien (Dolomite und Kalke) die unter diversen marinen Bedingungen abgelagert wurden. Die folgende und auch obertage anstehende Molassezone stellt die Sedimentfüllung eines ehemaligen Meeresbereiches (Paratethys) zwischen der Böhmisches Masse im Norden und dem Ostalpin im Süden dar. Die Sedimente sind „Abtragungs- und Zerkleinerungsprodukte“ dieser beiden Gebirge und bestehen hauptsächlich aus Kies, Sand und Ton. Das Alter der Molassesedimente reicht vom Ober-Eozän bis ins Ober-Miozän und entspricht einem Alter von 40 bis 7 Mio. Jahre (nach Wessely et al., 2006).

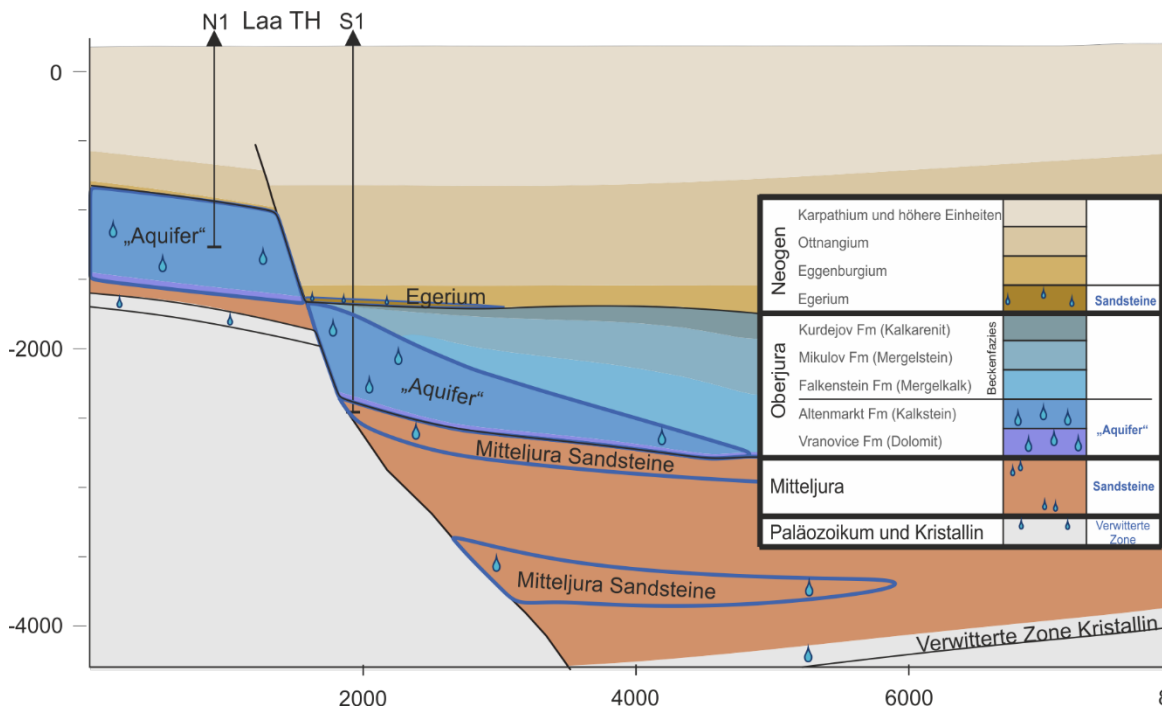


Abbildung 24: Geologischer Profilschnitt durch die Thermalwasserbohrungen in Laa/Thaya. Potenziell thermalwasserführende Einheiten auf österreichischer Seite des Projektgebietes sind mit Wassertropfen gekennzeichnet: Sandsteine des Egerium („Egerium“), Karbonate der Altenmarkt- und Vranovice Fm („Aquifer“), Sandsteine des Mitteljura und die obersten 50 m des kristallinen Untergrundes („verwitterte Zone Kristallin“). Rechts im Bild: Stratigraphische Tabelle der Schichtfolge im Projektgebiet.

5.2 EIGNUNG DER GEOLOGISCHEN EINHEITEN ZUR THERMALWASSERNUTZUNG

Die unterschiedlichen geologischen Einheiten im Projektgebiet bieten auch unterschiedliche Eigenschaften was ihre Fähigkeit zur Speicherung von Thermalwässern betrifft. Generell benötigt es für eine ergiebige Speicherung eine ausreichende Mächtigkeit und eine hohe Porosität der Gesteinsabfolge. Für die Nutzung zur Tiefen Geothermie sollten konstant hohe Temperaturen gewährleistet werden, welche im Untersuchungsgebiet nur in größeren Tiefen auftreten. Des

Weiteren ist eine mäßige Salinität der Wässer zu bevorzugen, da diese weniger Potenzial für Korrosion und mineralische Ausfällungen an den Anlageninstallationen bieten.

Im Projektgebiet zeigen einige der vorhandenen geologischen Einheiten die entsprechende Gesteinsstruktur und Tiefenlage, um für eine potenzielle Nutzbarkeit von Thermalwässern in Frage zu kommen. Dank der Exploration der Kohlenwasserstoffindustrie liegen Daten zu durchgeführten Tests in Bohrungen für alle potenziell interessanten geologischen Einheiten vor, wodurch eine Einschätzung der Eignung ermöglicht wird.

Auf Basis der Bohrlochtests der Kohlenwasserstoffindustrie konnten drei Einheiten identifiziert werden, die Potential für eine Thermalwassernutzung anzeigen. Diese Einheiten sind die Sande des Egeriums, die Altenmarkt Formation und Vranovice Formation des Oberen Juras sowie die Quarzarenitserien im Mittleren Jura. In den kristallinen Gesteinen der Böhmisches Masse besteht zwar theoretisch die Möglichkeit, dass Thermalwässer über Klüfte zirkulieren. Diese wurden in der Region bisher noch nicht angetroffen und werden daher für diese Studie nicht berücksichtigt.

Sedimente der Molassezone

Innerhalb der Sedimentabfolge des Molassebeckens (siehe Abbildung 24 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) können die Speicherkriterien für die Sandsteine des Egeriums, Eggenburgiums, Ottnangiums und Karpatiums zutreffen. Die Sande des Karpatiums sind bereichsweise wasserführend, wie z.B. die Mineralwasserbohrung der Hubertus Brauerei bestätigt. Diese Einheit liefert jedoch im österreichischen Anteil des Projektgebietes keine für die Thermalwassernutzung ausreichenden Temperaturen, in Tschechien hingegen stellt sie ein Potenzial für Thermalwassernutzungen dar. In den Sedimenten des Eggenburgiums und Ottnangiums gibt es im Projektgebiet bisher keine Hinweise auf Thermalwasser oder zumindest ergiebige tiefe Grundwasserkörper.

Für die Geothermie nutzbare Thermalwässer wurden jedoch in den Sandsteinen des Egeriums erbohrt und beprobt. Im Zuge der Thermalwasserbohrung „Laa Thermal Süd 1“ in Laa/Thaya wurde diese Einheit gezielt auf die Thermalwassernutzung getestet, jedoch aufgrund der für die Thermennutzung zu hohen Mineralisation (23 g/l) als nicht geeignet befunden (Elster et al., 2016).

Eine Verschneidung der Tiefenlage der Oberkante Egerium mit dem für diese Einheit aus 9 Bohrlochtests berechneten Temperaturgradienten von 31 °C/km zeigt einen erwartbaren Temperaturbereich potenziell vorhandener Thermalwässer von 20 bis 59 °C (siehe Abbildung 24) in Tiefen von etwa 300 – 1.700 m. Die Einheit ist, mit im Durchschnitt 60 Metern, relativ gering mächtig, kann jedoch bis zu 250 m mächtig werden, wie die Bohrungen Mailberg 2 (200 m) und Roggendorf 1 (220 m) erwarten lassen. Die Mineralisierung der Wässer kann mit etwa 10 – 12 g/1000 m Tiefe angenommen werden, gemessen wurde ein Wertebereich von 22 bis 29 mg/l. Die gemessenen Porositäten von 9 bis 25 % lassen keine Tiefenkorrelation erkennen.

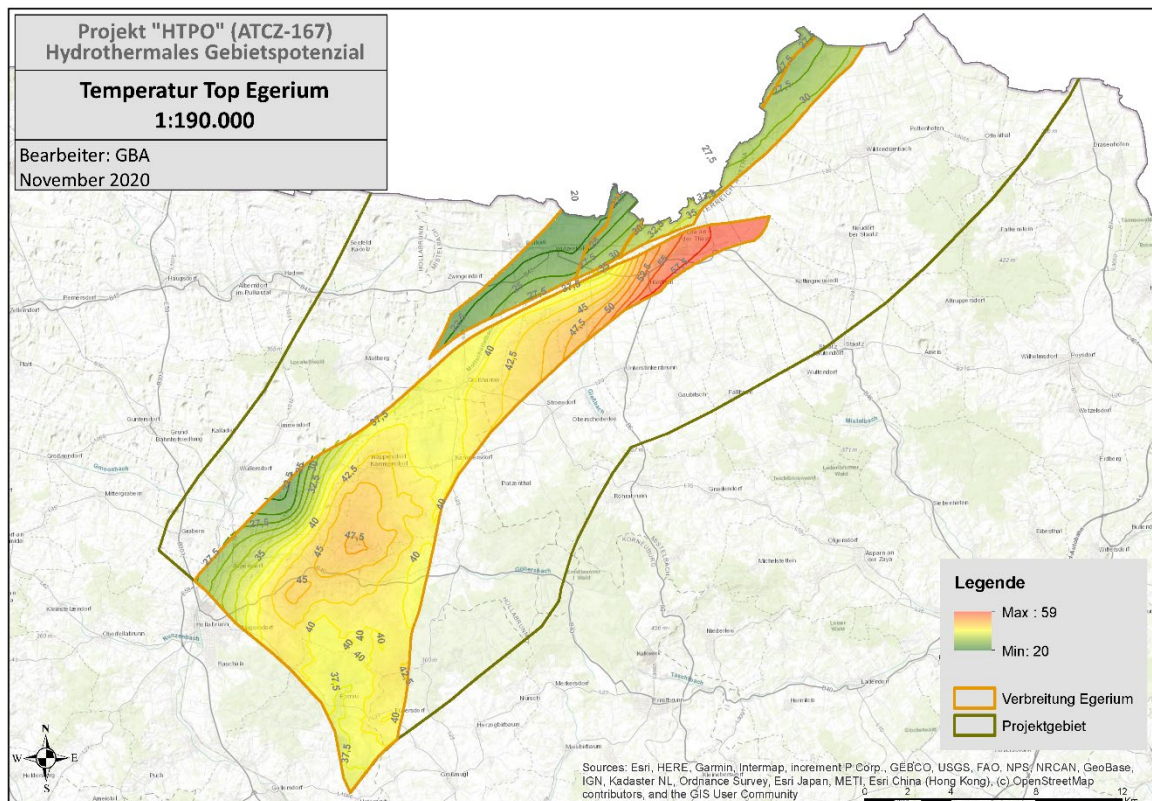


Abbildung 25: Thermalwassertemperaturen am Top des Egeriums (orange Umrandung) im österreichischen Teil des Projektgebiets (olivgrüne Umrandung).

Autochthone Molasse – Oberjura (MALM)

Die Karbonate des autochthonen Malm bieten geeignete Voraussetzungen für Thermalwassernutzungen, vor allem die verkarsteten Kalke, Korallenriffkalke sowie Dolomite der Altenmarkt- und Vranovice Formation (siehe Abbildung 24 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) haben Speichervermögen. Diese werden im weiteren Text als „Aquifer Oberjura“ bezeichnet.

Die Thermen Laa/Thaya sowie Pasohlávky werden durch Thermalwässer aus dem autochthonen Malm (Altenmarkt Formation) gespeist. Im Zuge der Thermalwasserbohrung „Laa Thermal Süd 1“ wurde diese Einheit in etwa 2.500 m getestet, jedoch aufgrund der für die Thermennutzung zu hohen Mineralisation von 45 g/l als nicht geeignet befunden (Elster et al., 2016). Mit der zweiten Bohrung „Laa Thermal Nord 1“ wurde die Einheit in einer höheren Lage (etwa 1.400 m) angetroffen, die dort vorhandene Mineralisation von etwa 11 g/l als für die Thermennutzung als geeignet eingestuft. Diese Bohrung versorgt heute die Therme Laa/Thaya mit Thermalwasser.

Eine Verschneidung der Tiefenlage der Oberkante des Aquifer Oberjura mit dem aus 29 Bohrlochtests berechneten Temperaturgradienten von 33 °C/km zeigt einen erwartbaren Temperaturbereich potenziell vorhandener Thermalwässer von 23 bis 112 °C (siehe Abbildung 26) in Tiefen von etwa 650 – 3.100 m. Die höchste gemessene Temperatur weist die Bohrung Staatz 1 mit 101 °C in fast 3000 m

Tiefe auf. Der Aquifer Oberjura ist im Durchschnitt 280 m mächtig, kann jedoch bis über 700 m mächtig werden, wie die Bohrungen Laa TH S1 (630 m) und Altenmarkt 1 (720 m) anzeigen. Die Mineralisierung der Wässer ist moderat mit gemessenen Werten von 3 bis 50 mg/l, eine Tiefenkorrelation konnte hier nicht festgestellt werden. Die gemessenen Porositäten von 10 bis 25 % lassen ebenfalls keine Tiefenkorrelation erkennen.

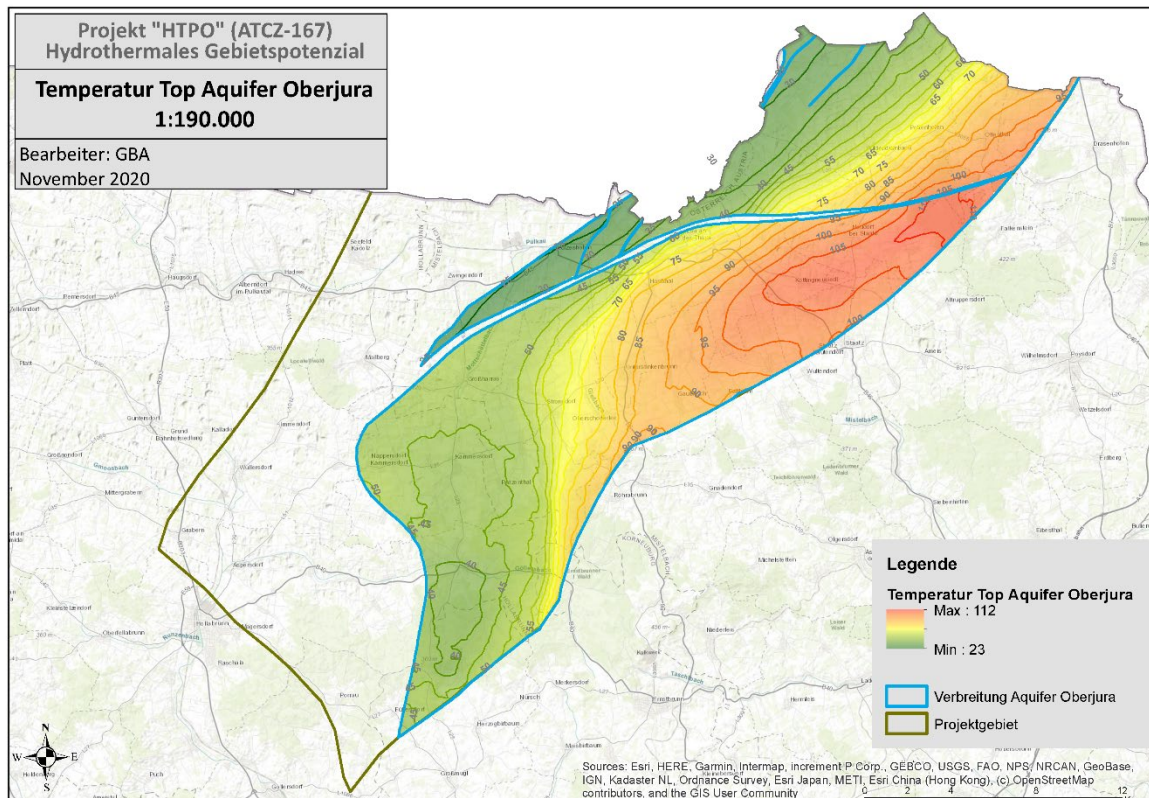


Abbildung 26: Thermalwassertemperaturen am Top des Oberjura Aquifers (Altenmarkt und Vranovice Formation, blau eingefärbt) im österreichischen Teil des Projektgebiets (olivgrüne Umrandung).

Autochthones Mesozoikum – Mitteljura (Dogger)

Das Potenzial für Thermalwassernutzungen in der Deltasandfazies des Dogger ist bisher noch nicht eingehend erkundet. Die für die Nutzung eventuell interessanter Quarzsandstein-Serien können stellenweise große Mächtigkeiten und Tiefen erreichen, wie dies z.B. bei Stockerau der Fall ist. Porositätsverlust von Sandsteinen mit der Tiefe sowie hohe Salinität der Wässer kann diesen positiven Faktor vermindern (G. Wessely et al., 2006). Indizien auf eine mäßige Salinität und somit auf nutzbares Thermalwasser liefern Tests aus Quarzareniten der Bohrungen Stockerau O1 mit 21.500 und Mauerbach 1 mit 15.500 mg Cl/l (F. Brix & Schultz, 1993).

Der Mitteljura wird aus mehreren Schichten dieser Quarzarenitserien aufgebaut (siehe Abbildung 27), wechselgelagert mit dichten, für die Thermalwassernutzung nicht interessanten Tonsteinserien. Aufgrund der Datenlage war eine Ermittlung der Tiefenlage dieser einzelnen Quarzarenitserien nicht

möglich, wodurch sich alle folgenden Angaben auf das gesamte Gesteinspaket des mittleren Jura beziehen.

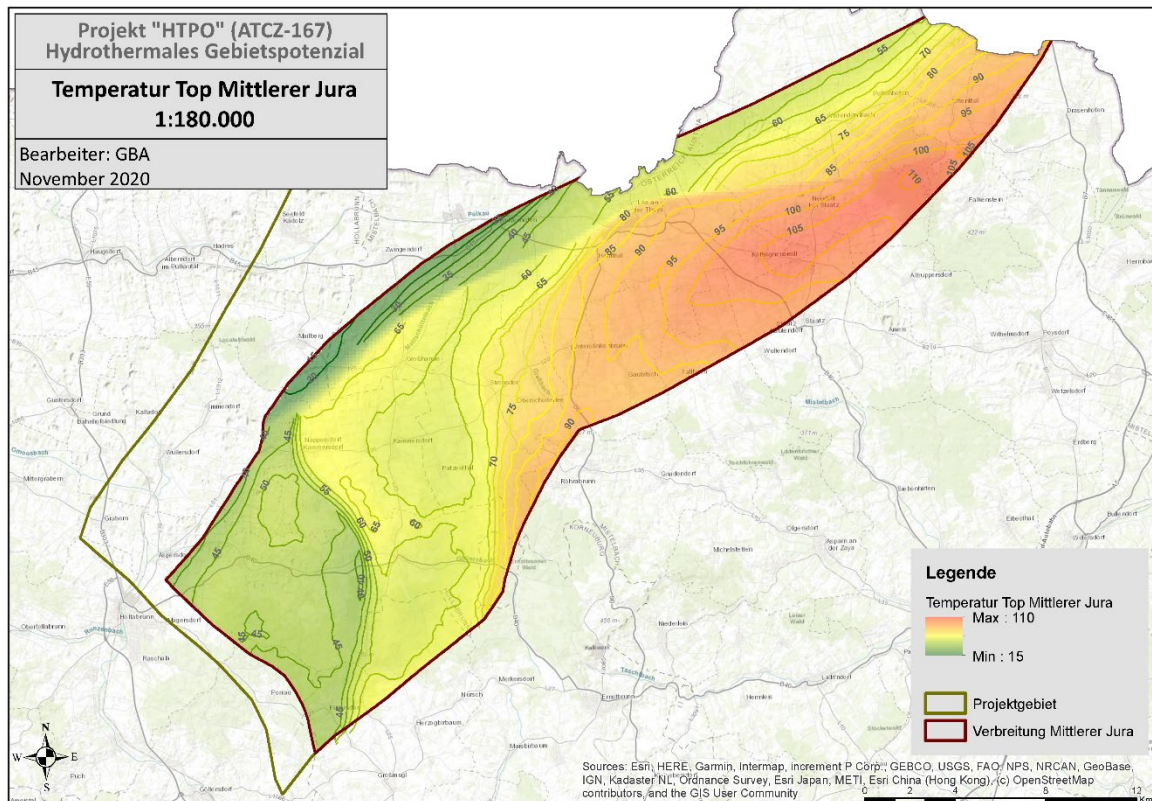


Abbildung 27: Thermalwassertemperaturen Top Mittlerer Jura (braune Umrandung) im österreichischen Teil des Projektgebiets (olivegrüne Umrandung)

Eine Verschneidung der Tiefenlage der Oberkante des mittleren Jura mit dem aus 30 Bohrlochtests berechneten Temperaturgradienten von 32 °C/km zeigt einen erwartbaren Temperaturbereich potenziell vorhandener Thermalwässer von 15 bis 110 °C (siehe Abbildung 27) in Tiefen von etwa 350 – 3.000 m. Die höchste gemessene Temperatur weist die Bohrung Staatz 1 mit 110 °C in fast 3400 m Tiefe auf. Der mittlere Jura ist im Durchschnitt 850 m mächtig, nach geologischem Modell kann man jedoch Mächtigkeiten bis über 2.200 m annehmen. Die größten im Projektgebiet gemessenen Mächtigkeiten finden sich in den Bohrungen Porrau 2 (1060 m), Altenmarkt 1 und Strongegg 1 mit 1000 m. Die Quarzarenitserien weisen Mächtigkeiten von 15 bis 300 Metern auf, durchschnittlich kann man etwa 100 m annehmen. Die Mineralisierung der Wässer zeigen gemessene Werten von 21 bis 66 mg/l, eine Tiefenkorrelation konnte hier nicht festgestellt werden. Die gemessenen Porositäten von 9 bis 25 % lassen ebenfalls keine Tiefenkorrelation erkennen, es sei jedoch anzumerken, dass Porositäten von 19 % in Tiefen größer 3.000 m gemessen wurden.

5.3 ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN IM HTPO-UNTERSUCHUNGSGEBIET

5.3.1 ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN ZUR ENERGIEBEREITSTELLUNG

Dieser Abschnitt präsentiert die Verschneidung der möglichen Thermalwassertemperaturen im österreichischen Anteil des HTPO-Zielgebiets mit Prozesstemperaturen verschiedener Industriebranchen. Für diese Studie wurden vorwiegend Industriezweige der Lebensmittelbranche ausgewählt. Dies begründet sich damit, dass einerseits ein Großteil der dafür benötigten Temperaturbereiche mit Geothermie gedeckt werden können und andererseits da gezeigt werden soll, dass die Geothermie hier einen wesentlichen Beitrag zur regionalen Versorgungssicherheit leisten kann. Als weitere Beispiele wurden Industriezweige mit stetig benötigten Produkten, wie die Papierindustrie oder Holzindustrie, gewählt, die unterschiedliche Prozesstemperaturen aufweisen. Prozessschritte die vorwiegend mehr als 100° C benötigen wurden für diese Studie nicht näher untersucht und sind in den Diagrammen (Abbildungen 28 bis 30) lediglich als Information für dazugehörige Hochtemperaturprozesse angeführt. Branchen die vorwiegend Hochtemperaturprozesse benötigen (wie die chemische Industrie oder die Metallindustrie) wurden für die Studie ausgeschlossen, wobei nicht ausgeschlossen ist, dass einzelne Unternehmen in diesen Bereichen auch mit Niedertemperaturprozessen arbeiten.

Die Grafiken auf den folgenden Seiten präsentieren die Ergebnisse aus den Temperaturkarten im Vergleich mit unterschiedlichen Prozesstemperaturen. Manche der Grafiken (Abbildungen 28 bis 30) stellen einzelne Prozesse eines übergeordneten Industriezweiges dar, wie z.B. Abbildung 28, die Prozesstemperaturen für Aquakultur, Pilzzucht oder die Rübenzuckerherstellung in der Landwirtschaft. Andere Grafiken beinhalten die einzelnen Arbeitsschritte innerhalb eines Prozesses, wie z.B. Abbildung 29 links oben, die Prozesstemperaturen für Kochen, Schälen, etc. in der Verarbeitung von Frucht und Gemüse.

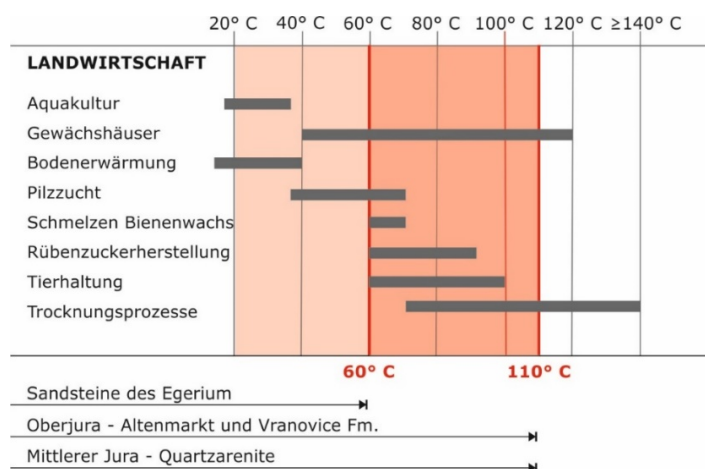


Abbildung 28: Grafische Darstellung von Prozesstemperaturen und den maximalen Thermalwassertemperaturen nach geologischen Einheiten im österreichischen Anteil des HTPO Projektgebiets für den Bereich Landwirtschaft

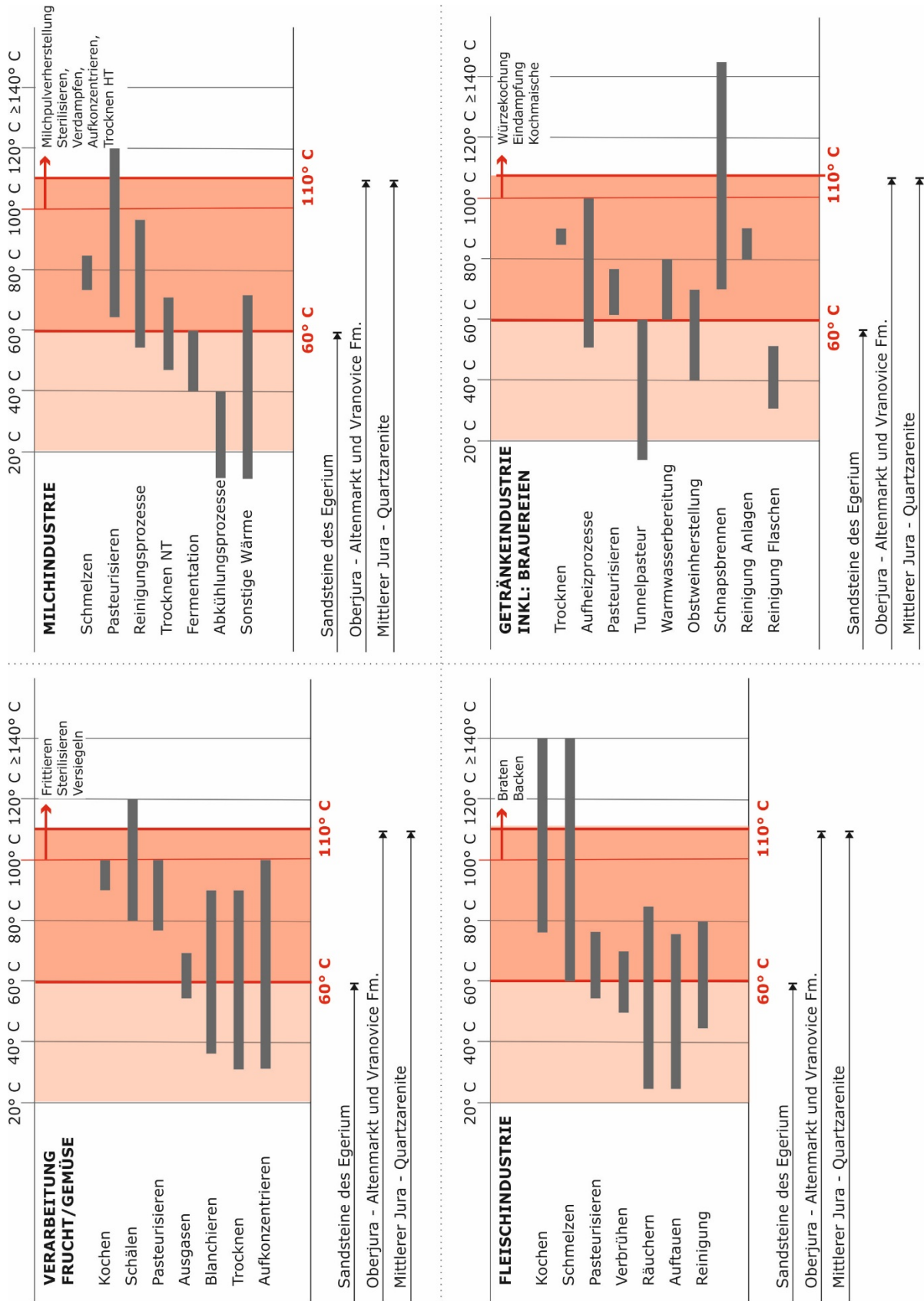


Abbildung 29: Grafische Darstellung von Prozesstemperaturen und den maximalen Thermalwassertemperaturen nach geologischen Einheiten im österreichischen Anteil des HTPO Projektgebiets für die Verarbeitung von Frucht und Gemüse, die Milchindustrie, Fleischindustrie und die Getränkeindustrie inklusive Brauereien

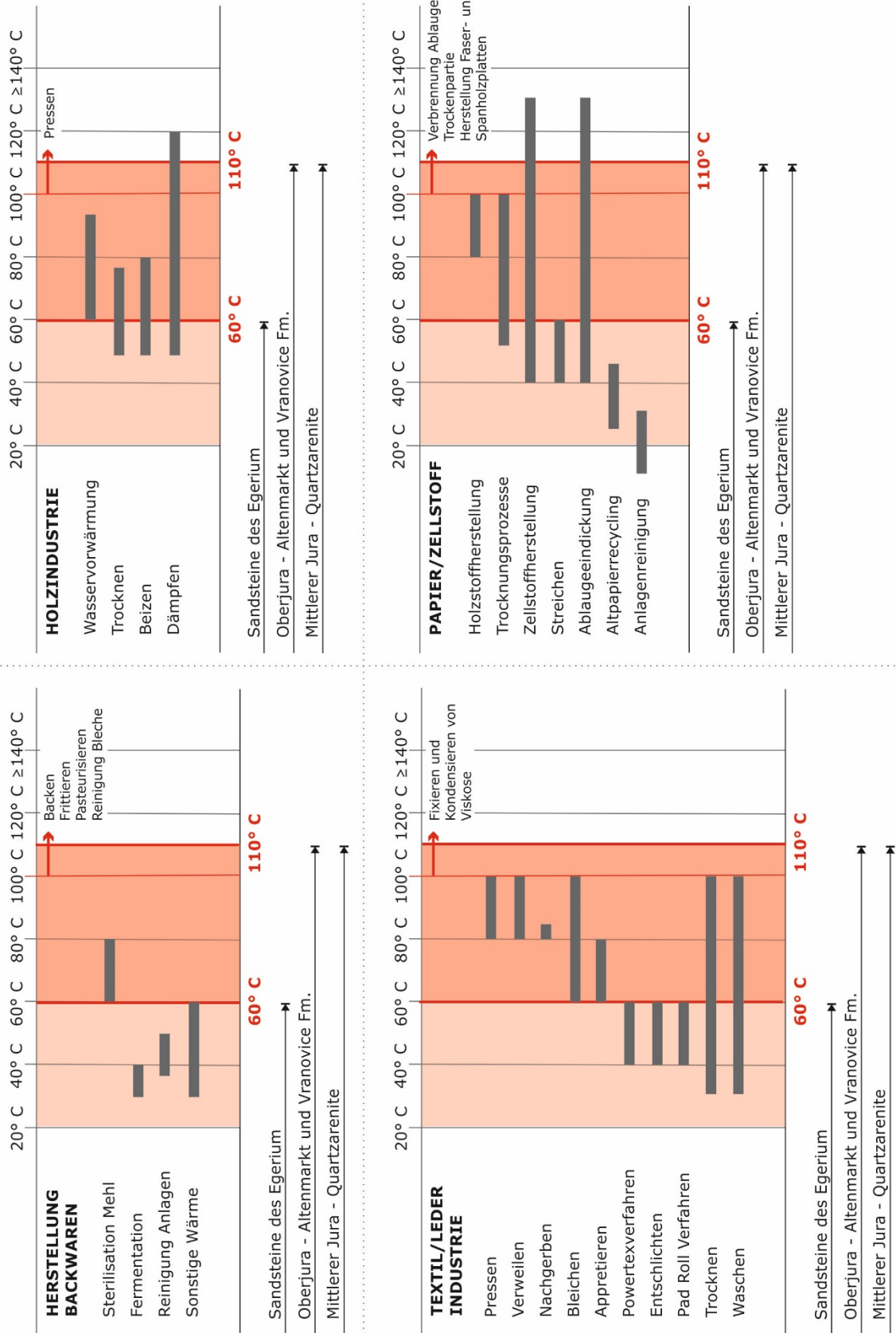


Abbildung 30: Grafische Darstellung von Prozesstemperaturen und den maximalen Thermalwassertemperaturen nach geologischen Einheiten im österreichischen Anteil des HTPO Projektgebiets für die Herstellung von Backwaren, die Holzindustrie, die Textil- und Lederindustrie und Herstellung von Papier und Zellstoff

Bei den angegebenen Prozesstemperaturen handelt es sich lediglich um Beispiele und keine vollständige Auflistung. Die Temperaturbereiche für industrielle Prozesse wurden durch Literaturstudien erarbeitet und dienen als Beispiele, da sie je nach Region und eingesetztem Stand der Technik erheblich variieren können. So geben Nägele et al., 2018 für die Thermalwassernutzung zur Beheizung von Gewächshäusern 60 bis 110 °C an, während die Food and Agriculture Organisation der UN den Temperaturbereich mit 40 bis 100° C ansetzt (Van Nguyen et al., 2015).

5.3.2 ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN IM BEREICH DER BALNEOLOGIE

Die Bewertung der Wässer im HTPO Projektgebiet erfolgte durch MUDr. Ladislav Špišák, CSc., MUDr. Vladimír Vurm, RNDr. Tomáš Vylita, Ph.D. Eine Zusammenfassung des Berichts wird im folgenden Abschnitt für den österreichischen Teil des Projektgebiets gegeben.

Medizinischer Teil des Berichts über die potenzielle Nutzung von Mineralwässern der Molassezone

Nach der Analyse des Grundwassers, welches aus zahlreichen Bohrlöchern im tschechischen und österreichischen Teil der Molassezone entnommen wurde, kann generell deren Nutzung für balneotherapeutische Zwecke in Betracht gezogen werden. Die Möglichkeit liegt dabei in der Nutzung der externen Balneotherapie, d.h. in Bädern oder in Pools.

Aus therapeutischer Sicht, ist dabei besonders auf folgende Punkte zu achten:

- sehr stark mineralisierte Wässer (Solen) mit einem Gehalt an gelösten Feststoffen von mehr als 5 g/l
- schwefelhaltige Wässer (Gehalt über 2 mg/l titrierter Schwefel)
- Jodwasser (Gehalt über 5 mg/l Jodid).

Laa an der Thaya (Bohrungen TH N1 und TH S1)

Bei Wässern aus den Bohrungen THN1 und THS1 handelt es sich um hochmineralisiertes Wasser vom hydrogeochemischen Typ Na-ClHCO₃. Eine Zusammenfassung der gesammelten Analysen ist in Tabelle 5 ersichtlich.

Tabelle 5: Zusammenfassung der Eckdaten der Analysen aus den Bohrungen THN1 und THS1 in Laa an der Thaya

Gesamtmineralisierung 10,5 bis 45,5 g/l			
Temperatur bis 65 °C			
pH 7,36			
50 bis 155 mg/l freies gelöstes CO ₂			
salziger Geschmack			
6- 27 g/l Cl ⁻	3,4-13,6 g/l Na ⁺	0,226-2,772 g/l Ca ²⁺	41 mg/l Fe ²⁺
100-503 mg/l Mg ²⁺	43 mg/l SO ₄ ²⁻	9,4-66 mg/l I ⁻	300 µg/l Mn
6600 µg/l Si	300 µg/l H ₂ S		

Durch die Beschaffenheit der Wässer ergeben sich folgende therapeutische Anwendungsmöglichkeiten:

Das Bad in diesen Wässern eignet sich zur Behandlung von Erkrankungen des Bewegungsapparates, der Neurologie und der Haut. Ausschlaggebend sind hier die Gesamtmineralisierung der Wässer und der Gehalt an Kohlendioxid. Die Thermalwässer können als Ganzkörper- oder Teilkörperbäder bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen, bei Gefahr von Thrombosen der unteren Gliedmaßen, spezifischen Komplikationen der Ruhr - insbesondere bei Polyneuropathie, Erkrankungen des Bewegungsapparates, Arthrose und Arthritis eingesetzt werden. Der Schwefel-, Magnesium- und Jodgehalt eignet sich auch zur Behandlung dermatologischer Erkrankungen wie Neurodermitis oder chronischer Ekzeme. Tabelle 6 fasst die medizinischen Erkenntnisse detailliert zusammen.

Tabelle 6: Zusammenfassung der medizinischen Bewertung der Thermalwässer in Laa an der Thaya

Anwendung
entspannende Ganzkörperbäder mit einer Aufenthaltsdauer von 20 bis 30 Minuten und anschließender Ruhezeit von 20 bis 30 Minuten
Indikation
Behandlung von Krankheiten des Bewegungsapparates
entzündliche und degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule und der Gelenke – Arthritis, Osteoarthritis, Spondyloarthritis, Spondylose
Bedingungen nach Verletzungen des Bewegungsapparates für die allgemeine Regeneration und Rekonditionierung, insbesondere des Bindegewebes
Behandlung von Angiopathie insbesondere an den unteren Gliedmaßen
Behandlung von Hautkrankheiten
Psoriasis vulgaris
Chronisch entzündliche Hauterkrankungen
Behandlung von neurologischen und neurovegetativen Erkrankungen
Chronisches Müdigkeitssyndrom
Behandlung von Polyneuropathien bei Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes mellitus
Multiple Sklerose
Behandlung von neuromuskulären Erkrankungen
Behandlung von neurodegenerativen Erkrankungen (Alzheimer-Krankheit (AD), Parkinson-Krankheit)
Kontraindikation
Hyperthyreose
Nicht kompensierte Herzinsuffizienz
Nicht kompensierte Hypertonie
Akute entzündliche Erkrankung
Bösartige Erkrankung im Exazerbationsstadium

5.3.3 ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN ZUR NACHNUTZUNG VON TIEFBOHRUNGEN

Die Anwendungsmöglichkeit der Nachnutzung von nicht-fündigen Tiefbohrungen im Bereich der Hydrogeothermie ist immer gegeben. Im HTPO-Projektgebiet gibt es jedoch auch eine Bohrdichte von bis zu 13 abgeteuften Tiefbohrungen (> 400 m) pro 30 km². Eine Nutzung dieser ist mit dem Zustand der Bohrung und möglichen Wärmeabnehmern abzugleichen.

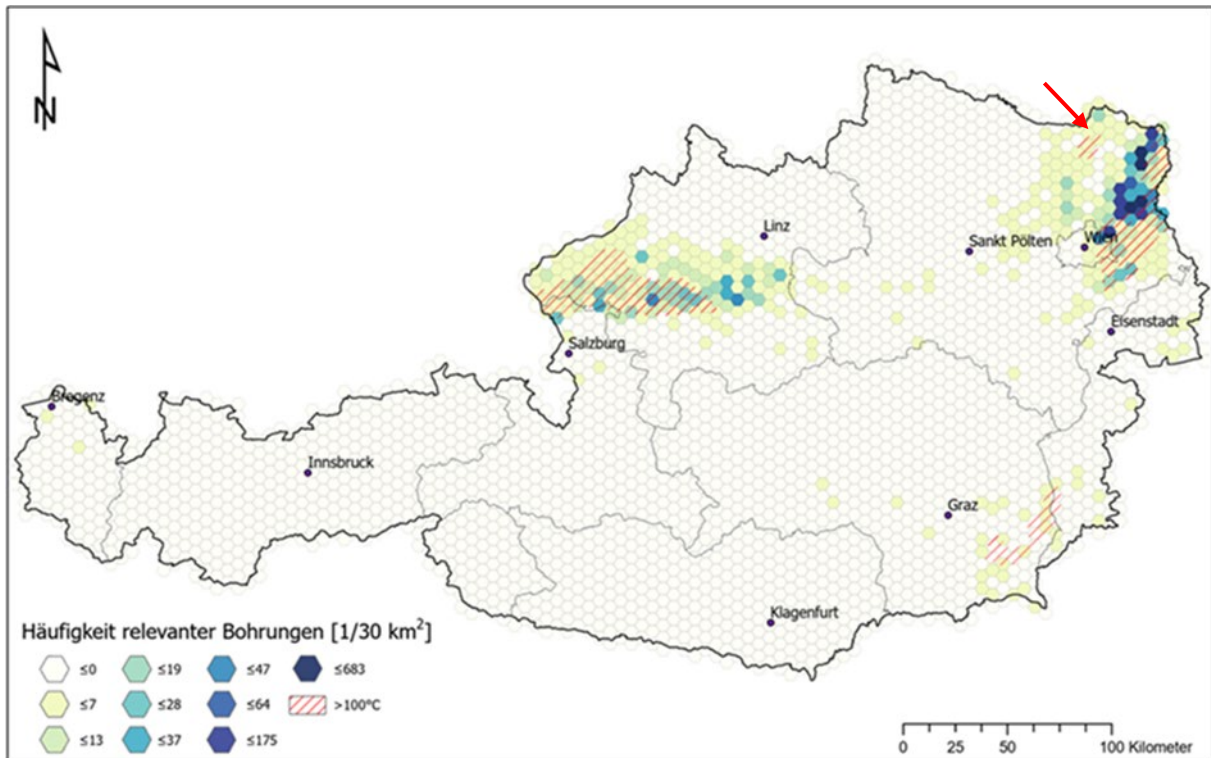


Abbildung 31: Bohrdichte an Tiefbohrungen von mehr als 400 m Teufe in Österreich. Der rote Pfeil markiert die Lage von Laa an der Thaya.

5.4 BEWERTUNG

Die Bewertung der im Projektgebiet potenziell vorhandenen Thermalwässer hinsichtlich ihrer geothermischen Nutzung für verschiedene industrielle Prozesse erfolgte aufgrund ihrer prognostizierten Tiefenlage und Temperatur, unabhängig von benötigten Wärmemengen. Die in den Abbildungen 28 – 30 dargestellten benötigten Temperaturen für verschiedene industrielle Prozesse entsprechen jeweils einem Wertebereich, je nach Art der Anlage können diese jedoch stark variieren. Entsprechend braucht es für die Bewertung, welche Prozesse mittels Geothermie abgedeckt werden können, detailliertere und vor allem standortspezifische Angaben über benötigte Temperaturbereiche und Wärmemengen – für industrielle Prozesse in gleicher Weise wie für die Raumwärmeversorgung. Da die sozioökonomische Analyse des Projektgebietes und die Ausweisung von Gebietspotenzialen erfolgt in Teil 2 dieser Berichtsreihe „Sozioökonomisches Potenzial“. In jedem Falle zeigen die Resultate dieser Studie bereits die generelle Einsetzbarkeit von Tiefer Geothermie für industrielle Zwecke im Hinblick auf die Temperatursituation im Projektgebiet. Dabei gilt generell, je tiefer die Wässer desto höher die Temperaturen und desto vielfältiger die Einsatzmöglichkeiten.

Die Gebiete mit den höchsten Temperaturen unterscheiden sich für die drei untersuchten geologischen Einheiten. Für die Sandsteine des Egerium liegt dieses Gebiet vor allem im Nahbereich von Laa an der Thaya, die Thermalwässer der Altenmarkt Formation und die der Quarzarenite des Dogger zeigen die höchsten Temperaturen im Gebiet südlich und östlich davon.

Für das komplette HTPO-Projektgebiet in Österreich konnte aufgezeigt werden, dass in allen untersuchten Branchen die mehrere Prozessschritte umfassen, der Temperaturbedarf einiger Schritte komplett durch die Temperaturen der Thermalwässer gedeckt werden können. Dies gilt nicht nur für die Regionen und Einheiten mit den höchsten Temperaturen. Auch schon die Thermalwässer der Sandsteine im Egerium (max. 59 ° C) können den Temperaturbedarf einzelner Prozesse wie z.B. die Flaschenreinigung in der Getränkeindustrie abdecken. Auch können landwirtschaftliche Branchen wie z.B. Aquakulturen oder Bodenerwärmungsprozesse versorgt werden. Mit höheren Thermalwassertemperaturen erweitert sich naturgemäß das Spektrum der Versorgung. Der Großteil der Prozesse benötigt einem Temperaturbereich von 60 bis 110 ° C, diese korrelieren somit mit den Thermalwassertemperaturen im mittleren bzw. oberen Jura. Temperaturspannen von Prozessschritten die erst in höheren Temperaturbereichen ab etwa 90 °C starten finden sich unter Anderem in der Verarbeitung von Frucht und Gemüse sowie in der Brauereiindustrie.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Potential für die Nutzung von Thermalwässern im HTPO Projektgebiet für eine Vielzahl von industriellen Prozessen gegeben ist. Das wirtschaftliche Potential dieser Möglichkeiten wird in Teil 2 dieser Berichtsreihe „Sozioökonomisches Potenzial“ analysiert.

LITERATUR

Bayerischer Geothermieatlas (2018), Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Energie und Technologie, München

Elster, D. et al. (2016): Erläuterungen zur geologischen Themenkarte Thermalwässer in Österreich 1:500000, Geologische Bundesanstalt, Wien

Expertengruppe „Thermalwasser“ (2012): Grundsatzpapiere zur Thermalwassernutzung im niederbayrisch-oberösterreichischen Molassebecken, im Auftrag der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag

Goldbrunner, J.E. & Kolb, A. (1997): Die Tiefbohrungen in Laa an der Thaya, Exkursionsführer der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, 17, Wien

Goldbrunner, J.E. und Götzl, G. (2019): Geothermal Energy Use, Country Update Austria, European Geothermal Congress June 2019, Den Haag

Janczik et al. (2013): Nutzung tiefer Geothermie, in Kaltschmitt et al.: Erneuerbare Energien, Springer

Jordan, H. & Weder, H.J. (1988): Hydrogeologie, Leipzig

Lassacher, S. et al. (2018): Nutzung tiefer Geothermie in industriellen Prozessen, Dokumentation Johannes-Kepler-Universität Linz

Lund, J.W. and Toth, A.N. (2020): Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review, Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik. April 26 – May 2, 2020

Naegler, T. et al. (2015): Quantification of the European industrial heat demand by branch and temperature level, International Journal of Energy Research, Wiley Online Library

Niederösterreichisches Heilvorkommen und Kurortgesetz 1978: LGBl. 7600-0 (WV), Landesrecht Niederösterreich, Fassung vom 27.01.2020

ÖWAV (Hrsg.) (2010): ÖWAV-Regelblatt 215: Nutzung und Schutz von Thermalwasservorkommen, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien

Popovska, S.: Geothermal Energy direct application in industry in Europe, keine Angaben

Stober, I. & Buchner, K. (2014): Geothermie, 2. Auflage, Springer Spektrum, Berlin Heidelberg

Umweltministerium Baden-Württemberg (2005): Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden, Stuttgart

Van Nguyen, M. et al. (2015): Uses of geothermal energy in food and agriculture – Opportunities for developing countries, FAO, Rome

Verband Beratender Ingenieure VBI (2013): Tiefe Geothermie, VBI Leitfaden

Wessely, G. et al. (2006): Geologie der österreichischen Bundesländer – Niederösterreich, Geologische Bundesanstalt, Wien

ANHANG 1

Zusätzliches Kartenmaterial

Legende

- Verbreitung Dogger
- Störungszone
- Basis angetroffen in [m AN]
- Industriestandorte

Temperaturbereiche Basis Dogger

- 0 - 40 °C
- 40 - 60 °C
- 60 - 80 °C
- 80 - 100 °C
- 100 - 140 °C

Gemessene Temperatur innerhalb der Formation

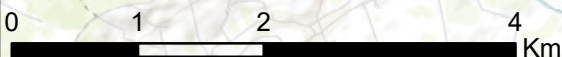
- 0 - 19 °C
- 20 - 39 °C
- 40 - 59 °C
- 60 - 79 °C
- 80 - 125 °C

Gemessene Gesamtmineralisation i.d. Formation

- 0 - 9 999 mg/l
- 10 000 - 19 999 mg/l
- 20 000 - 29 999 mg/l
- 30 000 - 39 999 mg/l
- 40 000 - 49 999 mg/l

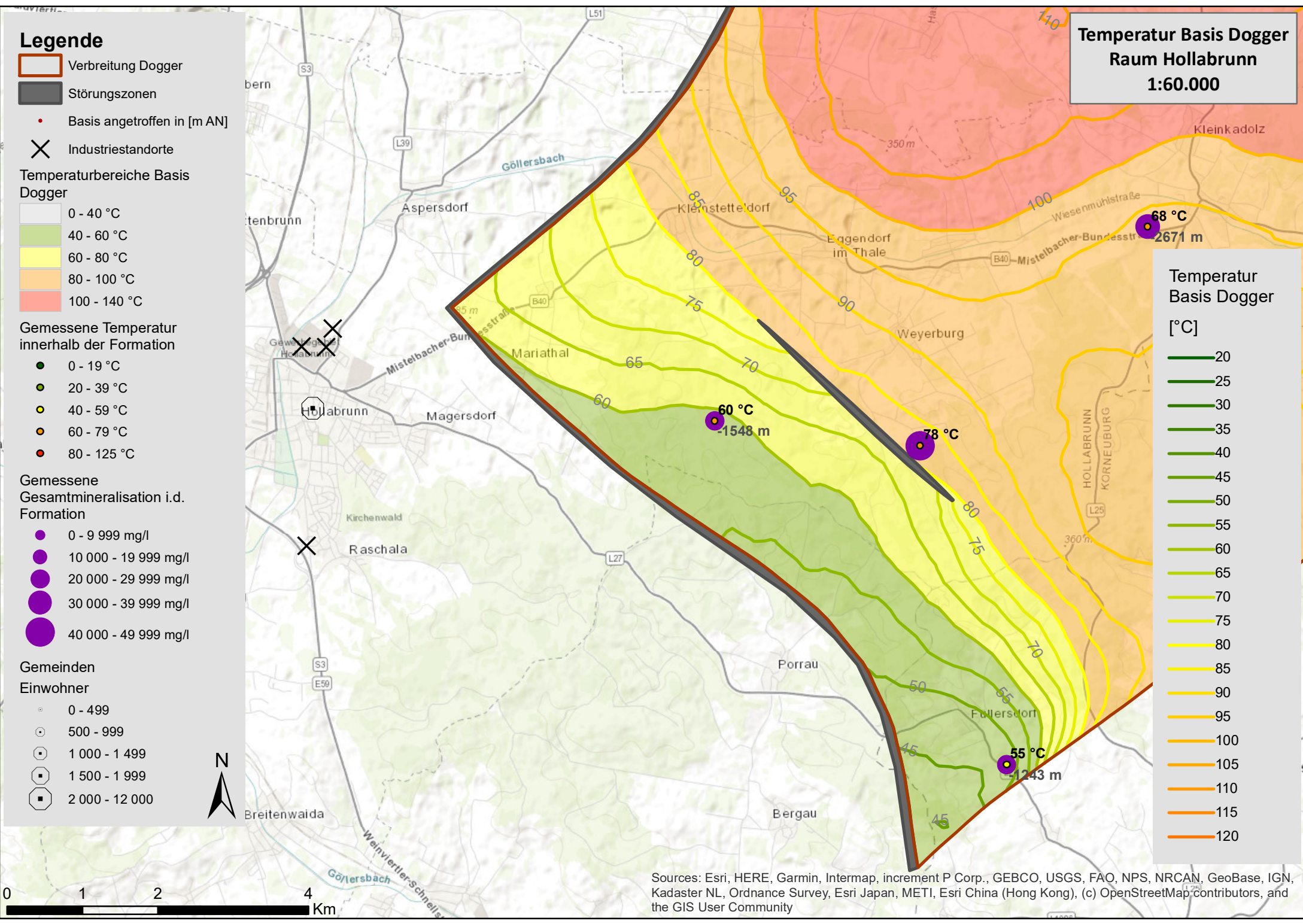
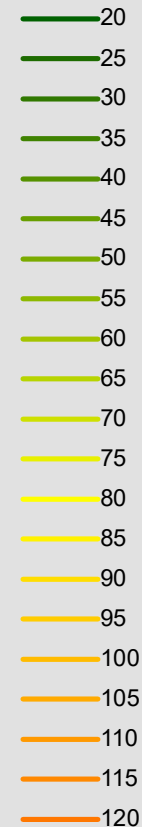
Gemeinden Einwohner

- 0 - 499
- 500 - 999
- 1 000 - 1 499
- 1 500 - 1 999
- 2 000 - 12 000



Temperatur Basis Dogger Raum Hollabrunn 1:60.000

Temperatur Basis Dogger [°C]



Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Legende

- Verbreitung Egerium
- Industriestandorte
- Basis angetroffen in [m AN]

Temperaturbereiche Basis Egerium

- 0 - 40 °C
- 40 - 60 °C

Gemessene Temperatur innerhalb der Formation

- 0 - 19 °C
- 20 - 39 °C
- 40 - 59 °C
- 60 - 79 °C
- 80 - 104 °C

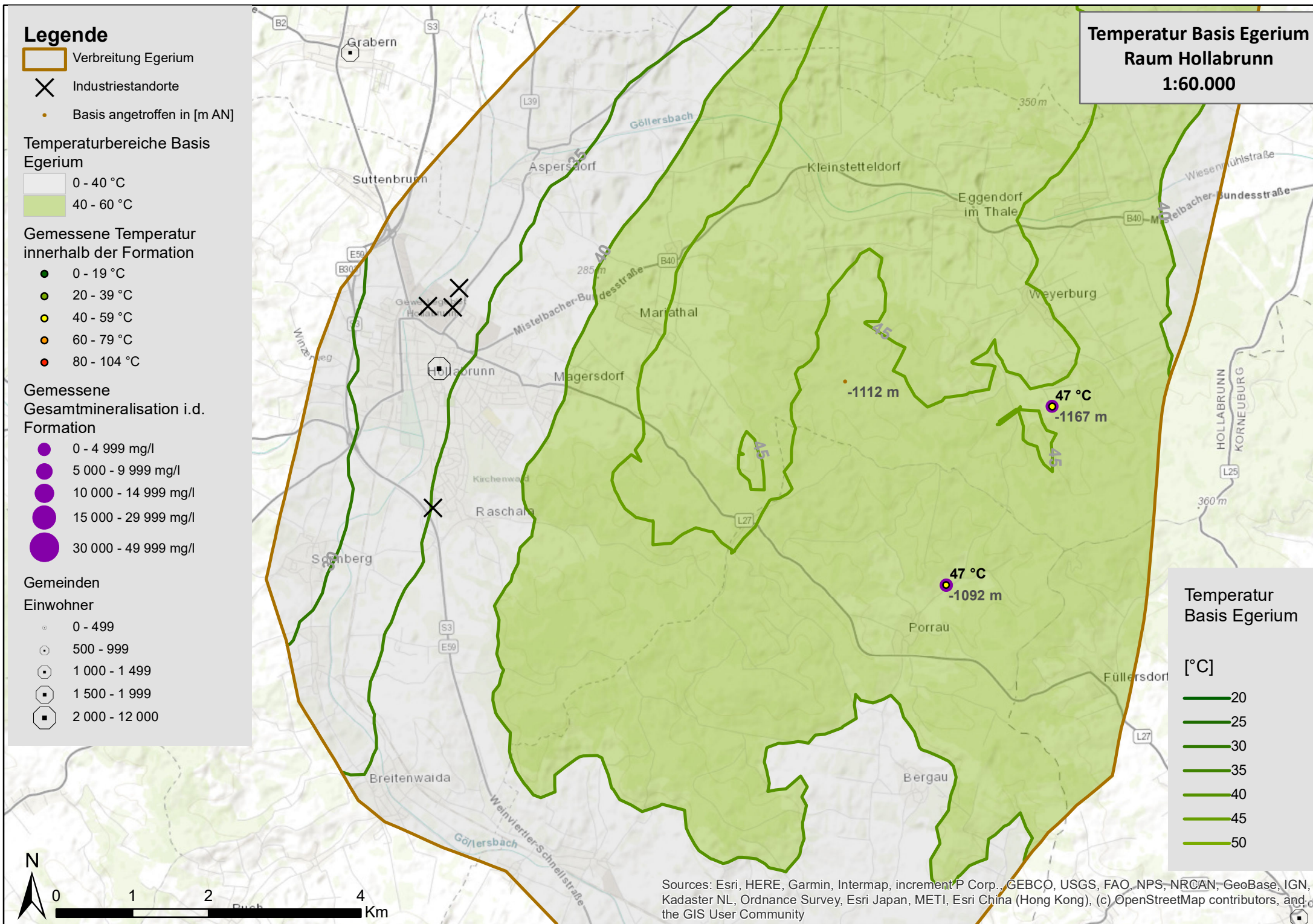
Gemessene Gesamtmineralisation i.d. Formation

- 0 - 4 999 mg/l
- 5 000 - 9 999 mg/l
- 10 000 - 14 999 mg/l
- 15 000 - 29 999 mg/l
- 30 000 - 49 999 mg/l

Gemeinden

- ### Einwohner
- 0 - 499
 - 500 - 999
 - 1 000 - 1 499
 - 1 500 - 1 999
 - 2 000 - 12 000

Temperatur Basis Egerium
Raum Hollabrunn
1:60.000



Temperatur Basis Egerium

- [°C]
- 20
 - 25
 - 30
 - 35
 - 40
 - 45
 - 50

Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Legende

Verbreitung "Aquifer"
(Altenmarkt- und Vranovice Fm)

Störungszonen

Basis angetroffen in [m AN]
oder nicht erreicht [n.e.]

Industriestandorte

Temperaturbereiche
Basis "Aquifer"

- 0 - 40 °C
- 40 - 60 °C
- 60 - 80 °C
- 80 - 110

Gemessene
Temperaturen im
"Aquifer"

- 0 - 19 °C
- 20 - 39 °C
- 40 - 59 °C
- 60 - 79 °C
- 80 - 100 °C

Gemessene
Gesamtmineralisation im
"Aquifer"

- 0 - 9 999 mg/l
- 10 000 - 19 999 mg/l
- 20 000 - 29 999 mg/l
- 30 000 - 39 999 mg/l
- 40 000 - 49 999 mg/l

Gemeinden

Einwohner

- 0 - 499
- 500 - 999
- 1 000 - 1 499
- 1 500 - 1 999
- 2 000 - 10 000

Therme Laa/Thaya



0 1,25 2,5 5 Km

Temperaturbereiche
Basis "Aquifer"
Raum Laa/Thaya
1:80.000

Temperatur
Basis "Aquifer"
[°C]

- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65
- 70
- 75
- 80
- 85
- 90
- 95
- 100
- 105
- 110

Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Legende

Verbreitung "Aquifer" (Altenmarkt- und Vranovice Fm)

Störungszonen

Basis angetroffen in [m AN] oder nicht erreicht [n.e.]

Temperaturbereiche Basis "Aquifer"

- 0 - 40 °C
- 40 - 60 °C
- 60 - 80 °C
- 80 - 110

Gemessene Temperaturen im "Aquifer"

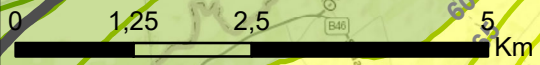
- 0 - 19 °C
- 20 - 39 °C
- 40 - 59 °C
- 60 - 79 °C
- 80 - 100 °C

Gemessene Gesamtmineralisation im "Aquifer"

- 0 - 9 999 mg/l
- 10 000 - 19 999 mg/l
- 20 000 - 29 999 mg/l
- 30 000 - 39 999 mg/l
- 40 000 - 49 999 mg/l

Gemeinden

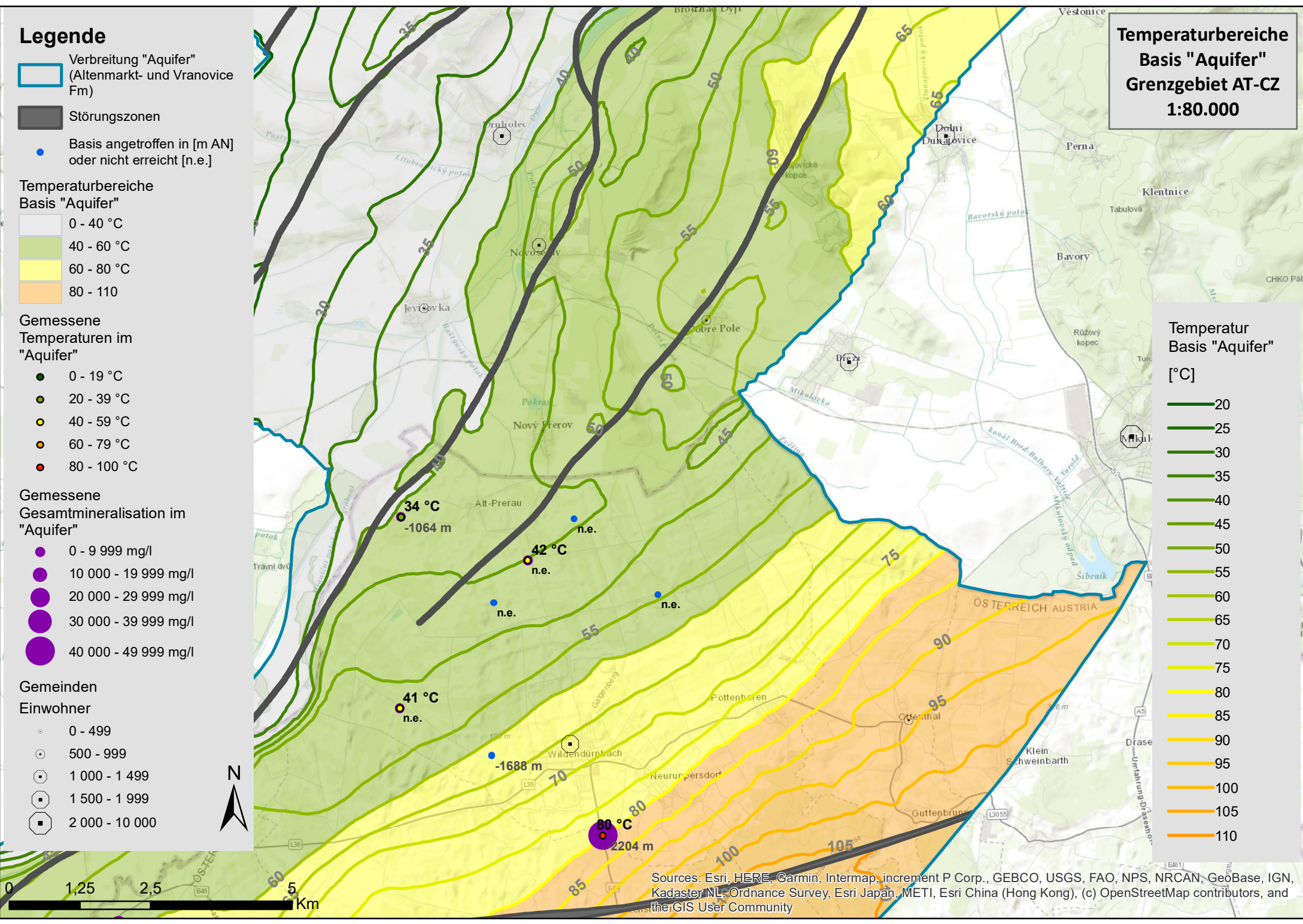
- ### Einwohner
- 0 - 499
 - 500 - 999
 - 1 000 - 1 499
 - 1 500 - 1 999
 - 2 000 - 10 000



Temperaturbereiche Basis "Aquifer"
Grenzgebiet AT-CZ
1:80.000

Temperatur Basis "Aquifer" [°C]

- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65
- 70
- 75
- 80
- 85
- 90
- 95
- 100
- 105
- 110



Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Legende

Verbreitung "Aquifer" (Altenmarkt- und Vranovice Fm)

Störungszonen

Temperaturbereiche

- 0 - 40 °C
- 40 - 60 °C
- 60 - 80 °C
- 80 - 110 °C

Gemessene Temperatur innerhalb der Formation

- 0 - 19 °C
- 20 - 39 °C
- 40 - 59 °C
- 60 - 79 °C
- 80 - 104 °C

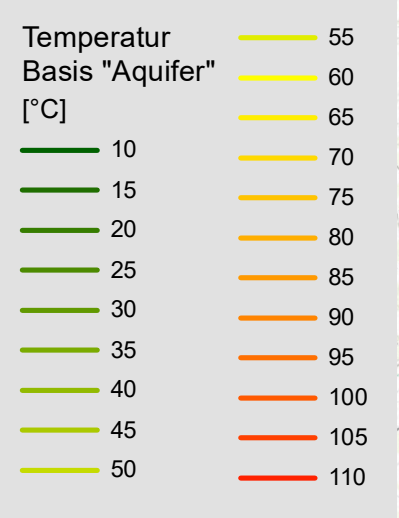
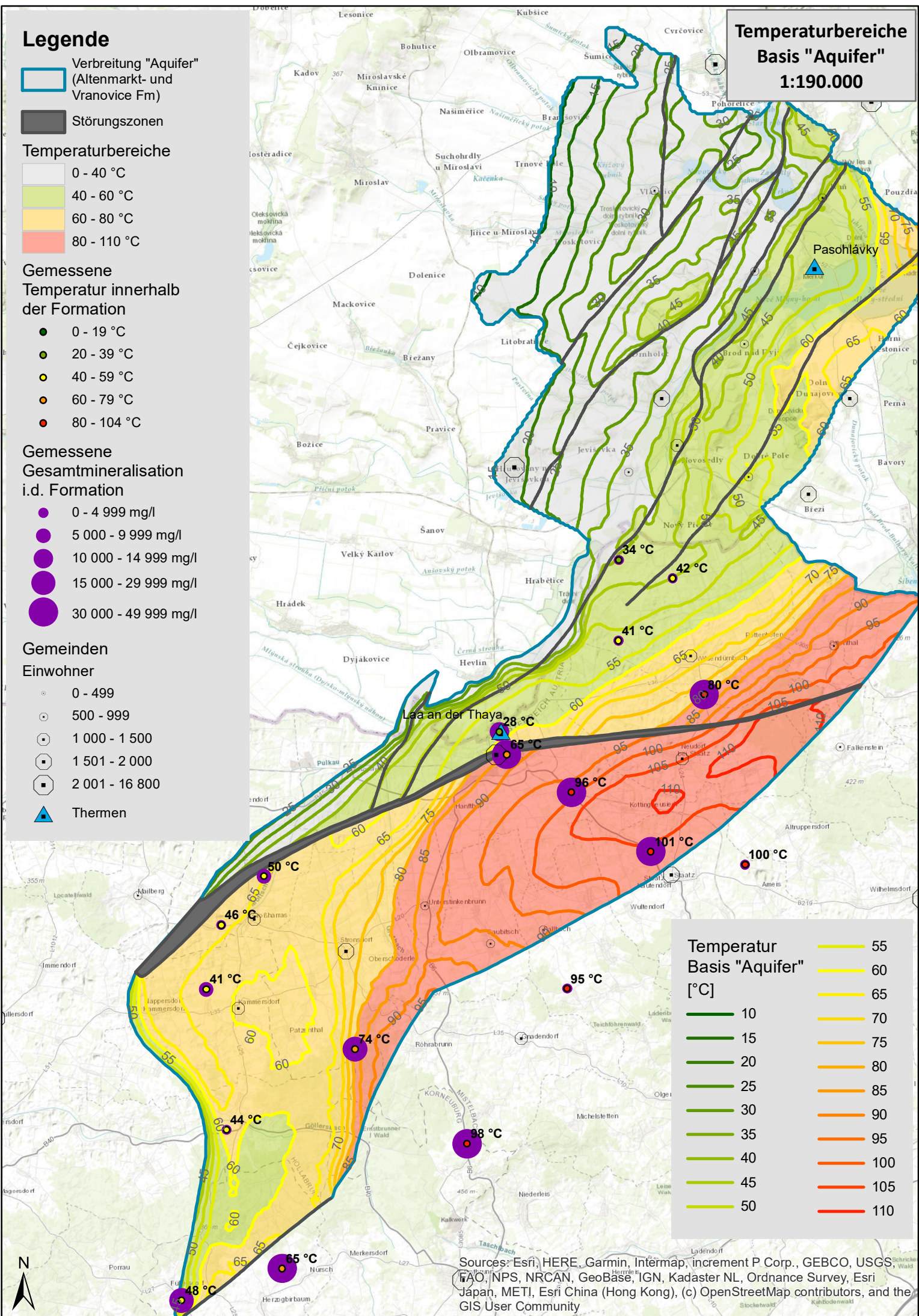
Gemessene Gesamtmineralisation i.d. Formation

- 0 - 4 999 mg/l
- 5 000 - 9 999 mg/l
- 10 000 - 14 999 mg/l
- 15 000 - 29 999 mg/l
- 30 000 - 49 999 mg/l

Gemeinden Einwohner

- 0 - 499
- 500 - 999
- 1 000 - 1 500
- 1 501 - 2 000
- 2 001 - 16 800
- Thermen

Temperaturbereiche Basis "Aquifer"
1:190.000



Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Legende

Verbreitung Dogger

Störungszonen

Temperaturbereiche

- 0 - 40 °C
- 40 - 60 °C
- 60 - 80 °C
- 80 - 100 °C
- 100 - 140 °C

Gemessene Temperatur innerhalb der Formation

- 0 - 19 °C
- 20 - 39 °C
- 40 - 59 °C
- 60 - 79 °C
- 80 - 125 °C

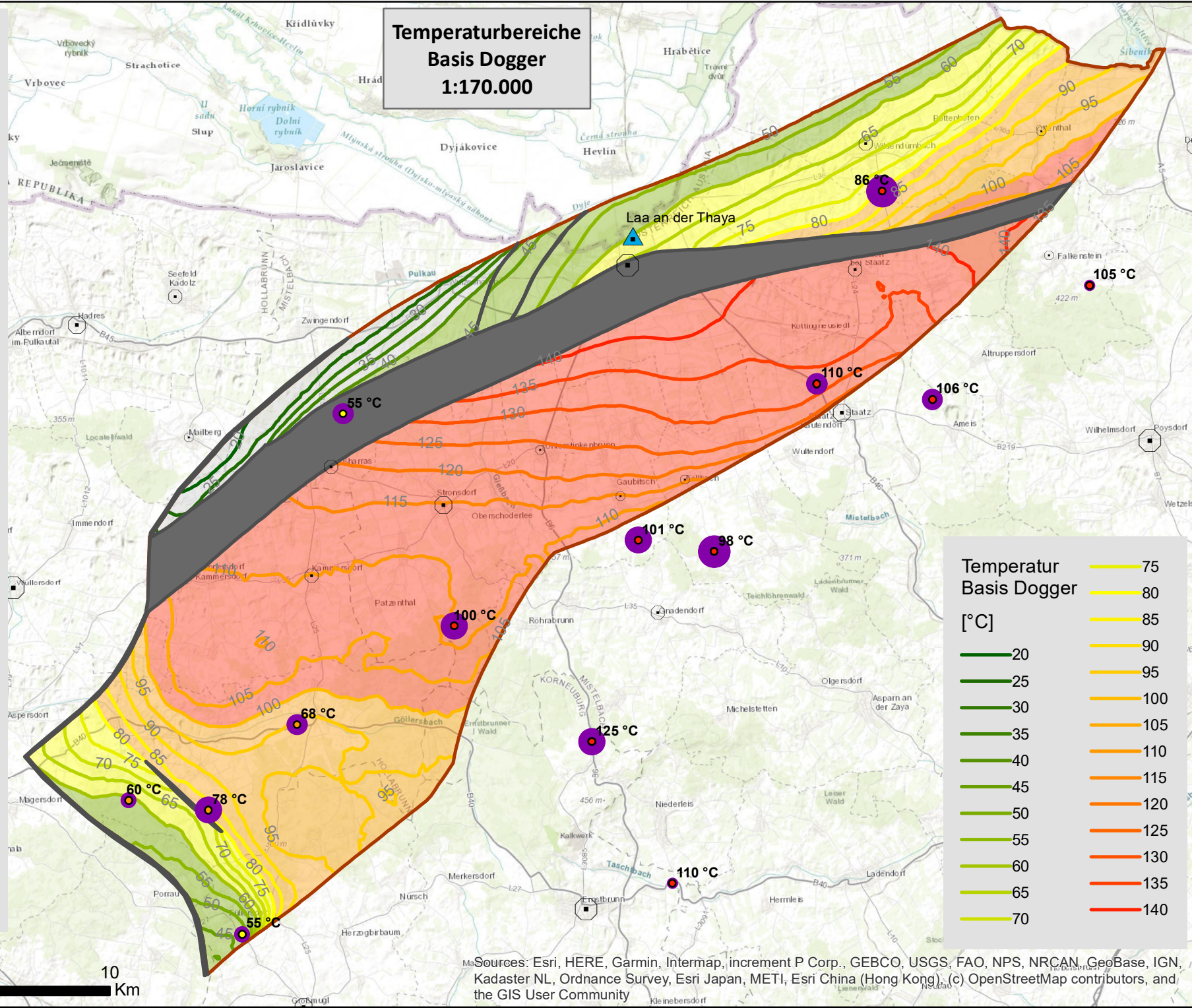
Gemessene Gesamtmineralisation i.d. Formation

- 0 - 19 999 mg/l
- 20 000 - 29 999 mg/l
- 30 000 - 39 999 mg/l
- 40 000 - 49 999 mg/l
- 50 000 - 69 000 mg/l

Gemeinden Einwohner

- 0 - 499
- 500 - 999
- 1 000 - 1 500
- 1 501 - 2 000
- 2 001 - 16 800
- Thermen

**Temperaturbereiche
Basis Dogger
1:170.000**



Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

**Temperaturbereiche
Basis Egerium
1:170.000**

Legende

Verbreitung Egerium

Störungszone

Temperaturbereiche

0 - 40 °C

40 - 60 °C

**Gemessene Temperatur
innerhalb der Formation**

0 - 19 °C

20 - 39 °C

40 - 59 °C

60 - 79 °C

80 - 104 °C

**Gemessene
Gesamtmineralisation
i.d. Formation**

0 - 4 999 mg/l

5 000 - 9 999 mg/l

10 000 - 14 999 mg/l

15 000 - 29 999 mg/l

30 000 - 49 999 mg/l

Gemeinden

Einwohner

0 - 499

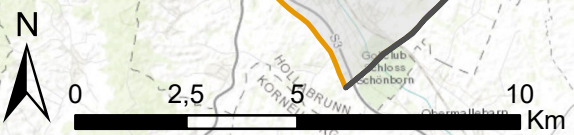
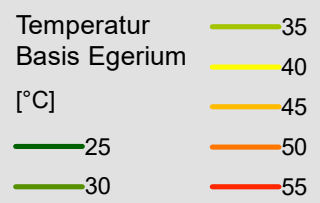
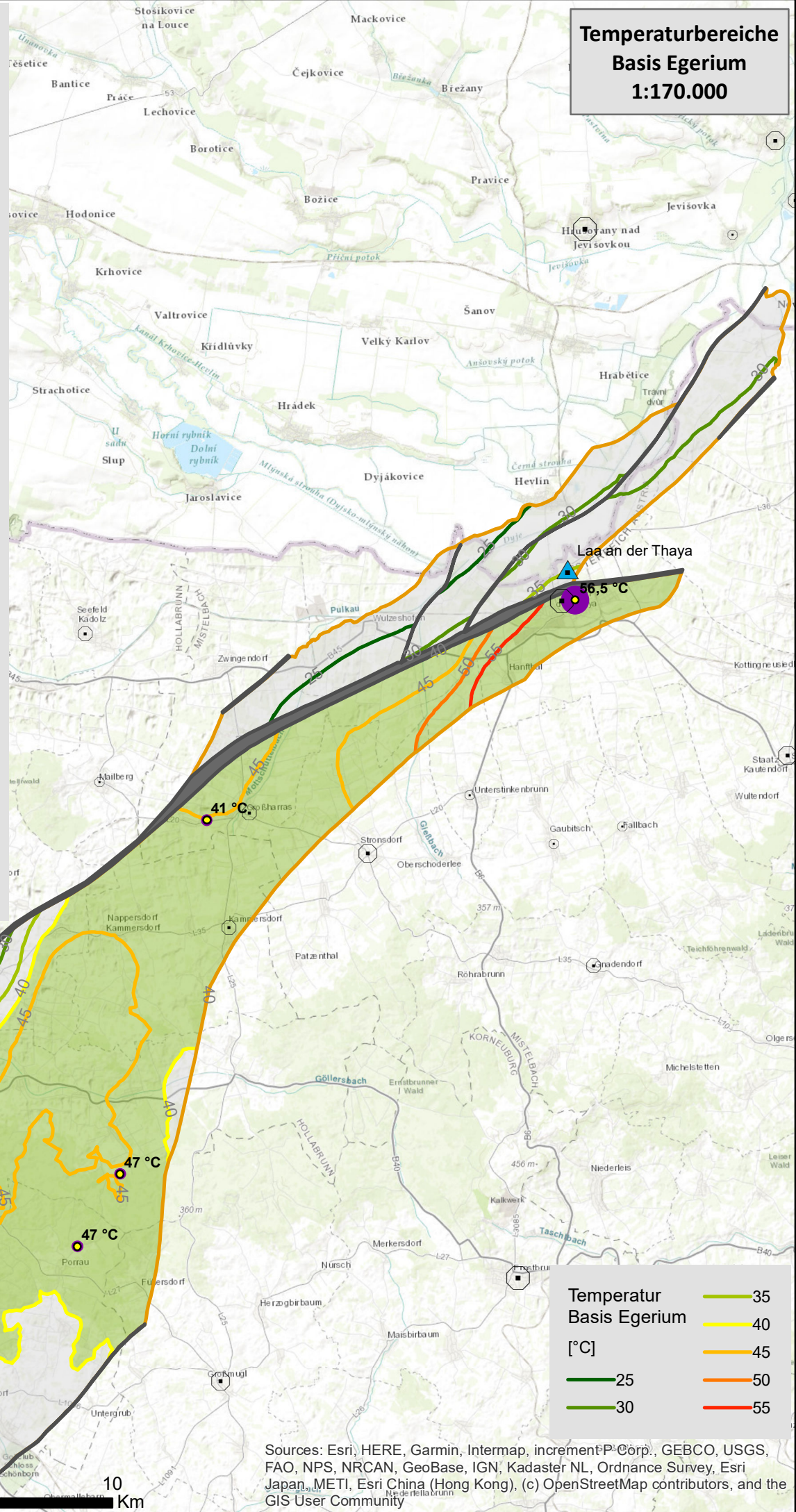
500 - 999

1 000 - 1 500

1 501 - 2 000

2 001 - 16 800

Therme



Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

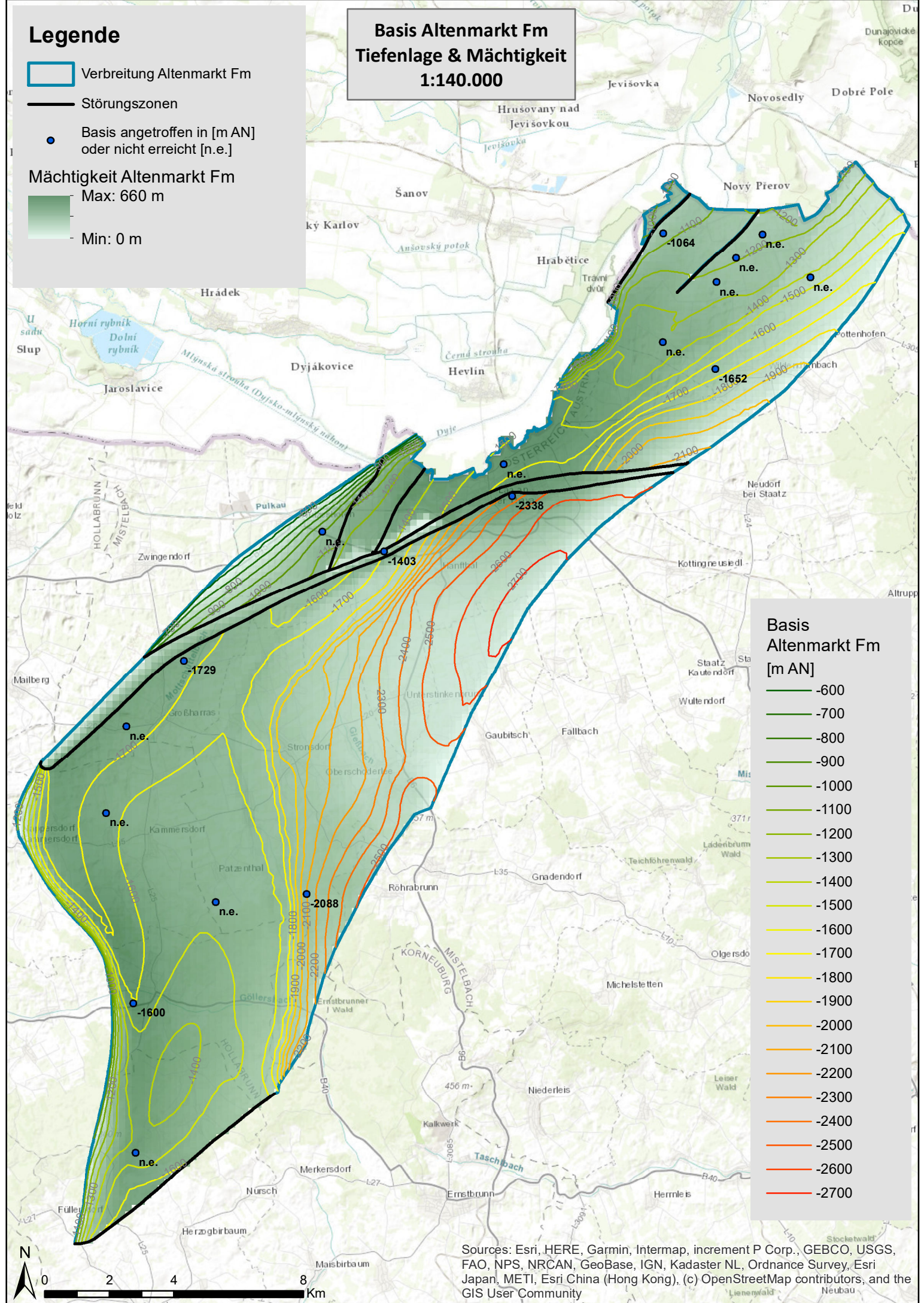
Legende

- Verbreitung Altenmarkt Fm
- Störungszonen
- Basis angetroffen in [m AN] oder nicht erreicht [n.e.]

Mächtigkeit Altenmarkt Fm

- Max: 660 m
- Min: 0 m

Basis Altenmarkt Fm Tiefenlage & Mächtigkeit 1:140.000



Basis Altenmarkt Fm [m AN]

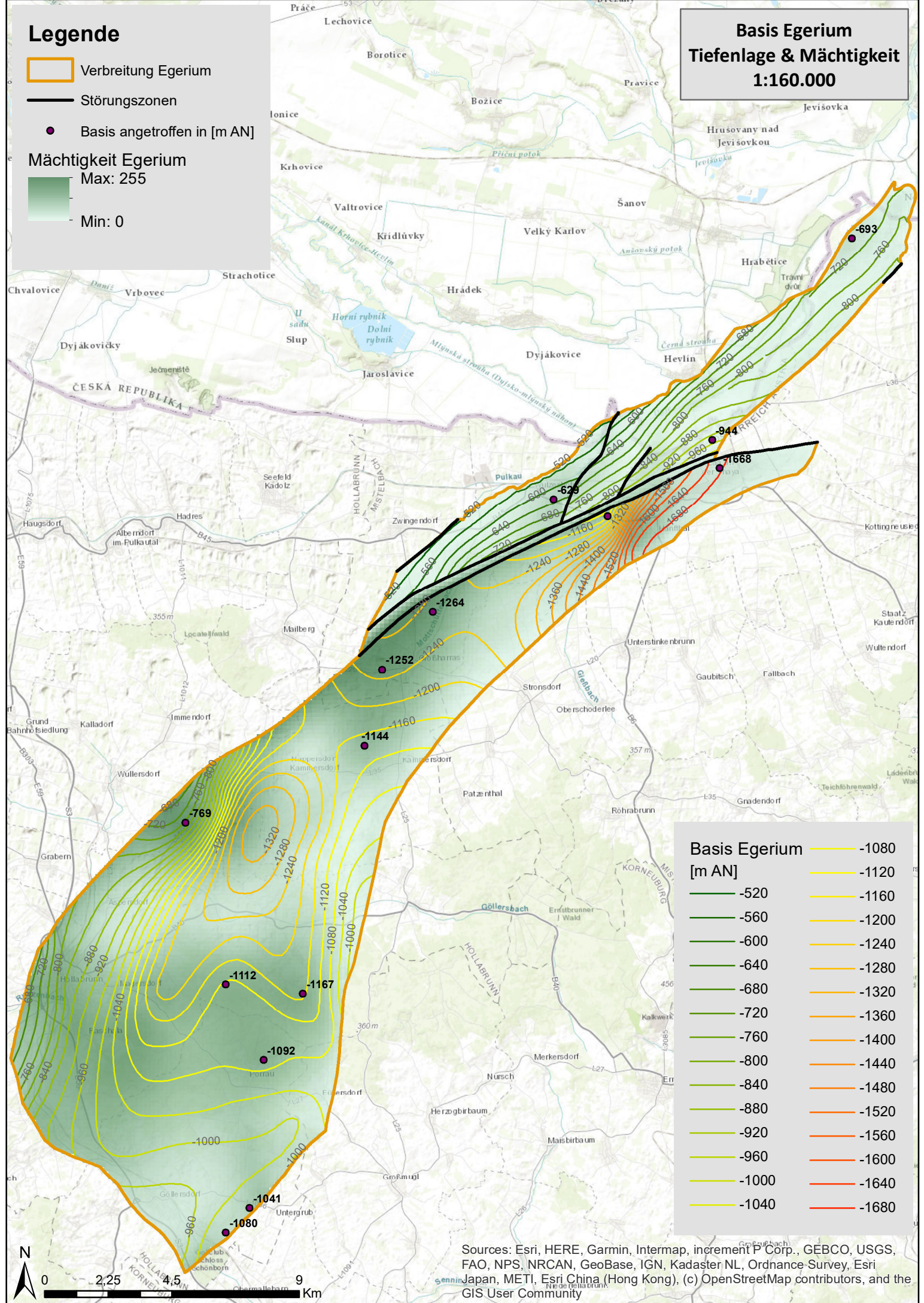
- 600
- 700
- 800
- 900
- 1000
- 1100
- 1200
- 1300
- 1400
- 1500
- 1600
- 1700
- 1800
- 1900
- 2000
- 2100
- 2200
- 2300
- 2400
- 2500
- 2600
- 2700

Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Legende

- Verbreitung Egerium
 - Störungszonen
 - Basis angetroffen in [m AN]
- Mächtigkeit Egerium
 Max: 255
 Min: 0

Basis Egerium
Tiefenlage & Mächtigkeit
1:160.000





Basis Egerium [m AN]


	-1080
	-1120
	-1160
	-1200
	-1240
	-1280
	-1320
	-1360
	-1400
	-1440
	-1480
	-1520
	-1560
	-1600
	-1640
	-1680

Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Legende

 Verbreitung Eggenburgium

 Störungzonen

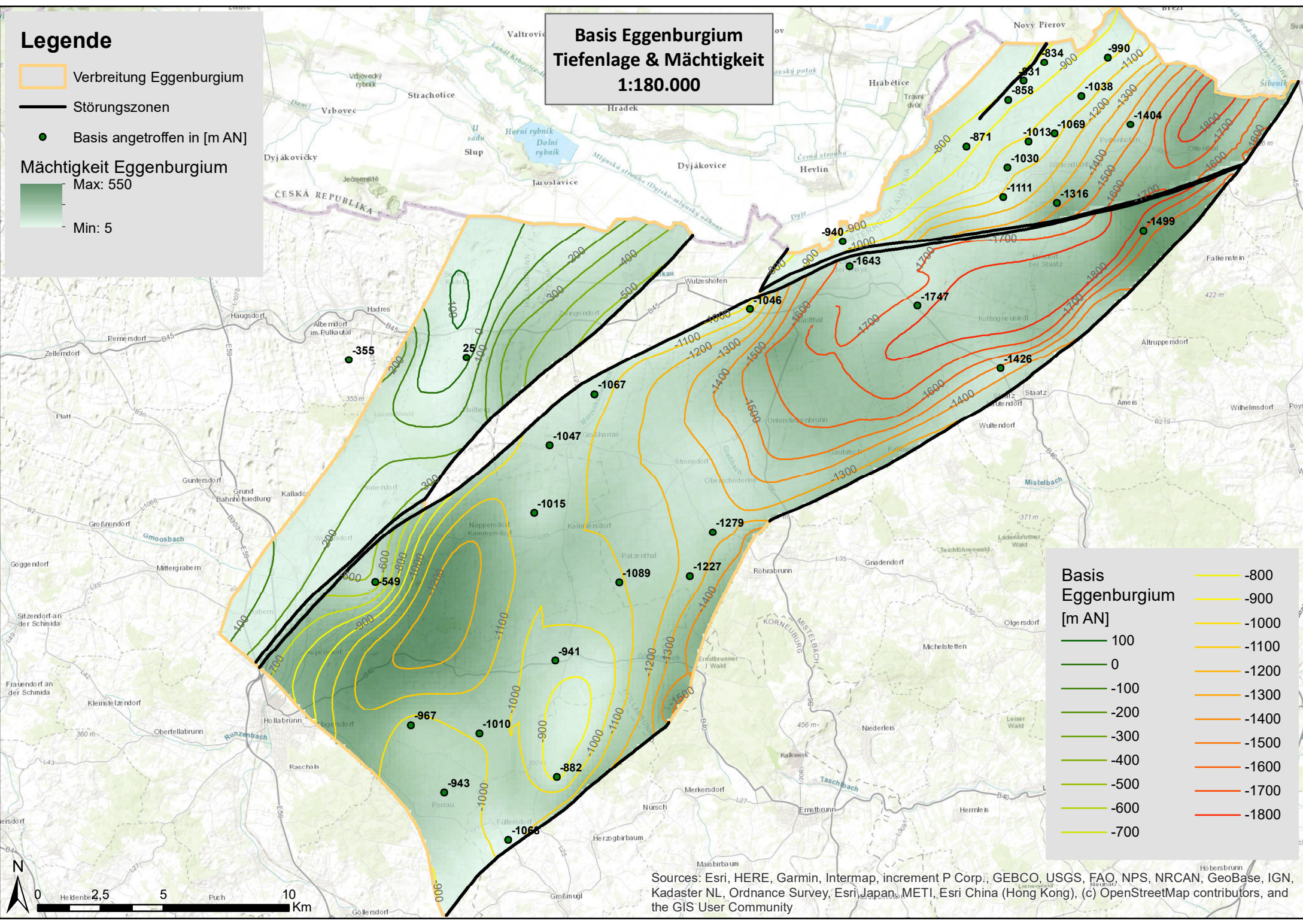
 Basis angetroffen in [m AN]











Mächtigkeit Eggenburgium

Max: 550

Min: 5


**Basis Eggenburgium
Tiefenlage & Mächtigkeit
1:180.000**





Basis Eggenburgium [m AN]	
	-100
	-1100
	-200
	-1300
	-300
	-1500
	-600
	-1700
	-700
	-1800

Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community


Legende


 Verbreitung Ernstbrunn Fm

 Störungszone

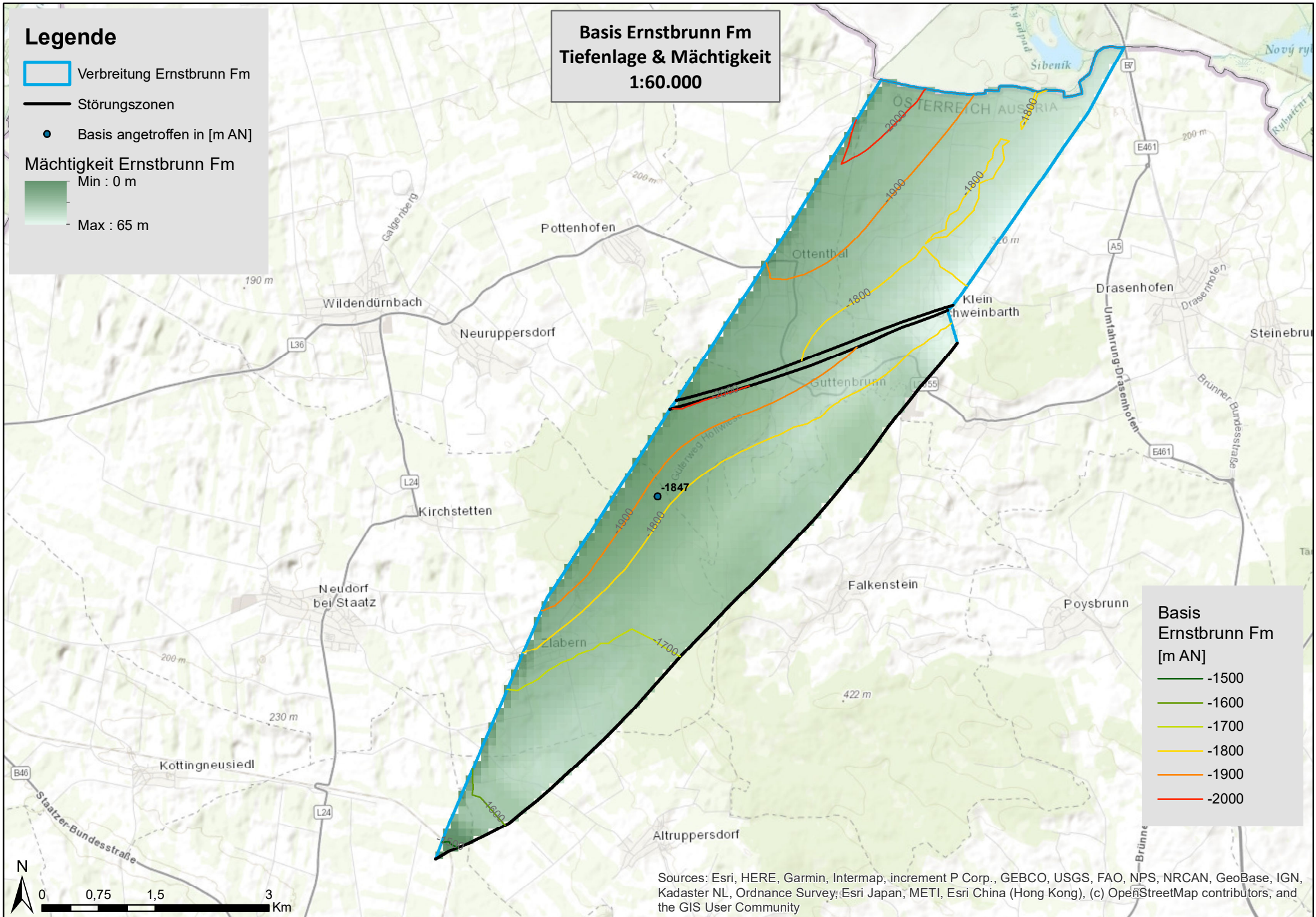
 Basis angetroffen in [m AN]

Mächtigkeit Ernstbrunn Fm







 Min : 0 m

 Max : 65 m

Basis Ernstbrunn Fm Tiefenlage & Mächtigkeit 1:60.000





Basis Ernstbrunn Fm [m AN]


-  -1500
-  -1600
-  -1700
-  -1800
-  -1900
-  -2000

Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Legende

 Verbreitung Falkenstein Fm

 Störungszonen

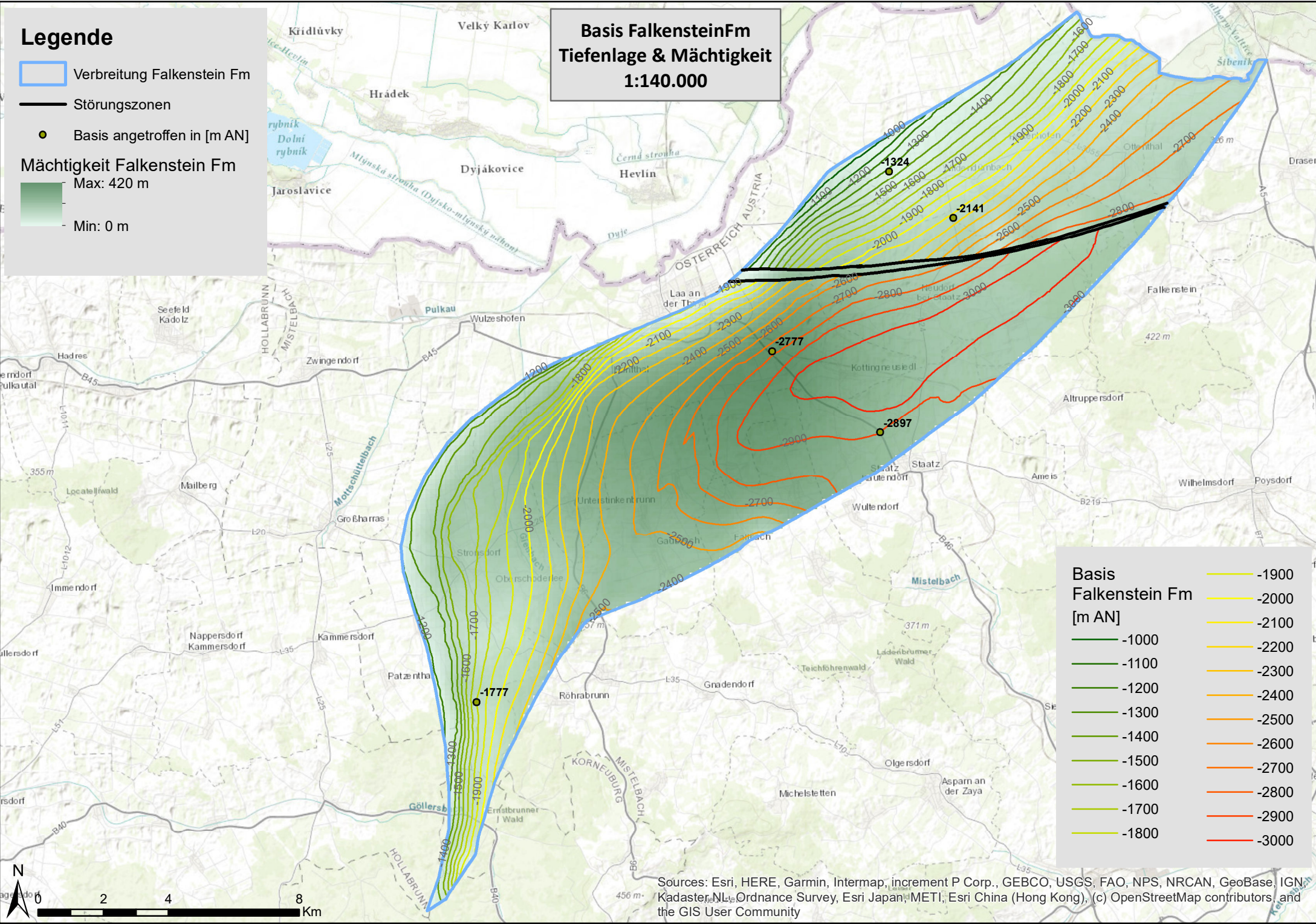
 Basis angetroffen in [m AN]

Mächtigkeit Falkenstein Fm

Max: 420 m

Min: 0 m




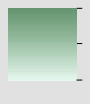
Basis Falkenstein Fm Tiefenlage & Mächtigkeit 1:140.000



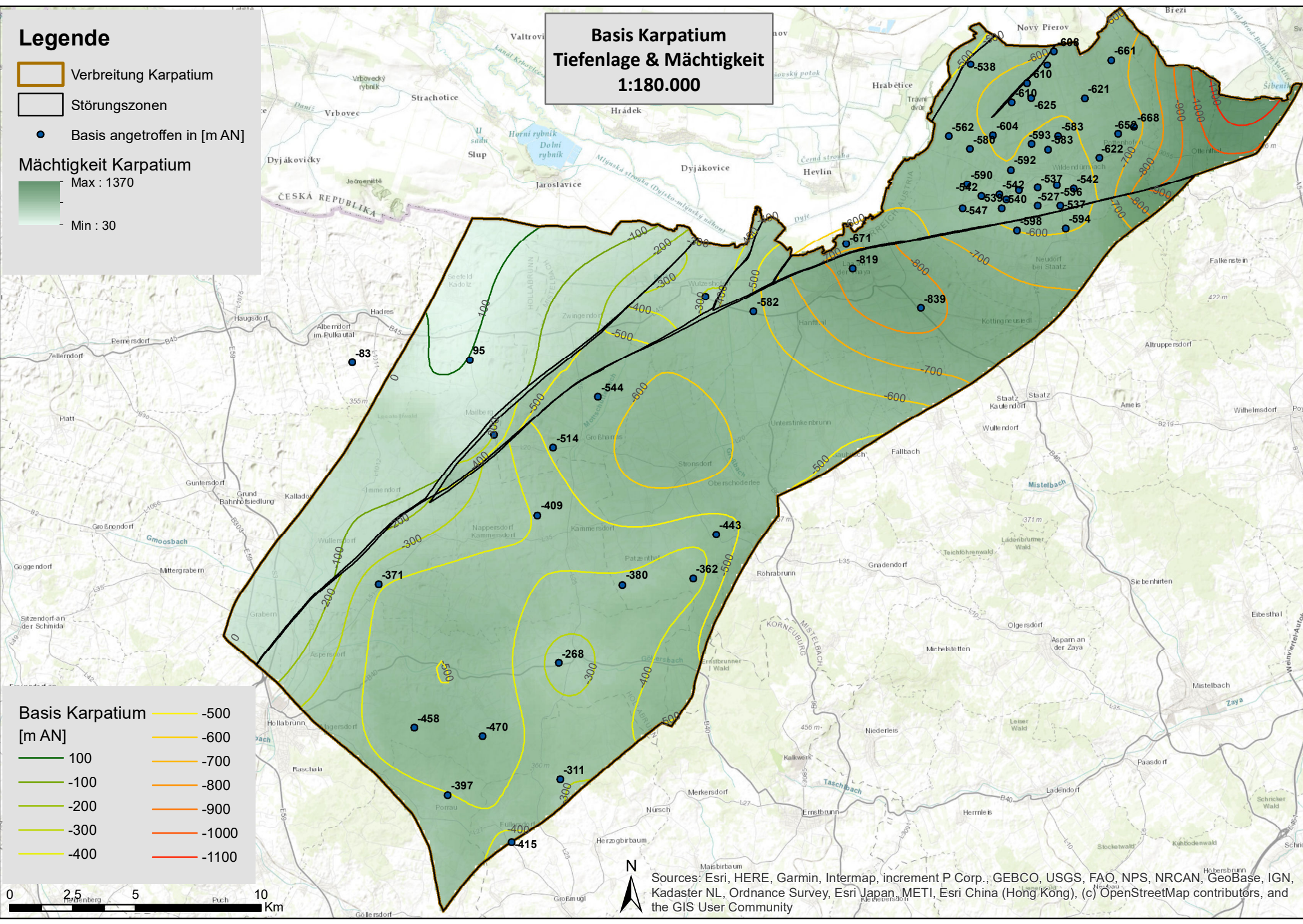
Basis Falkenstein Fm [m AN]	Color
-1900	Yellow
-2000	Light Green
-2100	Light Yellow
-2200	Yellow-Green
-2300	Yellow
-2400	Light Green
-2500	Light Yellow
-2600	Yellow-Green
-2700	Yellow
-2800	Light Green
-2900	Light Yellow
-3000	Yellow-Green


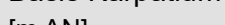
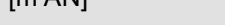
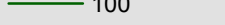


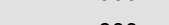




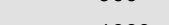
Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Legende

-  Verbreitung Karpatium
-  Störungzonen
-  Basis angetroffen in [m AN]
- Mächtigkeit Karpatium**
-  Max : 1370
- Min : 30

Basis Karpatium Tiefenlage & Mächtigkeit 1:180.000





- Basis Karpatium [m AN]**
-  100
 -  -100
 -  -200
 -  -300
 -  -400
 -  -500
 -  -600
 -  -700
 -  -800
 -  -900
 -  -1000
 -  -1100




Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Legende

 Verbreitung Kurdejov Fm

 Störungszonen

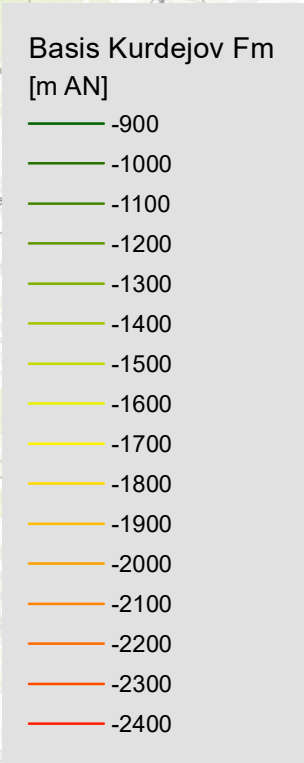
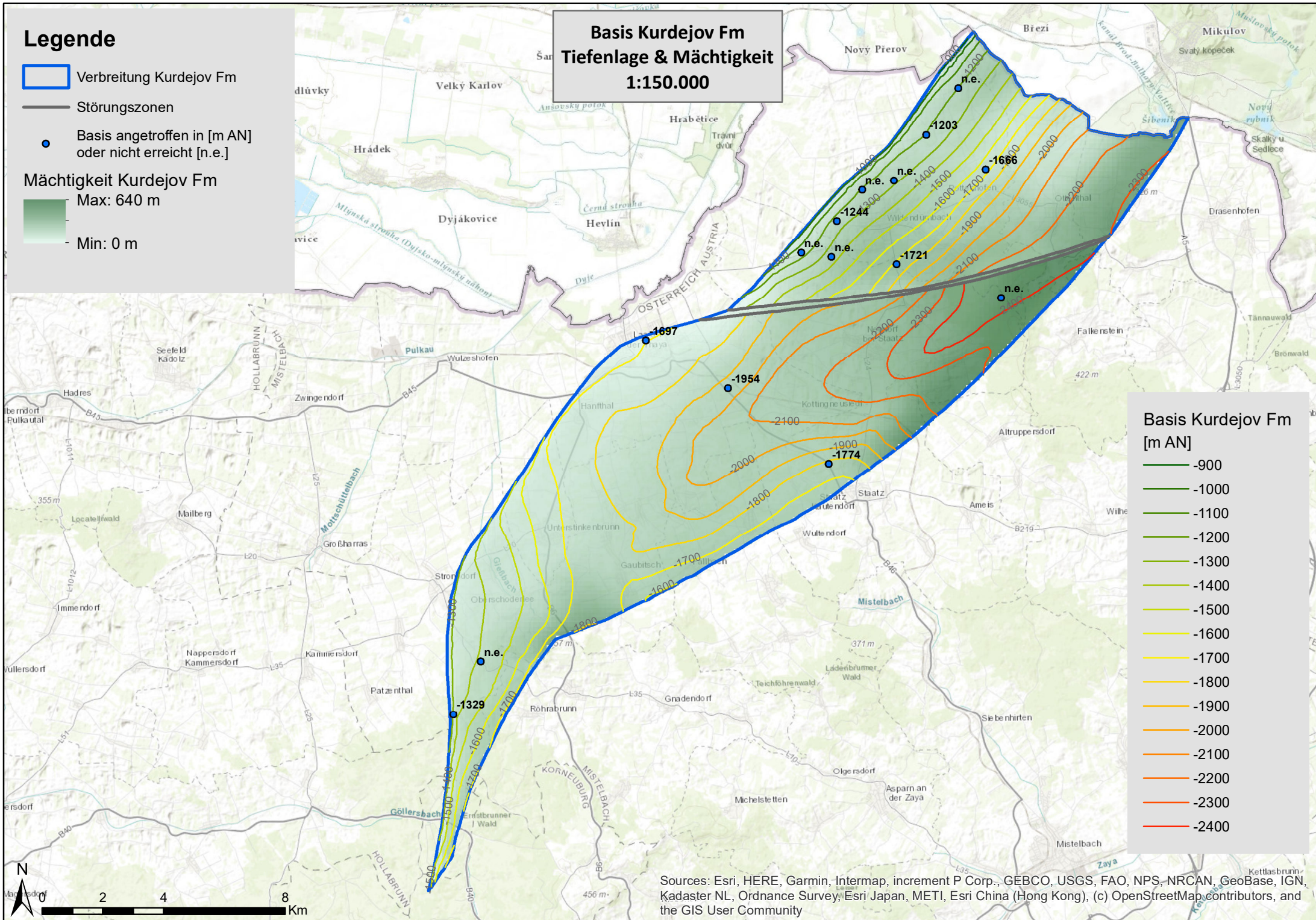
 Basis angetroffen in [m AN] oder nicht erreicht [n.e.]

Mächtigkeit Kurdejov Fm

Max: 640 m


 Min: 0 m


Basis Kurdejov Fm Tiefenlage & Mächtigkeit 1:150.000




Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Legende

 Verbreitung Mikulov Fm

 Störungszonen

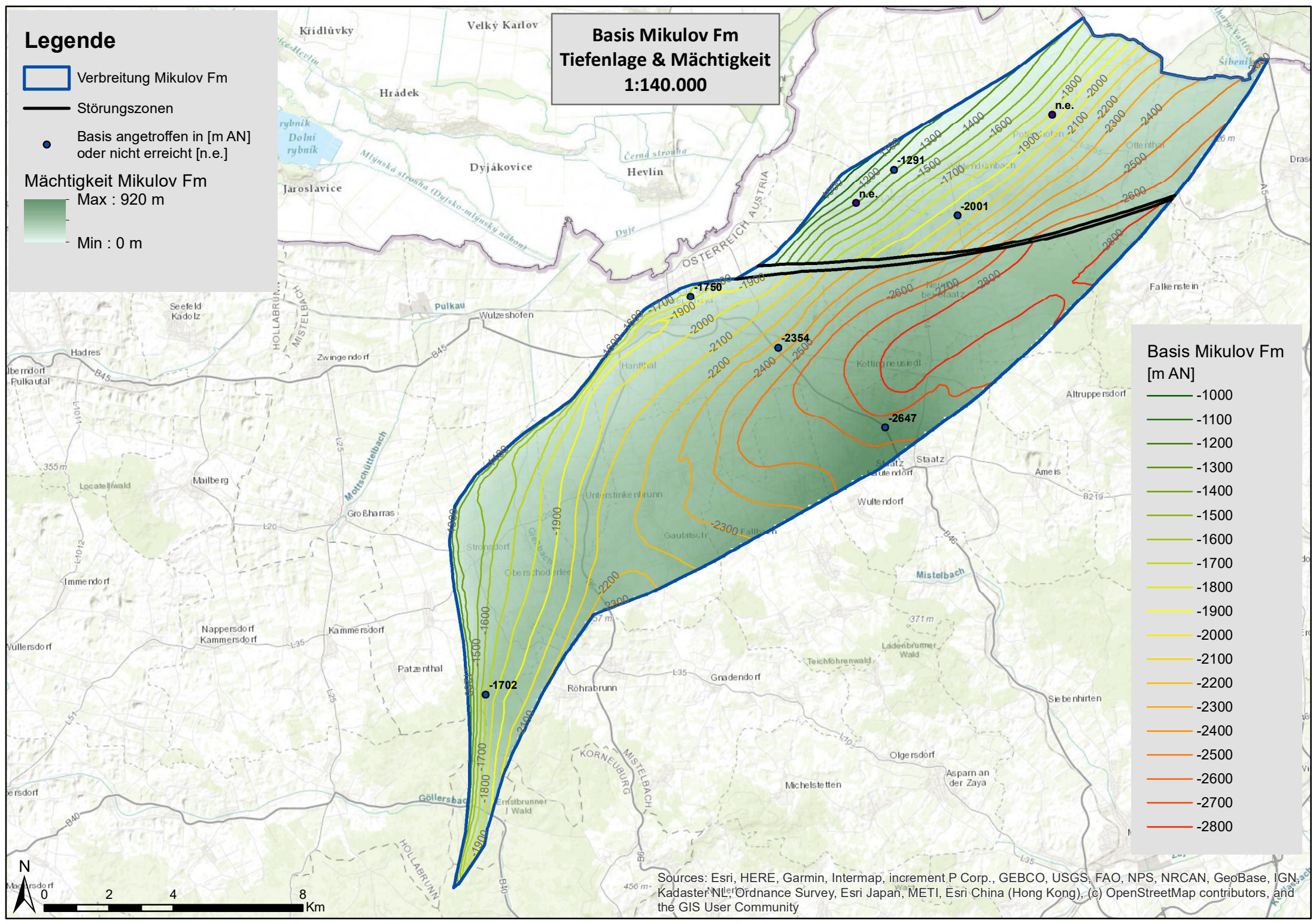
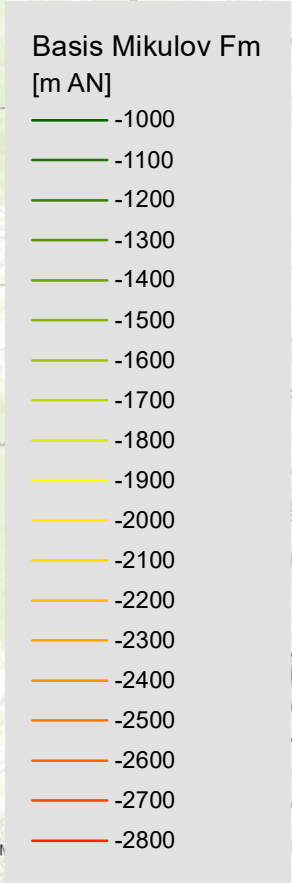
 Basis angetroffen in [m AN]
oder nicht erreicht [n.e.]

Mächtigkeit Mikulov Fm

Max : 920 m





Min : 0 m

Basis Mikulov Fm
Tiefenlage & Mächtigkeit
1:140.000

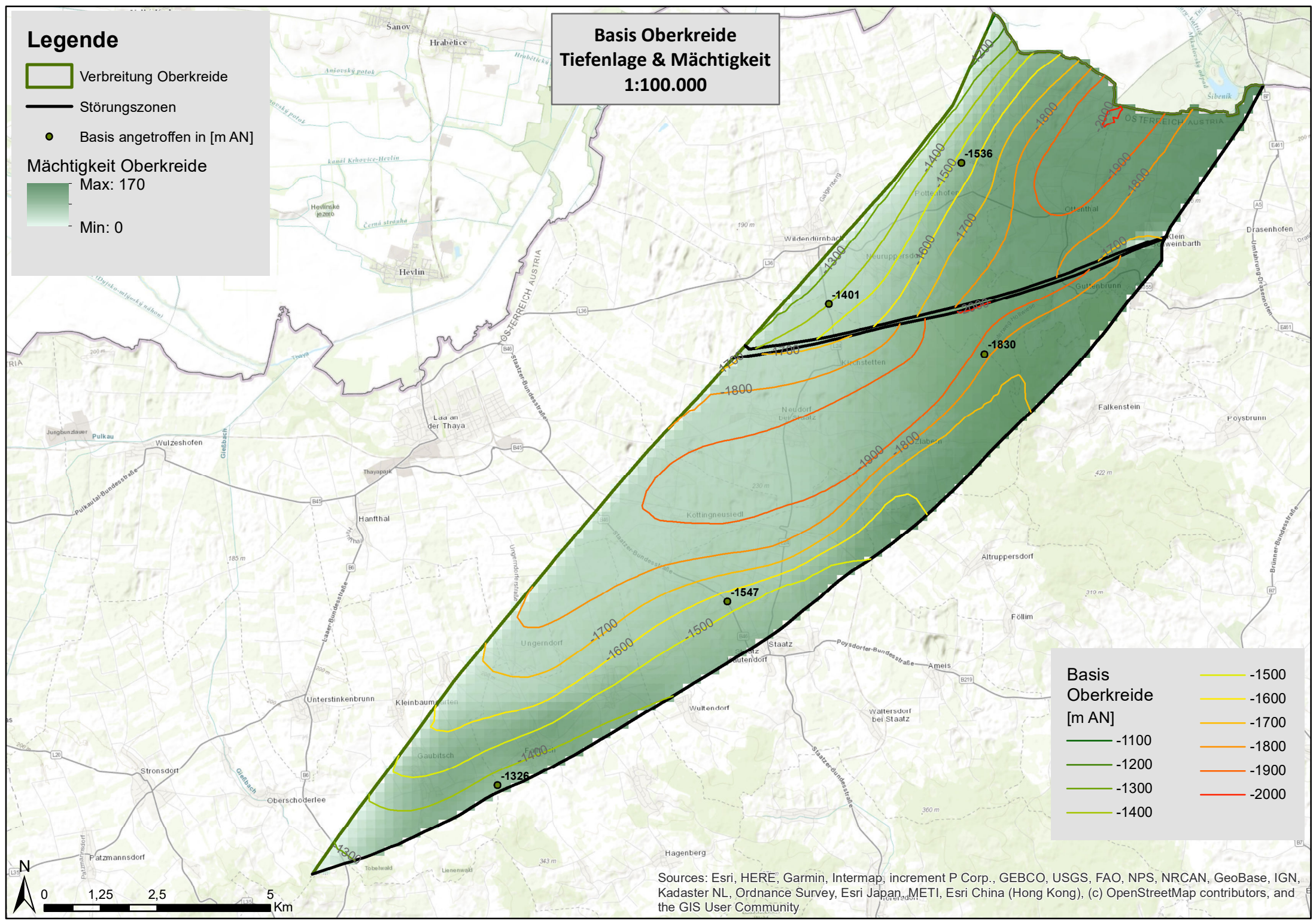


Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

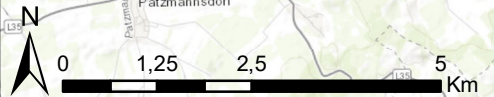
Legende

-  Verbreitung Oberkreide
-  Störungszonen
-  Basis angetroffen in [m AN]
- Mächtigkeit Oberkreide**
-  Max: 170
- Min: 0

Basis Oberkreide Tiefenlage & Mächtigkeit 1:100.000




Basis Oberkreide [m AN]	Color
-1500	Light Green
-1600	Yellow-Green
-1700	Yellow
-1800	Orange
-1900	Red-Orange
-2000	Red
-1100	Dark Green
-1200	Medium Green
-1300	Light Green
-1400	Yellow-Green




Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community


Legende

 Verbreitung Ott nangium

 Störungs zonen

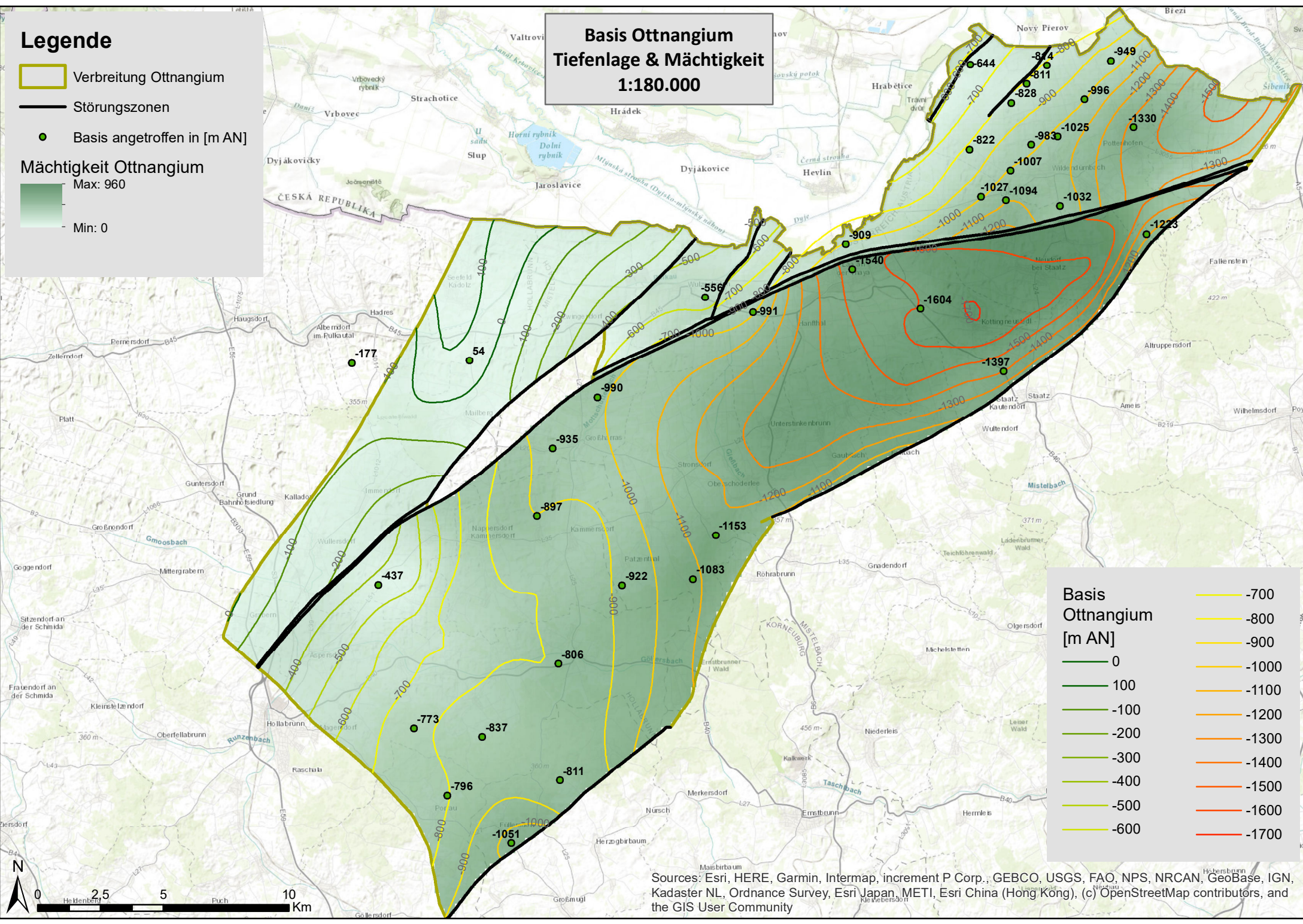
 Basis angetroffen in [m AN]

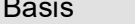



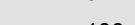

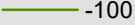

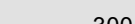
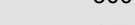
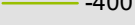
Mächtigkeit Ott nangium

 Max: 960

 Min: 0

Basis Ott nangium Tiefenlage & Mächtigkeit 1:180.000





Basis Ott nangium [m AN]	
	-700
	-800
	-900
	-1000
	-1100
	-1200
	-1300
	-1400
	-1500
	-1600
	-1700




Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Legende

 Verbreitung Vranovice Fm

 Störungzonen

 Basis angetroffen in [m AN]


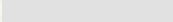
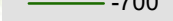
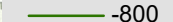
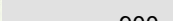
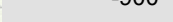
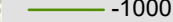

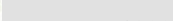
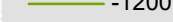
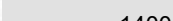

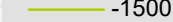

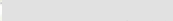


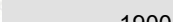

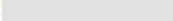
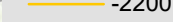
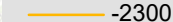
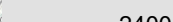
Mächtigkeit Vranovice Fm

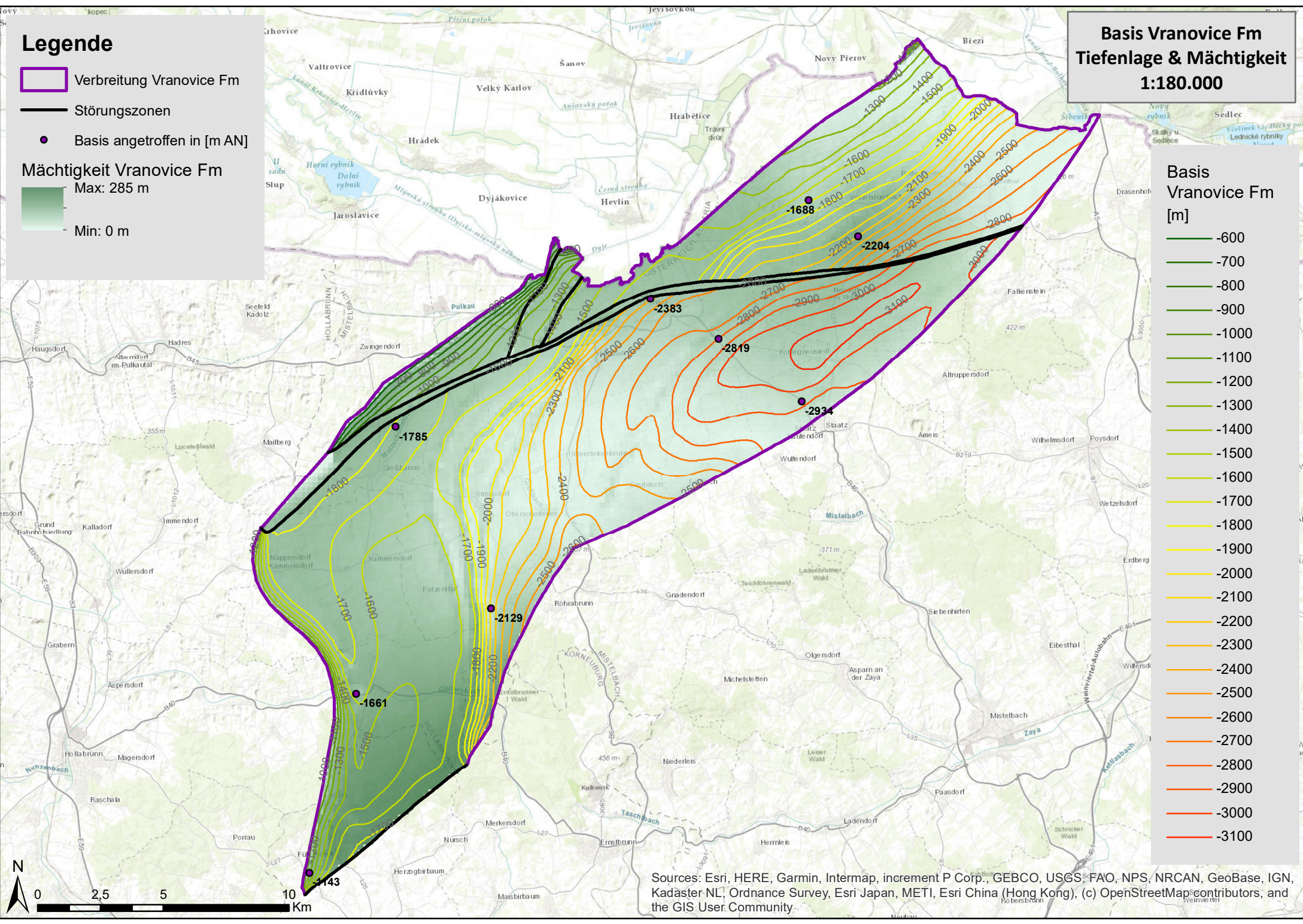
Max: 285 m

 Min: 0 m

Basis Vranovice Fm
Tiefenlage & Mächtigkeit
1:180.000

Basis
Vranovice Fm
[m]

-  -600
-  -700
-  -800
-  -900
-  -1000
-  -1100
-  -1200
-  -1300
-  -1400
-  -1500
-  -1600
-  -1700
-  -1800
-  -1900
-  -2000
-  -2100
-  -2200
-  -2300
-  -2400
-  -2500
-  -2600
-  -2700
-  -2800
-  -2900
-  -3000
-  -3100

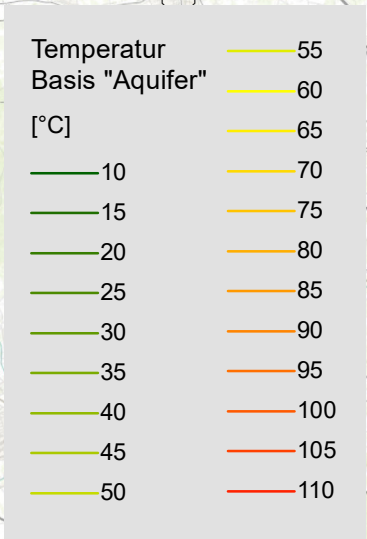
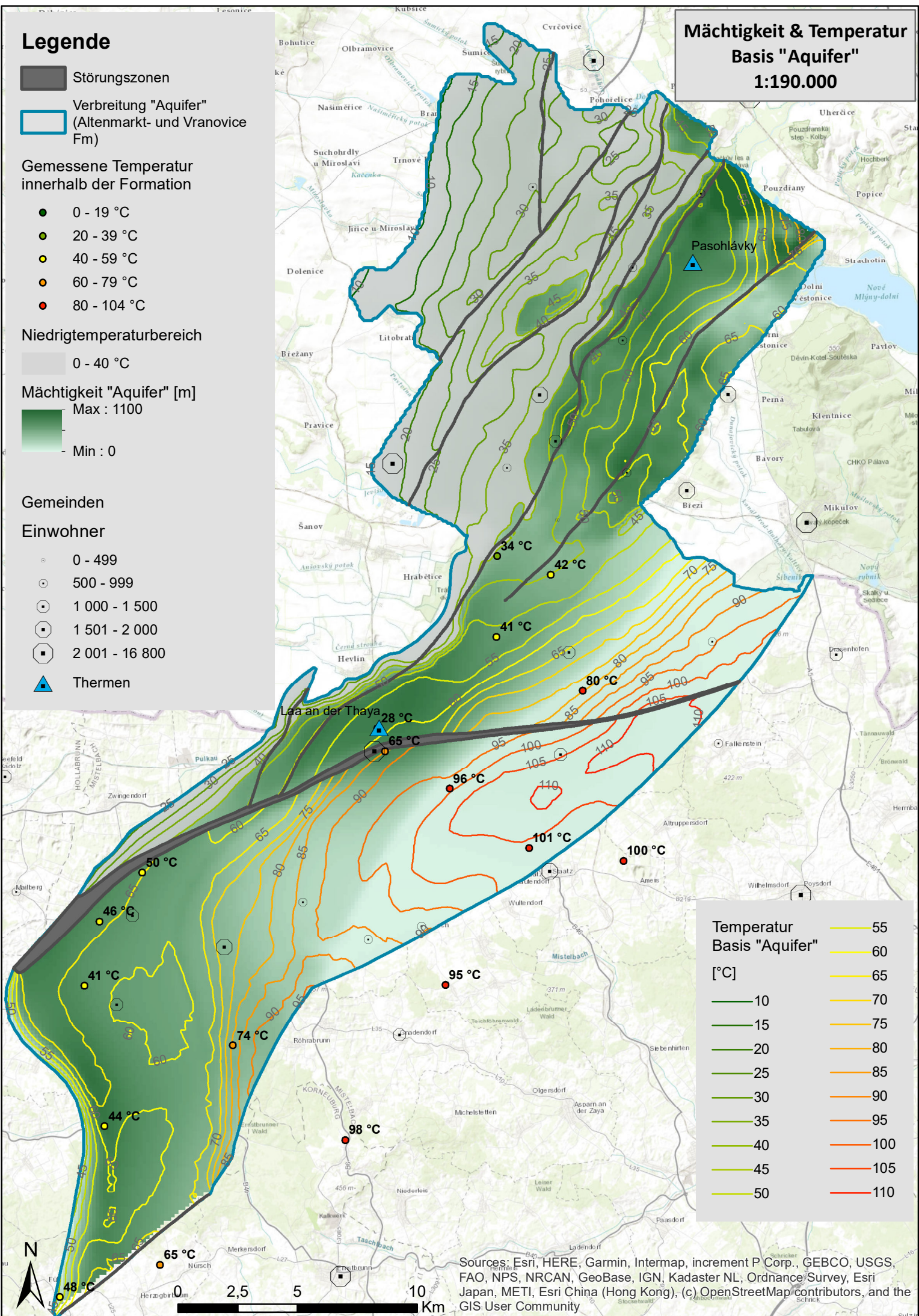


Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Mächtigkeit & Temperatur Basis "Aquifer" 1:190.000

Legende

- Störungszonen
- Verbreitung "Aquifer" (Altenmarkt- und Vranovice Fm)
- Gemessene Temperatur innerhalb der Formation
 - 0 - 19 °C
 - 20 - 39 °C
 - 40 - 59 °C
 - 60 - 79 °C
 - 80 - 104 °C
- Niedrigtemperaturbereich
 - 0 - 40 °C
- Mächtigkeit "Aquifer" [m]
 - Max : 1100
 - Min : 0
- Gemeinden
- Einwohner
 - 0 - 499
 - 500 - 999
 - 1 000 - 1 500
 - 1 501 - 2 000
 - 2 001 - 16 800
 - ▲ Thermen



Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Mächtigkeit & Temperatur Top "Aquifer" 1:190.000

Legende

- Störungszonen
- Verbreitung "Aquifer" (Altenmarkt- und Vranovice Fm)

Gemessene Temperatur innerhalb der Formation

- 0 - 19 °C
- 20 - 39 °C
- 40 - 59 °C
- 60 - 79 °C
- 80 - 104 °C

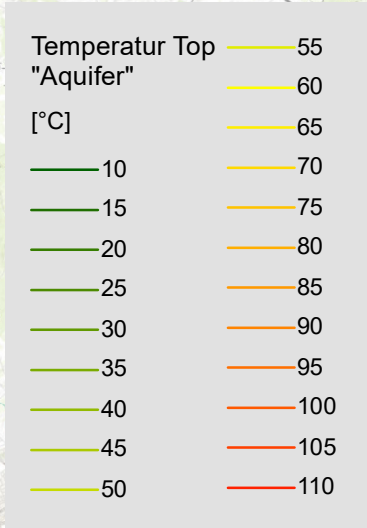
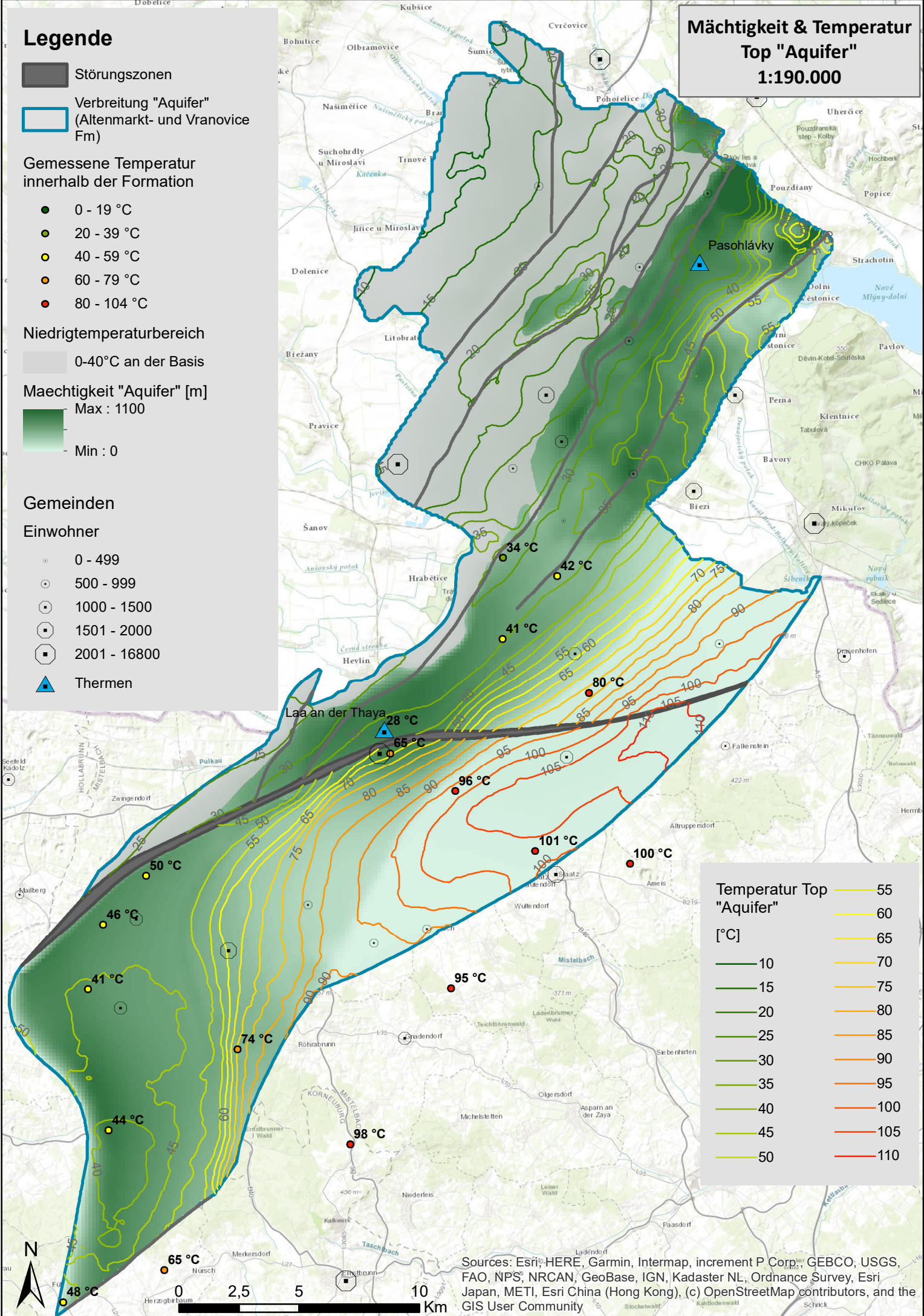
Niedrigtemperaturbereich

0-40°C an der Basis

- ### Maechtigkeit "Aquifer" [m]
- Max : 1100
 - Min : 0

Gemeinden

- #### Einwohner
- 0 - 499
 - 500 - 999
 - 1000 - 1500
 - 1501 - 2000
 - 2001 - 16800
 - Thermen



Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Legende

Verbreitung Dogger

Störungszonen

Gemessene Temperatur innerhalb der Formation

- 0 - 19 °C
- 20 - 39 °C
- 40 - 59 °C
- 60 - 79 °C
- 80 - 125 °C

Niedrigtemperaturbereich

0 - 40 °C

Doggermächtigkeit [m]

Max : 2250

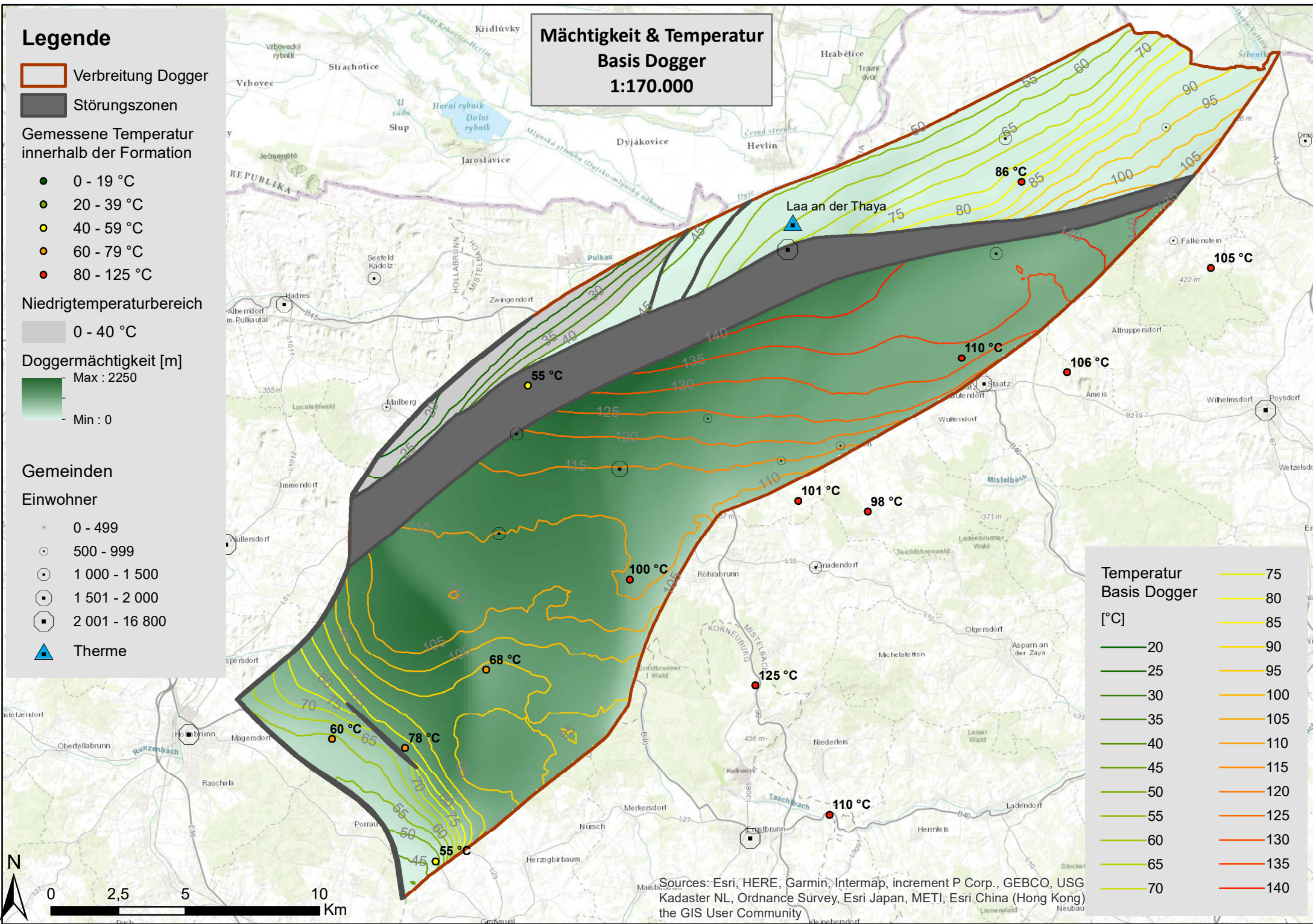
Min : 0

Gemeinden

Einwohner

- 0 - 499
- 500 - 999
- 1 000 - 1 500
- 1 501 - 2 000
- 2 001 - 16 800
- Therme

Mächtigkeit & Temperatur Basis Dogger 1:170.000



Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USG Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong) the GIS User Community

Legende

Verbreitung Dogger

Störungszonen

Gemessene Temperatur innerhalb der Formation

- 0 - 19 °C
- 20 - 39 °C
- 40 - 59 °C
- 60 - 79 °C
- 80 - 125 °C

Niedrigtemperaturbereich

0-40°C an der Basis

Doggermächtigkeit [m]

Max : 2250

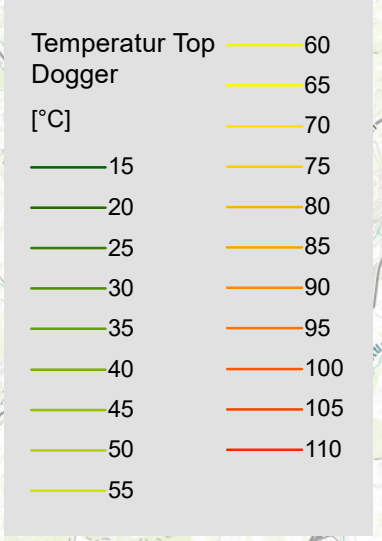
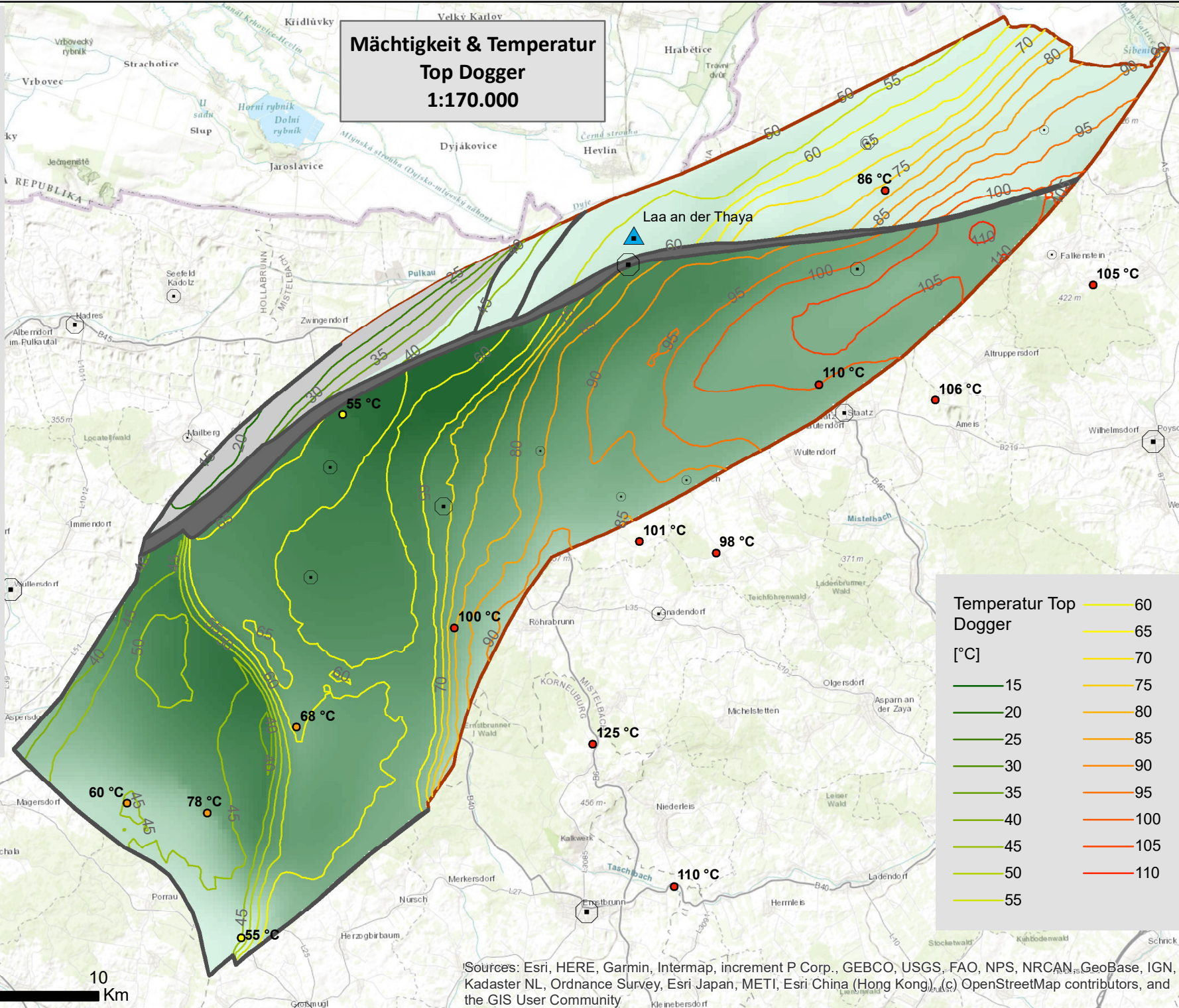
Min : 0

Gemeinden

Einwohner

- 0 - 499
- 500 - 999
- 1 000 - 1 500
- 1 501 - 2 000
- 2 001 - 16 800
- Therme

Mächtigkeit & Temperatur Top Dogger 1:170.000



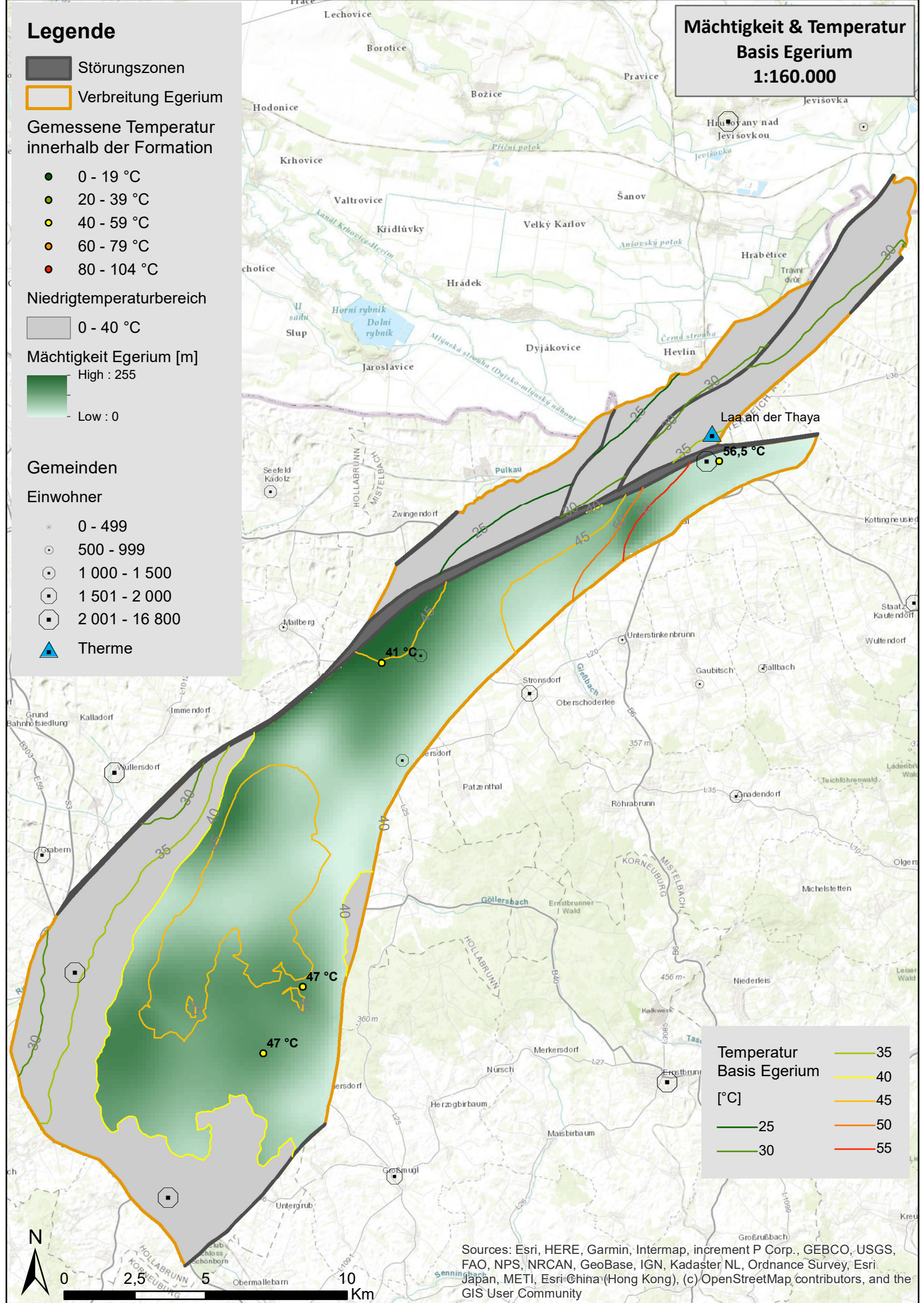
Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Legende

- Störungszonen
- Verbreitung Egerium
- Gemessene Temperatur innerhalb der Formation
 - 0 - 19 °C
 - 20 - 39 °C
 - 40 - 59 °C
 - 60 - 79 °C
 - 80 - 104 °C
- Niedrigtemperaturbereich
 - 0 - 40 °C
- Mächtigkeit Egerium [m]
 - High : 255
 - Low : 0
- Gemeinden
 - 0 - 499
 - 500 - 999
 - 1 000 - 1 500
 - 1 501 - 2 000
 - 2 001 - 16 800
 - ▲ Therme

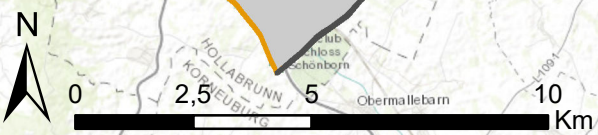
Mächtigkeit & Temperatur Basis Egerium

1:160.000



Temperatur Basis Egerium [°C]	
	35
	40
	45
	50
	55

Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri-China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community



Legende

- Störungszonen
- Verbreitung Egerium

Gemessene Temperatur innerhalb der Formation

- 0 - 19 °C
- 20 - 39 °C
- 40 - 59 °C
- 60 - 79 °C
- 80 - 104 °C

Niedrigtemperaturbereich

- 0-40°C an der Basis

Mächtigkeit Egerium [m]

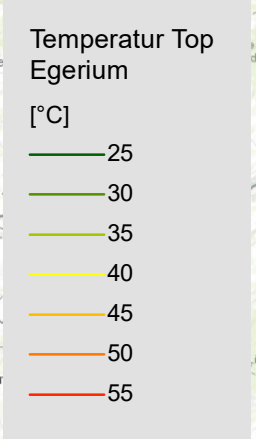
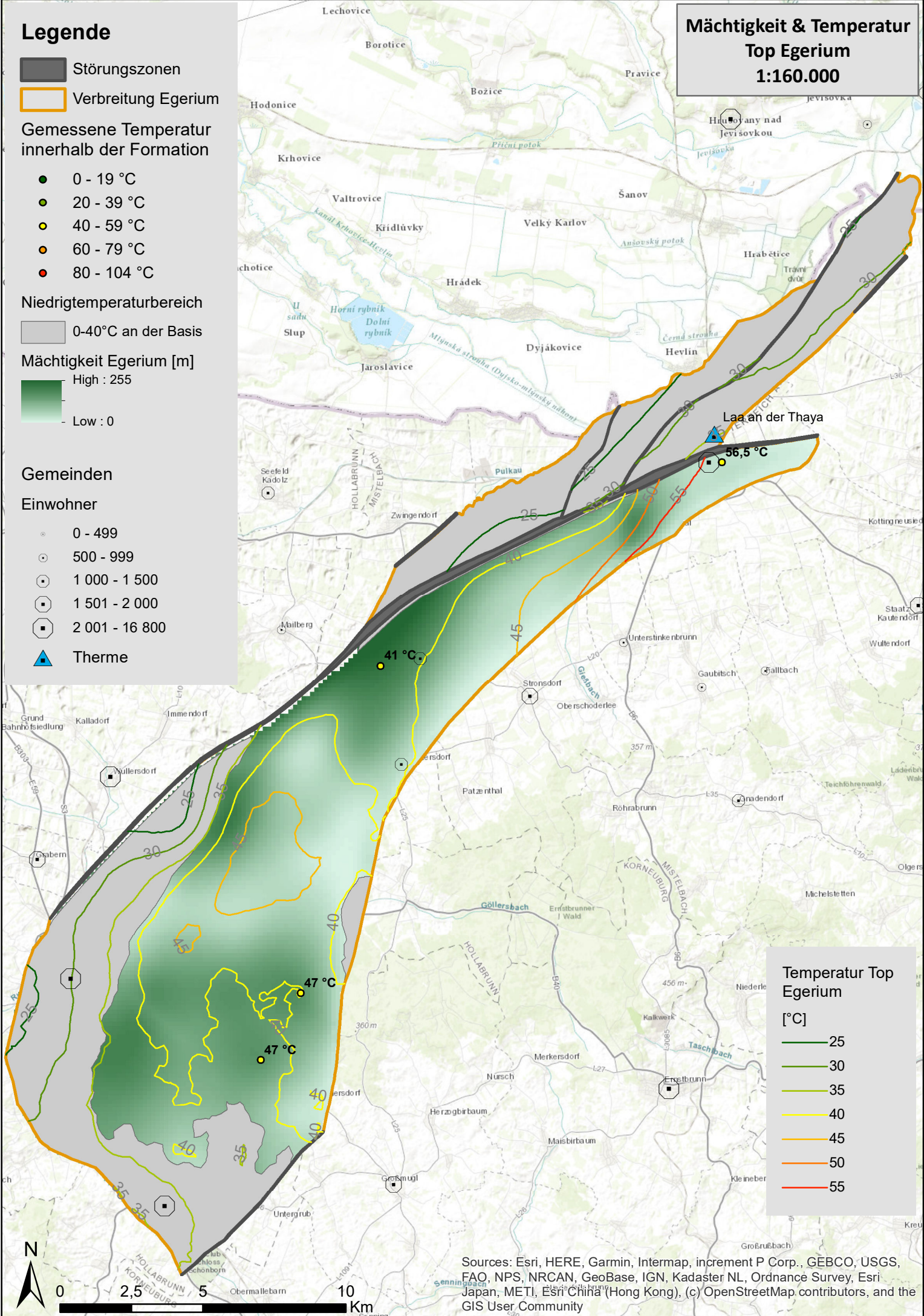
- High : 255
- Low : 0

Gemeinden

Einwohner

- 0 - 499
- 500 - 999
- 1 000 - 1 500
- 1 501 - 2 000
- 2 001 - 16 800
- Therme

Mächtigkeit & Temperatur Top Egerium 1:160.000



Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community