

Schlussbericht Dezember 2003

Geothermische Karte Tessin

Wärme aus Boden und Wasser – Kanton Tessin

ausgearbeitet durch
Manfred Thüring
Istituto Scienze della Terra – Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana
CP 72, 6952, Canobbio

Inhalt

Zusammenfassung	3
Riassunto	4
1. Ausgangslage	5
2. Ziel der Arbeit.....	5
3. Teilaspekte des Projektes und deren Umsetzung.....	6
3.1. Geothermische Karte Tessin.....	6
3.2. Begleitende Informationen	9
3.3. Messung thermischer Gesteinsparameter	9
3.3.1. Wärmeleitfähigkeit.....	9
3.3.2. Wärmekapazität.....	12
4. Hergestellte Datenträger	13
4.1. CD-ROM.....	14
4.2. Internet	14
4.2.1. Applikation	15
4.2.2. Datenstruktur	15
5. Schlussfolgerungen	16
6. Ausblick.....	16
Literaturverzeichnis	18
Anhang	20

Zusammenfassung

Inspiriert durch die relativ schwache Verbreitung der Erdwärmenutzung im Kanton Tessin wurde das vorliegende Projekt „Geothermische Karte Tessin“ initiiert und durchgeführt. Es hat zum Ziel, die Geothermie im Tessin zu fördern. Dies soll dadurch erreicht werden, dass verschiedene Informationen einem weiteren Publikum zur Verfügung gestellt werden.

Als Hauptbeitrag des Projektes wurde eine geothermische Karte des Tessins erstellt. Diese beinhaltet – strukturiert in verschiedenen Datenebenen – kartografische Informationen zum Thema Geothermie im Tessin, wie u. a. die vorhandenen geothermischen Installationen, die Anwesenheit von Grundwasser, die geltenden Gewässerschutzzonen, eine geologische Übersichtskarte, die Auswahl von thermischen Gesteinsparameter und der vorhandene geothermische Wärmefluss. Zur einfacheren Orientierung sind die Daten mit topografischen Grundinformationen versehen.

Die geothermische Karte des Kantons Tessin wurde ergänzt mit begleitenden Informationen. Diese sind gruppiert in einen Einführungsteil, der dem Interessierten die Geothermie und deren Funktionsweise und Anwendung näher bringen soll. Ein weiterer Teil liefert praktische Informationen, die nötig sind zur Planung einer Anlage. Die Dokumentation schliesst mit den geltenden gesetzlichen Rahmenbedingungen und den Antragsformularen zu Ausführung und Betrieb einer Anlage, einer Liste weiterführender Literatur und Interessensgemeinschaften und einem Glossar der verwendeten Fachbegriffe.

Die oben beschriebenen Informationen wurden teils neu hergestellt, teils handelt es sich um Kompilationen und Bearbeitungen bestehender Daten. Neben der Herstellung der geothermischen Karte war die Messung der thermischen Parameter Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität an ausgesuchten Tessiner Lithologien ein zentraler Teil des Projektes. Hier konnten die thermischen Parameter von circa 30 Proben bestimmt werden. Auch diese Daten fliessen in die geothermische Karte ein.

Die geothermische Karte wird zusammen mit den begleitenden Informationen in Form einer Broschüre auf CD-ROM und über das Internet, hier als eigentliche Applikation eines GIS (Geografisches Informationssystem) an Interessierte herangebracht.

Neben dem Hauptziel des Projektes, der Herstellung der oben genannten Informationen, wurde mit der Arbeit an diesem Projekt ein namhafter Beitrag zum Aufbau und der Weiterentwicklung von lokalem Know-how an der Fachhochschule der Italienischen Schweiz (SUPSI) bezüglich der Geothermie geleistet.

Riassunto

Questo progetto “Carta geotermica del Ticino” è stato ispirato dalla diffusione piuttosto modesta dello sfruttamento della geotermia in Ticino. Lo scopo principale è quello di promuovere l'utilizzo dell'energia geotermica in Ticino mettendo a disposizione diverse informazioni ad un pubblico più esteso.

Il contributo principale del progetto è la carta geotermica del Ticino. Questa, tramite una struttura in diversi livelli informativi, comprende informazione cartografica riguardo alla geotermia in Ticino, ad esempio le installazioni esistenti, la presenza della falda freatica, le zone della protezione delle acque, una carta geologica riassuntiva, la scelta di parametri termofisici di rocce e il flusso geotermico. Per facilitare l'orientamento vengono aggiunti delle informazioni topografiche di base.

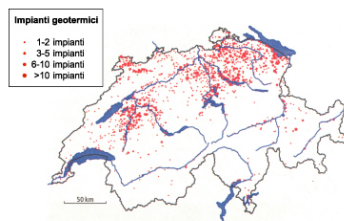
Alla carta geotermica del Ticino sono state aggiunte informazioni supplementari. Queste sono raggruppate in una parte introduttiva, che dovrebbe far conoscere la geotermia ed i suoi principi di funzionamento. Una parte successiva fornisce informazioni pratiche, che sono necessarie per la pianificazione di un impianto. La documentazione si conclude con le condizioni legali attuali e le informazioni ed i formulari necessari per la richiesta di concessione per un impianto, una lista di letteratura di approfondimento e di indirizzi, ed un glossario dei termini usati.

Le informazioni descritte sopra sono in parte nuovi sviluppi realizzati nell'ambito del progetto, in parte si tratta di una compilazione ed elaborazione di dati esistenti. Oltre allo sviluppo della carta geotermica, la determinazione dei parametri termici della conducibilità e della capacità termica di alcune litologie ticinesi è stata un altro punto centrale del progetto. È stato possibile determinare i parametri termici di circa 30 campioni. Anche questi dati confluiscono nella carta geotermica.

La carta geotermica viene fornita agli interessati con tutte le informazioni incluse sotto forma di una brochure su CD-ROM e attraverso Internet. In questo secondo caso come applicazione SIT (sistema informativo territoriale).

Oltre allo scopo principale, cioè quello di produrre le informazioni sopraccitate, il progetto ha dato un contributo notevole alla creazione e allo sviluppo di know-how locale nell'ambito della geotermia all'interno della Scuola Universitaria della Svizzera Italiana (SUPSI).

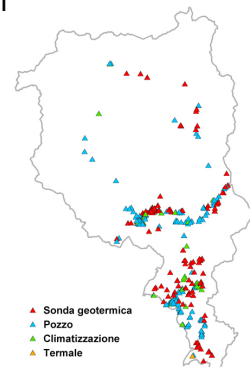
1. Ausgangslage



Die Nutzung von Wärme aus Boden und Wasser hat in der Schweiz seit den 1980er Jahren starke Verbreitung gefunden. Im Jahre 2002 waren gesamtschweizerisch circa 30'000 Installationen von Erdwärmesonden in Betrieb, mit einer geschätzten Totallänge von über 4000 km (Quelle: Polydynamics, Zürich). Allein im Jahre 2002 wurden Erdwärmesonden mit einer totalen Länge von circa 400 km

installiert (Quelle: Förderverein Wärmepumpen Schweiz).

Im Kanton Tessin konnte diese Technologie in den letzten Jahren nur beschränkt Fuss fassen. So sind beispielsweise im Jahre 2002 nur circa 200 Installationen von Erdwärmesonden in Betrieb. Obschon der Kanton circa 7% der schweizerischen Fläche und circa 4% der schweizerischen Bevölkerung umfasst, sind heute weniger als 1% der in der Schweiz installierten Erdwärmesondenanlagen im Tessin beheimatet.



Dieses Projekt möchte einen Beitrag leisten zur verstärkten Nutzung der Geothermie im Kanton Tessin.

2. Ziel der Arbeit

Die Geothermie hat im Tessin eine im schweizerischen Vergleich relativ schwache Verteilung. Mit der Herstellung und zur Verfügungstellung von praktischen Informationen zum Thema Geothermie soll der geothermischen Nutzung im Tessin zu einer besseren Verbreitung verholfen werden.

Der Hauptbeitrag des Projektes ist die Erstellung einer geothermischen Übersichtskarte, mit der sich Interessierte informieren können, wo im Tessin die Entnahme von Erdwärme aus legalen Gesichtspunkten gestattet und auch technisch, z. B. aufgrund der Beschaffenheit des Untergrundes, sinnvoll ist. Die geothermische Übersichtskarte wird begleitet durch einführende Informationen zum Thema Geothermie und deren Nutzung, sowie auch praktische Informationen, wie z. B. die nötigen Formulare der administrativen Abläufe, sowie Basisinformationen zur Dimensionierung von geothermischen Anlagen. Da die Kenntnis der thermischen Eigenschaften des Untergrundes einen wichtigen Punkt darstellen, wurde innerhalb des Projektes ein zweiter Schwerpunkt auf die Bestimmung der thermischen Eigenschaften von ausgewählten Tessiner Lithologien gelegt.

Die Ergebnisse des Projektes werden Interessierten mittels 2 Datenträgern zur Verfügung gestellt: als Broschüre auf CD-ROM und mittels einer GIS (Geografisches Informations System) -Anwendung via Internet.

3. Teilaspekte des Projektes und deren Umsetzung

Der thematischen Struktur des Projektes folgend, lassen sich 4 Themenblöcke unterscheiden:

- Geothermische Karte Tessin
- Begleitende Informationen
- Messung von thermischen Gesteinsparametern
- Hergestellte Datenträger: CD-ROM und Internetapplikation

Im Folgenden werden die einzelnen Aufgaben des Projektes sowie deren Lösung dargestellt.

3.1. Geothermische Karte Tessin

Der Hauptteil des Projektes wurde der Erstellung der geothermischen Karte des Kanton Tessin gewidmet. Die Karte ist eine Kompilation von mehreren, teils schon vorhandenen, teils neu hergestellten Daten aus verschiedenen Datenquellen. Die verschiedenen Daten sind thematisch in separaten, kartographischen Ebenen organisiert.

Im Folgenden werden die einzelnen Datenebenen der geothermischen Karte genauer beschrieben. Diese sind in der eigentlichen Anwendung (auf CD-ROM in reduzierter Form und hauptsächlich auf Internet) ersichtlich. Es wird deshalb verzichtet, sie auch in diesem Schlussbericht vollständig grafisch abzubilden. Die Tabelle 1 enthält eine Kurzbeschreibung der vorhandenen Datenebenen, im Anhang 2 werden einige Kartenebenen ausschnittsweise dargestellt.

In der Internetapplikation kann sich der Betrachter frei auf dem Kartenblatt bewegen, die verschiedenen Datenebenen - unter Berücksichtigung gewisser Abhängigkeiten - gezielt ein- und ausblenden, vergrössern bzw. verkleinern, und einige Basisinformationen abfragen. Es ist nicht möglich, die eigentlichen Daten aus der Applikation zu extrahieren.

Die **Geografischen Basisinformationen** dienen als Grundebene der Orientierung des Benutzers. Als geografische Grundkarte wurde eine Kombination eines digitalen Höhenmodells und weiterer geografischen Vektordaten (Strassen, Ortschaften, Gemeindegrenzen, Berggipfel, Flüsse, Seen, etc.) gewählt und digitalisiert. Zusätzlich werden topographische Rasterkarten verwendet, die eine Orientierung erlauben. Die in Anhang 2 abgebildeten Auszüge sind mit diesen Basisinformationen unterlegt.

Die **Geologische Übersichtskarte** dient als geologische Basiskarte und wurde von der geologischen Grundkarte der Karte der Vorkommen mineralischer Rohstoffe [4] digitalisiert und als Datenebene verwendet. Die geologische Karte dient der grobmassstäblichen Orientierung bezüglich der Beschaffenheit des Untergrundes und unterteilt den Untergrund in 11 Lithologien. Diese sind:

Quartäre Ablagerungen - Kalkschiefer und Kalkglimmerschiefer (z. T. Bündnerschiefer) - Kalke und Kalkmarmore (mit Kieselkalken und Kalksilikatfelsen) - Dolomite und Dolomitmarmore (mit Rauhwacken und Gipsen) - Basische Vulkanite - Saure Vulkanite - Konglomerate, Sandsteine, Mergel und Tonschiefer (z. T. kalkig) - Granite und Granodiorite -

Orthogneise - Paragneise - Grünschiefer, Amphibolite, (Meta-) Gabbros und (Meta-) Ultrasite. Diese Karte bildet die erste flächendeckende geologische Karte in einer brauchbaren Auflösung für das Tessin dar und hat über das Projekt hinaus grosse Wichtigkeit.

Ein Ausschnitt dieser Datenebene ist in Anhang 1 und Anhang 2 abgebildet.

Die Karte des **geothermischen Wärmeflusses** wurde der Geothermischen Karte der Schweiz [5] entnommen und von dieser digitalisiert. Diese Karte gibt eine grobe Übersicht über den geothermischen Wärmefluss im Kanton Tessin. Ein Ausschnitt dieser Datenebene ist in Anhang 2 abgebildet.

Tabelle 1: Kurzbeschreibung der Datenebenen der geothermischen Karte des Tessin.

Datenebene	Kurzbeschreibung
Geografische Basisinformationen	Die geografische Grundlage ist durch die Verwendung von digitalen Höhenmodellen und geografischen Zusatzinformationen (Flussläufe, Seen, Strassen, Orte, etc.) sowie topografische Karten gegeben.
Geologische Übersichtskarte	Die geologische Übersichtskarte des Kanton Tessin unterteilt die Lithologien in 11 Hauptgesteinsgruppen.
Geothermischer Wärmefluss	Bildet eine grobe Konturierung des geothermischen Wärmeflusses ab.
Grundwasserkarte	Weist die Zonen aus, wo mit Grundwasser zu rechnen ist. In Zonen, wo Daten diesbezüglich vorhanden sind, werden auch Isolinien des Grundwasserspiegels abgebildet.
Bestehende geothermische Installationen	Punktuelle Daten bezüglich vorhandener geothermischer Installationen (Erdwärmesonden, Brunnenanlagen, Thermalquellen).
Thermische Gesteinsparameter	Punktuelle Daten bezüglich Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität von Gesteinen.
Gewässerschutzzonen	Für den Gewässerschutz ausgeschiedene Gebiete, wo geothermische Installationen nur unter Vorbehalt, bzw. gar nicht gestattet sind.

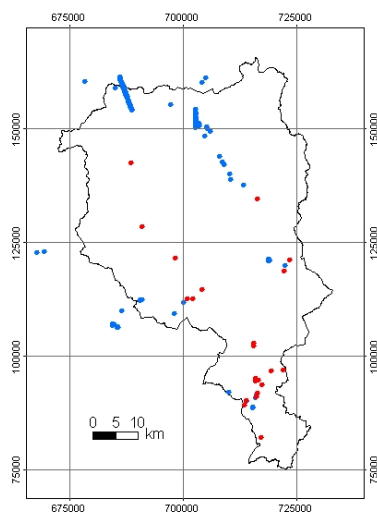
Die **Grundwasserkarte** wurde anhand von am IST-SUPSI vorhandenen Informationen zusammengestellt und digitalisiert. Sie zeigt die Gebiete des Kanton Tessin, wo in geringer Erdtiefe mit einem zusammenhängenden Grundwasserspiegel zu rechnen ist [15]. Die Karte wurde ergänzt mit den Isolinien des Grundwasserspiegels der hydrogeologischen Karte des Kanton Tessin [16]. Ein Ausschnitt dieser Datenebene ist in Anhang 2 abgebildet.

Die Karte der **bestehenden geothermischen Installationen** wurde anhand von Informationen der Datenbank GESPOS [17] erstellt und zeigt die im Kanton Tessin existierenden geothermischen Installationen. Aus diesen Daten wurde eine Datenebene erstellt und ins Projekt integriert. In Anhang 2 ist ein Ausschnitt der Datenebene der geothermischen Installationen abgebildet. Die Internetapplikation greift direkt auf die Grunddatenbank GESPOS zu, um diese Datenebene herzustellen. Folglich ist diese Datenebene laufend aktualisiert.

Die **Karte der thermischen Gesteinsparameter** beinhaltet die Daten zu Wärmeleitfähigkeiten und Wärmekapazitäten von Tessiner Gesteinen. Diese kommen aus den folgenden 2 Datenquellen:

- Die gesamtschweizerische Kompilation geothermischer Daten [6] enthält rund 170 Datensätze bezüglich der Wärmeleitfähigkeit Tessiner Gesteine. Die vorhandenen Daten sind ausschliesslich Wärmeleitfähigkeitsmessungen. Die Daten wurden grösstenteils im Rahmen von Forschungsprojekten und Tunnelbauprojekten erhoben.
- Im Verlaufe des Projektes wurden die Wärmeleitfähigkeiten und die Wärmekapazitäten von rund 30 Proben ausgesuchter Tessiner Lithologien bestimmt (siehe Abschnitt „Messung thermischer Gesteinsparameter“).

Figur 1 zeigt die geografische Verteilung der verwendeten thermischen Gesteinsdaten.



Figur 1: Geografische Verteilung der Gesteinsproben, über die thermophysikalische Messwerte vorliegen.
Blaue Symbole: Daten aus [6]; Nur Leitfähigkeitswerte.
Rote Symbole: Diese Arbeit; Wärmeleitfähigkeits- und Wärmekapazitätswerte.

Anhang 2 zeigt einen Ausschnitt dieser Datenebene.

Die eidgenössische und kantonale Gesetzgebungen berufen sich bei der Nutzungseinschränkungen bezüglich der Geothermie grösstenteils auf den Schutz der Grund- und Oberflächenwässer. Aus diesem Grund wurde eine Datenebene geschaffen, die eine vereinfachte Version der **Gewässerschutzkarte** [18] beinhaltet. Diese Karte weist aus, wo geothermische Installationen aus Grundwasserschutzgründen erlaubt oder nicht erlaubt, oder nur beding erlaubt sind. Die Internetapplikation greift direkt auf die Grunddatenbank zu,

um diese Datenebene herzustellen. Folglich ist diese Datenebene laufend aktualisiert. In Anhang 1 und Anhang 2 ist ein Ausschnitt dieser Datenebene abgebildet.

Bei einigen der Datenebenen handelt es sich um Kompilationen bestehender Daten. Für diese wurden die **nötigen Bewilligungen zur Datennutzung** eingeholt.

3.2. Begleitende Informationen

Die geothermische Karte wird begleitet durch eine Sammlung von Informationen. Diese werden im Folgenden kurz beschrieben.

Die **thematische Einleitung** bildet den ersten Teil und besteht aus einer leichtverständlichen Einführung in die Thematik der Geothermie, deren Vorteile aus ökologischer und energetischer Sicht, deren Verbreitung in der Schweiz und im Tessin, sowie deren prinzipielle Nutzungsmöglichkeiten.

In einem weiteren Teil werden mehr **spezifische Informationen** zur Dimensionierung einer geplanten Anlage gegeben. Diverse Dokumentationen [1,2,3,13,14,19] dienen als Orientierungshilfe. Da die Informationen ein weiteres Publikum ansprechen sollen, wurde auf allzu detaillierte Erläuterungen verzichtet und bei Bedarf auf bestehende, weiterführende Literatur verwiesen.

Der Dokumentation liegen ebenfalls eine Umschreibung der geltenden gesetzlichen Rahmenbedingungen und die **Antragsformulare** bei, um eine vorläufige oder definitive Konzessionsanfrage für die Installation und den Betrieb einer geothermischen Anlage zu stellen.

Die Dokumentation wird abgeschlossen mit Informationen bezüglich **weiterführender Literatur** (Normen, Fachbücher, etc.), **Adressen** und Internetseiten von Interessenverbänden und einem **Glossar**, das wichtige Begriffe erklärt.

3.3. Messung thermischer Gesteinsparameter

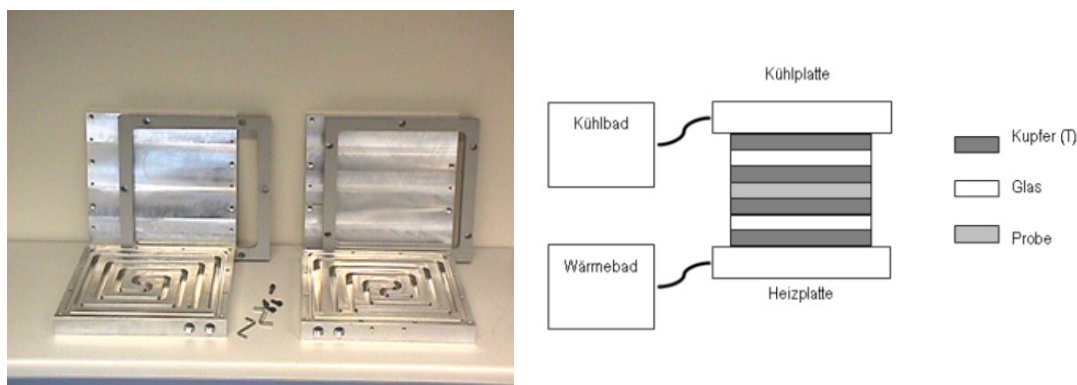
Im Laufe des Projektes wurden die thermischen Eigenschaften von ausgesuchten Tessiner Lithologien bestimmt. Die Gesteinsproben wurden bei Feldbegehungen genommen. Es wurde versucht mit einer minimalen Probenzahl (30 Proben) eine repräsentative Auswahl der wichtigsten Lithologien zu treffen. Im Folgenden wird die Datenerhebung der beiden thermischen Eigenschaften dokumentiert.

3.3.1. Wärmeleitfähigkeit

Die verwendeten Wärmeleitfähigkeitswerte stammen einerseits aus der Datenkompilation [6], andererseits wurden im Rahmen des Projektes wichtige, fehlende Lithologien neu beprobt und deren Wärmeleitfähigkeit bestimmt (Figur 1).

Messverfahren

Ursprünglich war vorgesehen, die thermische Leitfähigkeit am Laboratorio Tecnico Sperimentale LTS-SUPSI zu bestimmen. Dafür wurde die im Zwischenbericht [20] vorgestellte Messapparatur hergestellt und der Messbetrieb aufgenommen.



Figur 2: Hergestellte Messapparatur zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit. Links: Heiz- und Kühlplatte. (Dimension 25*25 cm). Rechts: Messprinzip der Sandwichanordnung.

Eine genauere Beschreibung des Messverfahrens ist in [20] vorhanden. Bei diesem Verfahren handelt es sich um ein steady-state Verfahren, wobei sich in der Messkolonne, die einen sandwichartigen Aufbau hat, nach einer gewissen Zeitspanne ein stabiles Temperaturprofil aufbaut (Figur 2). Die Bestückung der Kupferplatten mit Temperaturfühlern (T), die Kenntnis der Temperaturen der Heiz- und der Kühlplatte, die bekannten Wärmeleitfähigkeiten von Kupfer und Glas und die Kenntnis der Geometrie des Messaufbaues erlauben es mittels einer einfachen Rechnung, die Wärmeleitfähigkeit der Probe zu bestimmen.

Basierend auf der Definition des Wärmeflusses ($Q = -k \Delta T$), der bekannt ist durch die Messung der Temperaturen an den Kupferplatten, lässt sich der Eingangs- und Ausgangsfluss über der Probe bestimmen. Mit der Definition des Wärmeflusses lässt sich somit aus der Kenntnis des Wärmeflusses und des Temperaturgradienten die gesuchte Wärmeleitfähigkeit k bestimmen.

Leider zeigten Vergleichsmessungen der gebauten Apparatur mit Apparaturen an der ETH-Zürich, eine nicht eruirbare Diskrepanz. Aus diesem Grund wurde auf die ursprüngliche Option zurückgegriffen, und die Messungen an der ETH-Zürich durchgeführt (Figur 3).

Bei der benutzten Messapparatur handelt es sich um ein Gerät, das mittels einer Linienquelle (Heizdraht) nach einer instationären Methode verfährt [9]. Der Heizdraht ist auf einem Plexiglasträger aufgebracht, und wird mit 10-15 bar auf die ebene Gesteinsprobe gedrückt und während 80 s mit circa 5-7 W/m beheizt. Mit dieser so genannten Halbraumsonde liegt die Linienquelle an der Grenze zweier Halbräume. Die während der Messung produzierte Wärme wird praktisch vollständig ins Gestein abgegeben, da die Wärmeleitfähigkeit des Plexiglases (0.16 W/m·K) gegenüber derjenigen des Gesteins (2-5 W/m·K) vernachlässigbar klein ist. Ein in der Mitte des Heizdrahtes angebrachter Temperaturfühler misst die Temperatur an der Probenoberfläche. Die Wärme dringt typischerweise einige mm in die Probe ein.

Alle Proben wurden in wassergesättigtem Zustand gemessen. 7 Proben wurden zusätzlich auch in trockenem Zustand gemessen. Die Sättigung wurde damit erreicht, dass etwaige Gase in den Proben unter Wasser und unter Vakuum während mehrerer Stunden evakuiert wurden. Die trockenen Proben wurden im Ofen bei 105 °C während circa 8 Stunden getrocknet. Proben mit erkennbarer Schichtung wurden senkrecht zu dieser zugeschnitten. Eine etwaig vorhandene Anisotropie der Probe wurde mittels Messungen parallel und senkrecht zur Schichtung erfasst. Für beide Messrichtungen wurden 2 - 4 Messungen vorgenommen.



Figur 3: Apparatur zur Messung der thermischen Wärmeleitfähigkeit der Gesteine. Links: Messgerät Tk04. Rechts: Heizdraht (Länge 7 mm) in Plexiglasträger.

Die Kalibrierung des Messgerätes wurde mittels eines Porzellan-Standards (Macor, 1.609 W/m·K) vorgenommen. Dieser Standard wurde während der ganzen Messdauer an jedem Messtag mitgemessen. Die Messwerte waren während der ganzen Messdauer (circa 6 Wochen) sehr konstant und lagen immer innerhalb von $\pm 2.5\%$.

Einfluss des Porenwassers auf die Leitfähigkeit

An 7 Proben wurde die Wärmeleitfähigkeit im wassergesättigten und im trockenen Zustand gemessen. Der Einfluss des Wassergehaltes auf die Wärmeleitfähigkeit hängt ab von der Porosität, der Porenkonfiguration und dem Sättigungsgrad der Probe [10,11]. Wasser hat eine circa 15 mal höhere Wärmeleitfähigkeit als Luft. Somit hat eine Probe in wassergesättigtem Zustand eine höhere Leitfähigkeit als in trockenem Zustand.

Messresultate

Die Messresultate sind in Anhang 3 und Anhang 4 wiedergegeben. Die detaillierten Messprotokolle können beim Autor eingesehen werden. Die Daten wurden mit den Daten der Kompilation [6] kombiniert und sind auf der CD-ROM vorhanden und in erweiterter Masse via die Internet-Lösung abfragbar.

Anhang 4 zeigt eine Zuordnung der Wärmeleitfähigkeiten zu bestimmten Gesteinstypen. Die Messresultate können wie folgt zusammengefasst werden.

Die höchsten Werte haben die Dolomite (4.5-4.8 W/m·K). Werte um 3.5 W/m·K zeigen die Kieselkalke und die Bernardogneise. Kalke, Marmor und die vulkanischen Ignimbrite haben Werte zwischen 2.7 und 2.8 W/m·K. Die Metabasite haben mit 1.5-2.4 W/m·K die tiefsten

Wärmeleitfähigkeiten. Die Gneise der Ceneri-/Maggia-Zone und die Paragneise der Wurzel-Zone/Maggiatal zeigen ähnliche Werte (1.8-3.6 W/m-K) mit ähnlichen Anisotropiefaktoren (1.20-1.27). Die Stabiello-Gneise zeigen ein inhomogenes Bild mit einer grossen Bandbreite (2.2-4.8 W/m-K) sowie unterschiedlicher Anisotropie (1.15-1.35). Der Grund dafür dürfte im relativ hohen Glimmergehalt der Gesteine liegen.

3.3.2. Wärmekapazität

Die Messung der Wärmekapazität an den Gesteinsproben wurde am LTS-SUPSI vorgenommen. Es wurde ein kalorimetrisches Verfahren angewendet [12]. Zur Messung konnten Standardlaborapparaturen verwendet werden, die am LTS-SUPSI vorhanden sind (Figur 4).

Messverfahren

In diesem Verfahren wurden die im Feld entnommenen Gesteinsproben zu einem Granulat von 1 bis 10 mm Korngrösse verarbeitet und deren Wärmekapazität anschliessend kalorimetrisch bestimmt.

Hierbei kommt das Prinzip der Mischung zweier Substanzen unterschiedlicher thermischer Eigenschaften zur Anwendung, wobei für die beiden Substanzen folgende Eigenschaften bekannt sind: Verschiedene, messbare Temperaturen der beiden Substanzen, deren Massen, sowie die Wärmekapazität einer der Substanzen. Bei der einen Substanz handelt es sich um die zu messende Probe, die zweite Substanz ist Wasser.

Für die Kalibrierung der Messapparatur wurde ein etwas anderer Weg eingeschlagen als in [12] beschrieben. In jener Publikation wird das Kalorimeter mit diversen Testsubstanzen bekannter Wärmekapazität kalibriert. Die Berechnungsformel berücksichtigt die Kalibrierung mittels eines Faktors f , der durch einen linearen Kurvenfit zwischen den gemessenen und den effektiven Wärmekapazitäten der Testsubstanzen bestimmt wird.

Eine Messung erfolgt praktisch so, dass das Gesteinsgranulat bekannter Masse im Eisbad gekühlt wird (circa 15 min.) und dann im Kalorimeter der bekannten Menge Wasser (Labortemperatur) beigemischt wird. Der Verlauf der Temperatur wird laufend gemessen und mit einem Datenlogger aufgezeichnet (typischerweise eine halbe Minute).

Die gesuchte Wärmekapazität ist somit:

$$c_m = f \frac{m_w c_w (T_w - T_m)}{m_c (T_m - T_c)}$$

Wir wählten hingegen den Weg, die Wärmekapazität W des Kalorimeters selbst zu bestimmen und in den Probenmessungen direkt zu berücksichtigen. Somit wird aus der obigen Berechnungsformel

$$c_m = \frac{m_w c_w (T_w - T_m) + W}{m_c (T_m - T_c)}$$

Für beide Formeln gelten folgende Abkürzungen: Gesuchte Wärmekapazität der Probe c_m , Masse des Wassers im Kalorimeter m_w , Masse der Probe m_c , Temperatur des Wassers vor

Probenbeimischung T_w , minimale Temperatur der Mischung T_m , Temperatur der Probe vor der Mischung T_c , Wärmekapazität des Wassers c_w bei Temperatur T_w .

Einige Substanzen bekannter Wärmekapazität (Aluminium, Blei, Kupfer, Wasser) wurden auch im von uns gewählten Verfahren benutzt, um die Präzision der Messungen zu kontrollieren. Das von uns gewählte Verfahren hat den Vorteil, dass man direkt die effektive Wärmekapazität misst, ohne dass eine spätere Korrektur angebracht werden muss.



Figur 4: Verwendeter Messaufbau zur kalorimetrischen Bestimmung der Wärmekapazität von Gesteinsgranulat: Kalorimeter, Eisbäder, Waage, Präzisionsthermometer und Granulate verschiedener Materialien für Testmessungen.

Messresultate

Die Messresultate der Wärmekapazitätsmessungen sind in Anhang 5 aufgeführt. Die detaillierten Messprotokolle können beim Autor eingesehen werden. Die Daten wurden mit den Daten der Kompilation [6] kombiniert und sind auf der CD-ROM vorhanden und in erweitertem Masse via die Internet-Lösung abfragbar.

4. Hergestellte Datenträger

Das eigentliche Produkt, die geothermische Karte des Kanton Tessin mit begleitendem Informationsmaterial, wird auf 2 Datenträger dem Publikum zur Verfügung gestellt. Es handelt sich dabei um eine Broschüre auf CD-ROM und um eine GIS (Geografisches Informations System)-Anwendung via Internet.

Die Einzelheiten der beiden Lösungen auf den jeweiligen Datenträgern werden nachfolgend erläutert.

4.1. CD-ROM

Die CD-ROM als Datenträger hat den Vorteil, dass die der geothermischen Karte beigelegten Informationen (Einführung, Tabellen, Formulare) direkt zum Interessenten in ansprechender Form gelangen. Der Nachteil liegt vor allem bei der Gestaltung des Kartenmaterials, das nur als einfache Bilder - die zwar vergrössert werden können - beiliegen. Ein weiterer Nachteil liegt in der Unmöglichkeit, die vorhandenen Daten auf dem Laufenden zu halten.

Als Datenformat wurde das Portable Document Format (PDF) der Adobe Systems Incorporated (www.adobe.com) gewählt. Der CD-ROM liegt auch die gratis verfügbare PDF-Lesesoftware Adobe Reader® bei.

Ursprünglich war vorgesehen, die Software Macromedia Director zu verwenden. Diese Variante wurde jedoch zugunsten von PDF verworfen. Grund dafür waren die offensichtlichen Vorteile des Datenformates PDF gegenüber einer in Macromedia Director entwickelten Version:

- PDF hat eine ausgezeichnete Portabilität: Es ist der de-facto Standard für den Dokumentenaustausch, das auf allen gebräuchlichen Computerplattformen mit den jeweiligen Betriebssystemen läuft.
- In PDF-Dateien hergestellte Informationen können ohne weiteres ausgedruckt werden.
- Als (temporärer) Nachteil stellte sich heraus, dass die vom Hersteller angekündigte Funktionalität, die ein Ein- und Ausblenden von Datenebenen auch in PDF-Dokumenten erlauben sollte, in der aktuellen Version 6 der Software Adobe Acrobat® nicht zufriedenstellend gelöst ist.

Ein nächster Release der Software Acrobat dürfte hier Besserung bringen und es erlauben, in einer künftigen Version der CD-ROM das Kartenmaterial ansprechender gestalten zu können. Insbesondere sollte es dann möglich sein, die momentan einzeln abgebildeten Datenebenen innerhalb von einem einzigen Datenfenster darzustellen, mit der Möglichkeit, diese ein- und auszuschalten.

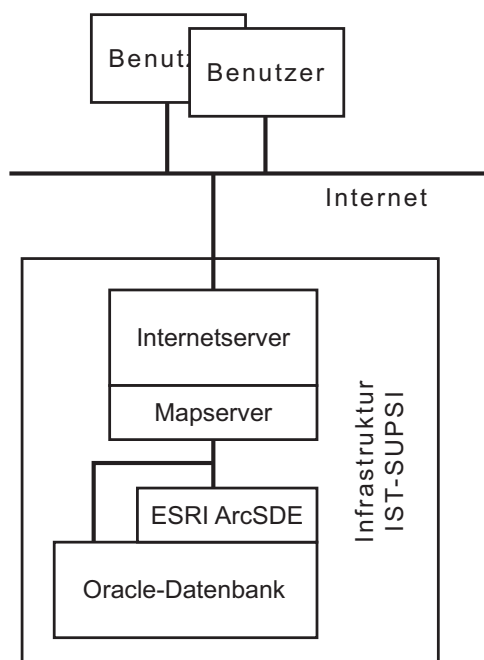
4.2. Internet

Diese Variante wurde ursprünglich als sekundär betrachtet. Während des Projektverlaufes gewann sie jedoch an Wichtigkeit, da das Internet als Vertriebsmedium bedeutend flexibler zu handhaben ist, als eine CD-ROM, speziell was die Darstellung und den Umgang mit kartografischen Daten angeht. Ein weiteres, ausschlaggebendes Argument war die periodisch nötige Aktualisierung der Daten, die mittels einer Internet-Lösung bedeutend einfacher und mit geringeren Kosten zu bewerkstelligen ist.

Es wurden einige Internet-Seiten hergestellt, wo sämtliche Informationen der CD-ROM, wenn auch mit etwas geringerer Auflösung dargestellt, vorhanden sind. Der definitive Internet-Link wird unter www.ist.supsi.ch installiert sein. Vor der eigentlichen Veröffentlichung ist die Applikation unter www.ist.supsi.ch/geotermia installiert.

4.2.1. Applikation

Die Internetapplikation erlaubt es dem Benutzer, die gesammelten kartografischen Daten zum Thema Geothermie zu betrachten und abzufragen. Anhang 1 zeigt ein Beispiel. Der Benutzer benötigt nur einen normalen Internetbrowser (z. B. Microsoft Internet Explorer, Netscape Navigator, Opera). Es sind keine Zusatz- oder Hilfsprogramme wie Plug-ins nötig.



Figur 5: Die informatische Infrastruktur hinter der Internetumsetzung des Projekts „Geothermische Karte Tessin“.

Der Benutzer kann sich auf dem Karteblatt frei bewegen, dieses vergrössern oder verkleinern und die Kartenebenen beliebig ein- und ausblenden. Zudem ist es möglich, die auf den Kartenebenen ersichtlichen Daten in reduziertem Umfang abzufragen.

Um die Urheberrechte der Daten zu schützen, ist es nicht möglich, die Grunddaten aus der Applikation zu extrahieren.

4.2.2. Datenstruktur

Die erarbeiteten Kartendaten wurden in die vorhandene Informatik-Struktur des IST-SUPSI integriert, wo sie mittels der folgenden GIS-Internet Publikationsinfrastruktur via Internet von Interessierten konsultiert werden kann. Die informatische Struktur, die hinter dem Projekt steht, kann folgendermassen kurz beschrieben werden (Figur 5):

- Als Internetserver wurde der Microsoft Internet Information Server gewählt. Eigentlich kann jeder Internetserver-Software verwendet werden. Als kostenloses Paket bietet sich hier auch der Internetserver Apache (www.apache.org) an.
- Als eigentliche Applikation, die vom Benutzer die Anfrage entgegen nimmt, diese bearbeitet und eine Antwort in Form einer Karte liefert, wurde Mapserver, Version 4.0.1 (mapserver.gis.umn.edu) gewählt. Es handelt sich dabei um eine kostenlose

Software (Opensource, www.opensource.org), die von einem Kernteam an der University von Minnesota (U.S.A.) und einer weltweiten Gemeinde entwickelt wird.

- Die geografischen Daten werden von verschiedenen Quellen aus dem IST-SUPSI internen Datenbanksystem bezogen. Daten, die eine häufige Aktualisierung durch das IST-SUPSI erfahren, werden einerseits direkt aus der ORACLE-Datenbank GESPOS oder via den Abstraktionslayer ArcSDE bezogen. Daten, die kaum aktualisiert werden müssen, wie z. B. die topografischen Grunddaten, sind direkt auf dem File-System abgelegt.

Die kartografischen Daten werden dem Benutzer so via Internet übermittelt, dass dieser ausser einem gewöhnlichen Internet-Browser keine spezielle Software, bzw. Plug-ins benötigt. Die gesamte Datenaufbereitung wird vom Server (server-side) übernommen und belastet somit nicht den lokalen Computer des Benutzers. Jede Anfrage eines Benutzers wird diesem mittels eines wenige hundert KB grossen Kartenbildes übermittelt. Dies entspricht einer Datenmenge, welche die Benutzung der Anwendung auch über relativ langsame Internetanschlüsse erlaubt.

5. Schlussfolgerungen

Mit dem Projekt konnten folgende Ziele erreicht werden:

- Erstellung von Geothermie-bezogenen Informationen die via CD-ROM und Internet einem weiteren Publikum zur Verfügung gestellt werden, um der Geothermie im Tessin eine besserer Verbreitung zu ermöglichen.
- Realisierung einer Internet-basierten Informationszentrale bezüglich Geothermie in der italienischen Schweiz.
- Weiterentwicklung des lokalen Know-hows an der Fachhochschule der Italienischen Schweiz (SUPSI) in erster Linie bezüglich Geothermie, in zweiter Linie im Bereich Internet-Publishing von geografischen Daten.
- Die Ergebnisse des Projektes konnten bereits anlässlich einer Lehrveranstaltung bezüglich Geothermie im Frühjahr 2003 an der Fachhochschule SUPSI verwendet werden.

6. Ausblick

Zum Zeitpunkt des Projektabschlusses bleiben noch einige Fragen offen. Diese müssen im Anschluss an das Projekt analysiert und gelöst werden. Es handelt sich dabei v. a. um Fragen der Wartung der Daten, technische Probleme im Zusammenhang mit entwickelter Apparatur und um die Veröffentlichung der Resultate des Projektes:

- Erste Benutzererfahrungen werden die Tauglichkeit der Lösung aufzeigen. Eventuelle Modifikationen an den Daten, deren Darstellung und Struktur, können mit geringem Aufwand vorgenommen werden.
- Die Probleme mit dem hergestellten, aber nicht im Projekt verwendeten Plattenmessgerät zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit müssen genauer untersucht werden. Es besteht ein über das Projekt hinaus gehendes Interesse an der Nutzung des Geräts, da es sich prinzipiell auch zur Messung der

Wärmeleitfähigkeit anderer, fester Materialien eignet, die v. a. in der Baubranche Verwendung finden.

- Die Publikation der Projektergebnisse muss noch bewerkstelligt werden. Es sind drei Themenschwerpunkte vorgesehen:
 - Wissenschaftliche Ergebnisse. Die thermischen Gesteinsdaten sollen in einer kürzeren Publikation im Jahr 2004 einem wissenschaftlichen Publikum zur Verfügung gestellt werden.
 - Publikation in Fachzeitschriften: Einige Artikel in lokalen Fachzeitschriften im Frühjahr 2004 sollen Planer und Interessierte (Architekten, Ingenieure, Installateure) auf die Projektergebnisse hinweisen.
 - Verbreitung der erarbeiteten Informationen. Die Informationen sollen einem breiteren Publikum in Zeitungsartikeln in der lokalen Presse näher gebracht werden. Bereits fest geplant sind 2 Lehr- und Informationsveranstaltungen im ersten Halbjahr 2004 zum Thema Geothermie an der Berufsschule Mendrisio und der Fachhochschule SUPSI.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (1994): Wassergefährdende Flüssigkeiten – Wegleitung für die Wärmenutzung von geschlossenen Erdwärmesonden. Vollzug Umwelt.
- [2] Grundlagen zur Nutzung der untiefen Erdwärme für Heizsysteme. Serie „Planung, Energie und Gebäude“. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein SIA. SIA-Dokumentation D 0136. 1996.
- [3] Kaltschmitt, M., Huenges, E. & Wolff, H. (1999): Energie aus Erdwärme. Geologie, Technik und Energiewirtschaft. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart. ISBN 3-342-00685-4.
- [4] Karte der Vorkommen mineralischer Rohstoffe der Schweiz, Blatt Tessin-Uri. Schweizerische Geotechnische Kommission, 1990.
- [5] Geothermal map of Switzerland 1995 (Heat flow density). Medici F. & Rybach L. Matériaux pour la Géologie de la Suisse. Géophysique Nr. 30.
- [6] Archivierung und Kompilation geothermischer Daten der Schweiz und angrenzender Gebiete. Schärli U. & Kohl T. (2002). Beiträge zur Geologie der Schweiz. Geophysik Nr. 36.
- [7] Thermische Messungen an Tessiner Gneis. Dr. U. Schärli. Bericht EWS-M 160. 2001.
- [8] Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Tessiner Gesteinen, Dr. U. Schärli. Bericht Nr. WLF-205. 2003.
- [9] Grubbe K., Celle R., Haenel R. & Toth G., (1983): Determination of the vertical component of thermal conductivity by line source methods. Zbl. Geol. Paläont. Teil I, H. 1/2, S. 49-56.
- [10] Pribnow D. (1994): Ein Vergleich von Bestimmungsmethoden der Wärmeleitfähigkeit unter Berücksichtigung von Gesteinsgefügen und Anisotropie. Fortschr.-Ber., VDI Reihe 19 Nr. 75. Düsseldorf, VDI-Verlag, 118 Seiten.
- [11] Schärli, U. & Rybach, L. (1982): On the thermal conductivity of low-porosity crystalline rocks. Tectonophysics, 103, 307-313.
- [12] Schärli U. & Rybach L. (2001): Determination of specific heat capacity on rock fragments. Geothermics 30, p. 93-110.
- [13] Thermische Nutzung des Untergrundes. VDI-Richtlinie 4610, Blatt 1, 2, 3, 4.
- [14] Erdwärmennutzung – Planung und Berechnung von Anlagen. Weiterbildungskurs Nr. 206. HTA Luzern. 2003.
- [15] Carta delle acque sotterranee del Ticino. Istituto geologico ed idrogeologico cantonale. Cadenazzo. 1980.

- [16] Carta idrogeologica del Canton Ticino 1:25'000. Foglio Mendrisio, Lugano, Tessere, Bellinzona, Locarno. Istituto geologico ed idrogeologico cantonale. Cadenazzo.
- [17] GESPOS: Gestione Pozzi, Sorgenti e Sondaggi. Banca dati dell'Istituto Scienze della Terra–SUPSI. Canobbio.
- [18] Carta dei settori e delle zone di protezione delle acque 1:50'000. Foglio Mendrisio, Monte Ceneri, Onsernone, Biasca, Valle Maggia, Lucomagno, Val Bedretto.
- [19] Geothermie. Praktische Nutzung von Erdwärme. Leitfaden für Planer, Bauherrschaften, Investoren und Entscheidungsträger. Bundesamt für Energie. Juni 1998.
- [20] Geothermische Karte Tessin. Zwischenbericht Oktober 2001. Bundesamt für Energie. M. Thüning.

Anhang

Anhang 1: Beispielhafte Abbildung der Internetapplikation

Anhang 2: Beispielhafte Ausschnitte aus den Kartenebenen der Internetanwendung „Geothermischen Karte“ (Region Lugano)

Anhang 3: Wärmeleitfähigkeit von Tessiner Gesteinen

Anhang 4: Wärmeleitfähigkeitsbereiche für verschiedene Lithologien

Anhang 5: Wärmekapazitäten von Tessiner Gesteinen

Anhang 1: Beispielhafte Abbildung der Internetapplikation

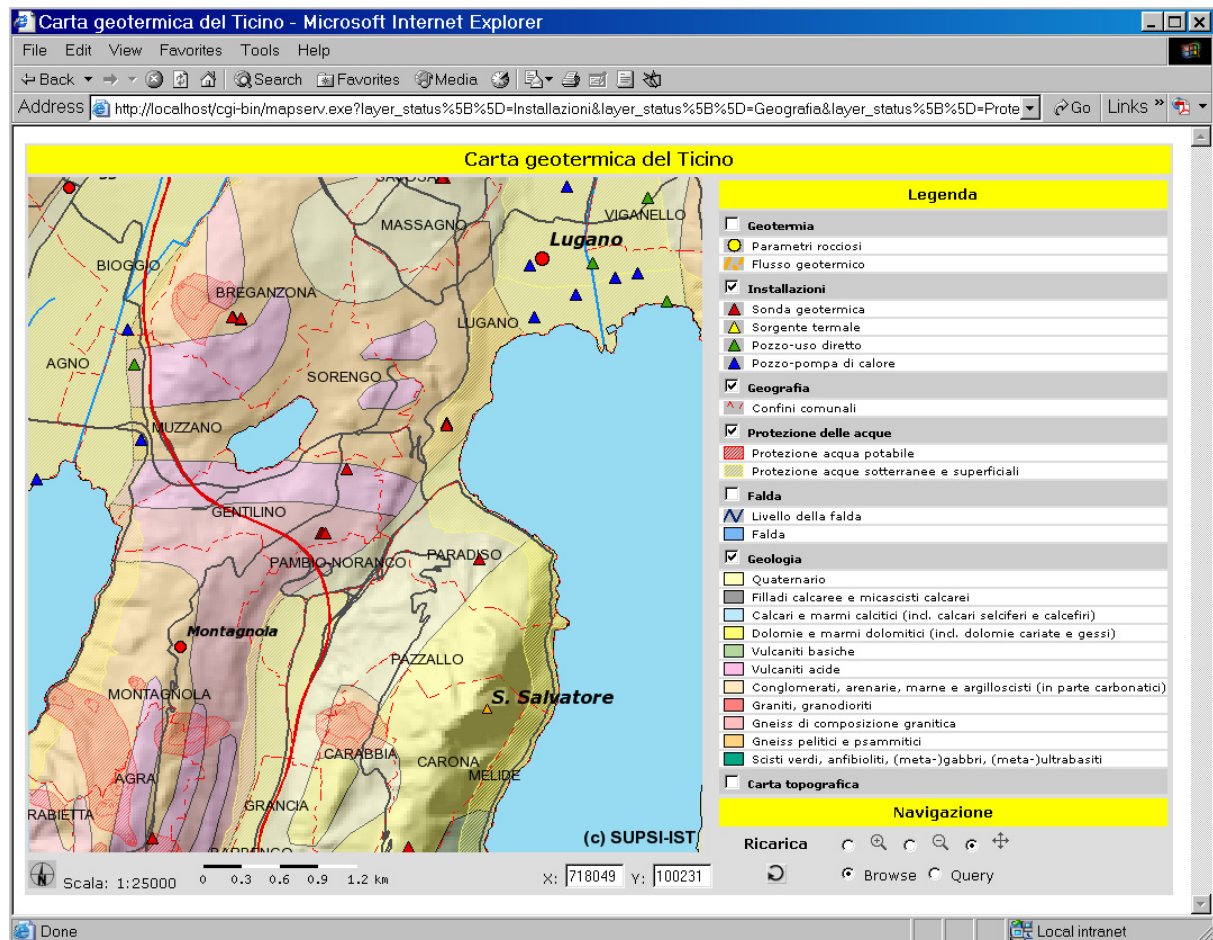
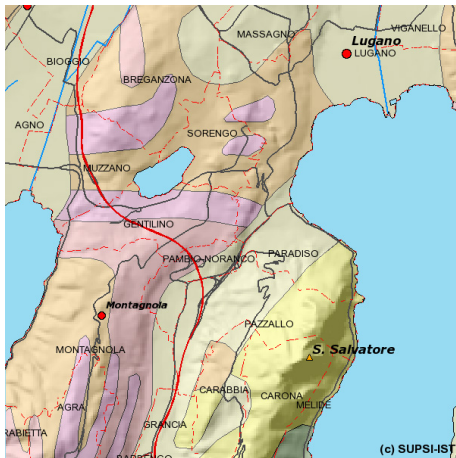
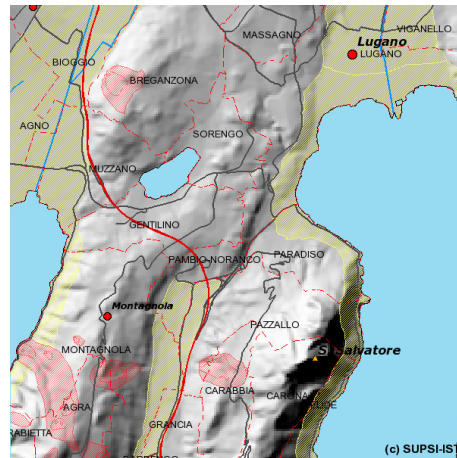


Abbildung der Internetapplikation: Ausschnitt der Region Lugano. Im Datenfenster links zu sehen ist die Geologische Übersicht auf digitalem Höhenmodell (mit Seen, Flüssen, Strassen, Gemeindegrenzen, etc.) sowie die bestehenden geothermischen Installationen und die Gewässerschutzkarte. Rechts zu sehen ist die Legende, welche die Auswahl der gewünschten Datenanzeige erlaubt. Die Statusleiste unten links zeigt die Daten der aktuellen Anzeige an: Massstab, Skala und Koordinaten. Die Cursor-Tasten rechts unten erlauben es dem Benutzer, sich auf der Karte zu bewegen (Browse) und sie zu vergrössern, bzw. zu verkleinern (+/-). Es ist auch möglich, die Metadaten der angezeigten Karteninformationen abzufragen (Query).

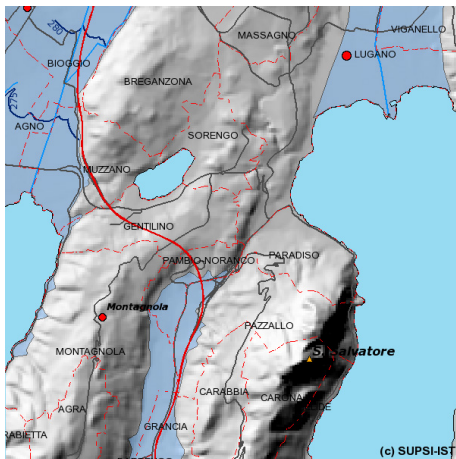
Anhang 2: Beispielhafte Ausschnitte aus den Kartenebenen der Internetanwendung „Geothermischen Karte“ (Region Lugano)



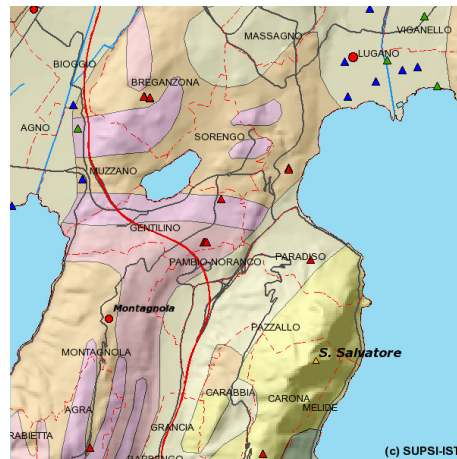
Geologische Übersichtskarte



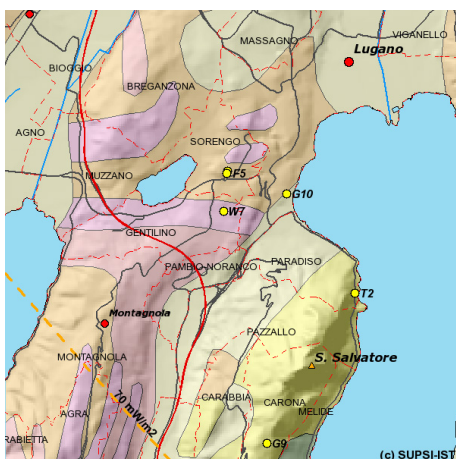
Gewässerschutzzone



Grundwasserkarte mit Isolinien



Geothermische Installationen



Thermische Gesteinsparameter



Topografische Karte

Geländedaten: Digitales Höhenmodell, topografische Karte 1:100'000.

Anhang 3: Wärmeleitfähigkeit von Tessiner Gesteinen

Isotrope Proben

Probe	Gesteinstyp	gesättigt			trocken		
		λ_f	$\sigma_{\lambda f}$	Nf	λ_t	$\sigma_{\lambda t}$	Nt
		W/m·K	W/m·K		W/m·K	W/m·K	
B1	Amphibolith/Gabbro	2.20	0.08	9			
G9 01	Dolomit	4.74	0.08	7			
G4	Dolomit	4.84	0.07	10	4.37	0.12	4
T2	Dolomit	4.46	0.10	3			
G6	Ignimbrit	2.65	0.09	4			
G13 01	Ignimbrit	2.79	0.03	10	2.57	0.16	10
G13 03	Ignimbrit	2.77	0.02	7			
T1	Kieselkalk	3.75	0.09	16			
G12 02	Kieselkalk	3.46	0.08	11	3.00	0.04	8
G17 01	Bernardo-Gneis	3.49	0.12	8	2.82	0.18	6
G17 02	Bernardo-Gneis	3.47	0.17	10			
G10 02	Stabiello-Gneis	4.77	0.11	10			
G10 01	Stabiello-Gneis	4.52	0.08	10			
G5	Quarzporphyr	3.23	0.05	8	3.06	0.10	6
W6	Paragneis	2.75	0.06	6			
F1	Kalksilikatfels	2.82	0.11	8			
F2	Peccia Marmor	2.77	0.09	9			
F3	Kalk	2.80	0.09	9			

Anisotrope Proben

Probe	Gesteinstyp	λ_{sgf}	$s\lambda_{sg}$	Nsgf	λ_{sf}	$s\lambda_{sf}$	λ_{pf}	$s\lambda_{pf}$	Npf	Af
		W/m·K	W/m·K		W/m·K	W/m·K	W/m·K	W/m·K		
G1	Orthogneis	2.98	0.26	9	2.68	0.21	3.34	0.05	9	1.26
	ditto trocken	2.38	0.05	8	2.02	0.30	2.83	0.14	9	1.46
W1	Orthogneis	2.84	0.05	6	2.49	0.04	3.25	0.08	6	1.14
W2	Orthogneis	2.30	0.03	6	1.82	0.03	2.91	0.06	6	1.27
W3	Paragneis	2.86	0.10	5	2.38	0.09	3.44	0.23	5	1.20
W4	Paragneis	2.83	0.03	4	2.21	0.02	3.61	0.15	6	1.28
W5	Paragneis	2.74	0.18	6	2.49	0.16	3.01	0.16	6	1.10
W7	Stabiello-Gneis	2.84	0.13	6	2.16	0.10	3.75	0.21	4	1.32
F4	Stabiello-Gneis	3.49	0.48	6	3.04	0.42	4.01	0.32	6	1.15
	ditto, trocken	2.78	0.46	6	2.36	0.39	3.27	0.63	6	1.18
F5	Metabasit	1.88	0.06	5	1.50	0.05	2.35	0.05	6	1.25
	ditto trocken	1.64	0.07	6	1.37	0.06	1.95	0.18	6	1.19

Abkürzungen

- λ Wärmeleitfähigkeit
- $s\lambda$ Standardabweichung vom Mittelwert der Wärmeleitfähigkeit
- N Anzahl Messungen
- p Wärmeleitfähigkeit parallel zur Schichtung
- sg Wärmeleitfähigkeit senkrecht und parallel zur Schichtung (Linienquelle parallel Schieferung)
- s Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Schichtung/Schieferung
- f wassergesättigt, t trocken, Af Anisotropie der Wärmeleitfähigkeit

Anhang 4: Wärmeleitfähigkeitsbereiche für verschiedene Lithologien

Die aufgeführten Werte beziehen sich auf wassergesättigte Verhältnisse.

Gesteinstyp	λ_f		λ_{sf}		λ_{pf}		A_f	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Dolomit (3)	4.46	4.85						
Kieslkalk (2)	3.46	3.75						
Bernardo-Gneis (2)	3.47	3.49						
Orthogneis Ceneri/Miagga (2)	2.30	2.84	1.82	2.49	2.91	3.25	1.14	1.27
Metabasite (2)	1.88	2.20	1.50		2.35		1.25	
Kalk/Marmor (3)	2.77	2.82						
Stabiello-Gneis (4)	2.84	4.77	2.16	3.04	3.75	4.01	1.15	1.35
Paragneis Wurzelzone/Maggiatal (4)	2.74	2.86	2.21	2.49	3.01	3.61	1.10	1.20
Ignimbrit (3)	2.65	2.79						
Quarzporphyr (1)	3.23							

Abkürzungen

- λ Wärmeleitfähigkeit in W/m·K
- p Wärmeleitfähigkeit parallel zur Schichtung
- s Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Schichtung
- f wassergesättigt
- A_λ Anisotropie der Wärmeleitfähigkeit von wassergesättigten Gesteinen

Anhang 5: Wärmekapazitäten von Tessiner Gesteinen.

Probe	Probenbezeichnung	Wärmeleitfähigkeit [J/kg·K]	Fehler ± [J/kg·K]
B1	Amphibolith/Gabbro	756.7	20.1
F1	Kalksilikatfels	739.0	43.1
F2	Peccia Marmor	834.6	6.9
F3	Kalk	839.5	3.8
F4	Stabiello-Gneis	820.7	8.2
F5	Metabasit	843.1	5.5
G1	Orthogneis	753.1	11.3
G10	Stabiello-Gneis	726.6	40.7
G12	Kieselkalk	797.8	12.1
G4	Dolomit	845.4	36.1
G5	Quarzporphyr	735.8	24.6
G6	Ignimbrit	799.5	31.1
G9	Dolomit	841.9	21.3
T1	Kieselkalk	844.7	4.4
T2	Dolomit	891.1	9.5
W1	Orthogneis	806.1	16.5
W2	Orthogneis	783.7	16.9
W3	Paragneis	781.1	25.6
W4	Paragneis	802.2	19.7
W5	Paragneis	777.4	10.4
W6	Paragneis	775.1	10.3
W7	Stabiello-Gneis	800.4	11.8