

AMT FÜR UMWELTSCHUTZ DES KANTONS URI
AMT FÜR ENERGIE DES KANTONS URI

WÄRMENUTZUNGSKONZEPT KANTON URI

Altdorf, den 23. Mai 2017

Impressum

Bearbeitung	A. Lüthold, Amt für Umweltschutz A. Imhof, Amt für Umweltschutz L. Jaun, Amt für Umweltschutz
Fachtechnische Unterstützung	M. Hess, CSD Ingenieure AG, Altdorf S. Walker, CSD Ingenieure AG, Altdorf
Herausgeber/Bezug	Amt für Umweltschutz, Kanton Uri
Kontakt	Amt für Umweltschutz Klausenstrasse 4 6460 Altdorf afu@uri.ch www.ur.ch/afu 041 875 24 30
Aktuelle Ausgabe	Version 1.1, 23. Mai 2017

INHALTSVERZEICHNIS

IMPRESSUM	1
1. EINLEITUNG	1
1.1 Einführung	1
1.2 Grundlagen	2
1.2.1 Gesetzliche Grundlagen auf Bundesebene	2
1.2.2 Gesetzliche Grundlagen auf kantonaler Ebene	3
1.2.3 Weitere Grundlagen	3
1.3 Ziel des Wärmenutzungskonzepts	3
1.4 Gültigkeit	4
1.5 Vorgehen	4
1.6 Anforderungen Nutzungs- und Risikokatalog	5
2. ALLGEMEINE BEMERKUNGEN ZU DEN WÄRMENUTZUNGSSYSTEMEN	7
2.1 Erdwärmesonden (EWS)	7
2.2 Nutzung von Grundwasser	9
2.3 Energiepfahlanlagen	10
2.4 Erdwärmekollektoren (Erdregister, Wärmekörbe, etc.)	10
3. HYDROGEOLOGISCHE REGIMES UND IHR NUTZUNGSPOTENZIAL	12
3.1 Regime I: Fluvioglaziale Bach- und Flussschotter	12
3.1.1 Allgemeines	12
3.1.2 Empfohlene Rechenwerte	13
3.1.3 Nutzungspotenzial	14
3.2 Regime II: Bachschuttablagerungen	14
3.2.1 Allgemeines	14
3.2.2 Empfohlene Rechenwerte	14
3.2.3 Nutzungspotenzial	16
3.3 Regime III: Moräne	16
3.3.1 Allgemeines	16
3.3.2 Empfohlene Rechenwerte	16
3.3.3 Nutzungspotenzial	17
3.4 Regime IV: Deltaablagerungen, Überschwemmungssedimente	17
3.4.1 Allgemeines	17
3.4.2 Empfohlene Rechenwerte	17
3.4.3 Nutzungspotenzial	18
3.5 Regime V: Verlandungs- und Seeufersedimente / Stillwasser- und Seebodensedimente	19
3.5.1 Allgemeines	19
3.5.2 Empfohlene Rechenwerte	19
3.5.3 Nutzungspotenzial	20
3.6 Regime VI: Karstgebiete	20

3.6.1	Allgemeines	20
3.6.2	Empfohlene Rechenwerte	21
3.6.3	Nutzungspotenzial	22
3.7	Regime VII: Quellfähige Felsgesteine	22
3.7.1	Allgemeines	22
3.7.2	Empfohlene Rechenwerte	22
3.7.3	Nutzungspotenzial	23
3.8	Regime VIII: Übrige Felsgesteine	23
3.8.1	Allgemeines	23
3.8.2	Energetische Kennwerte	23
3.8.3	Nutzungspotenzial	24
3.9	Regime IX: Oberflächengewässer	24
3.10	Regime X: Deckschichten, rezente Sturz- und Rutschgebiete, künstliche Auffüllungen, belastete Standorte, Grundwasserschutzzonen	24
4.	NUTZUNGSKATALOG DER HYDROGEOLOGISCHEN REGIMES	26
5.	ERDWÄRMESONDEN IM KANTON URI	29
5.1	Potenzial im Kanton Uri	29
5.2	Gefährdungsbilder	30
5.2.1	Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten	30
5.2.2	Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke und Wasserwegsamkeiten	30
5.2.3	Unvollständige Hinterfüllung	31
5.2.4	Starker Wasserzutritt	31
5.2.5	Thermische Auswirkung auf Grundwasser	31
5.2.6	Hydraulischer Grundbruch	32
5.2.7	Arteser	32
5.2.8	Stahlrohrverlust	32
5.2.9	Quetschung der Erdwärmesonde	33
5.2.10	Gaszutritt	33
5.2.11	Kantige Bohrlochwände	33
5.2.12	Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten	34
5.2.13	Hohlräume	34
5.2.14	Hebungen oder Senkungen an der Oberfläche	34
5.3	Risikokatalog für Regimes des Kantons Uri	35
5.4	Potenzial und Gefahren von Erdwärmesonden im Kanton Uri	36
5.5	Bewilligungsverfahren	37
5.6	Allgemeine und spezielle Auflagen	38
6.	NUTZUNG VON GRUNDWASSER IM KANTON URI	39
6.1	Potenzial im Kanton Uri	39
6.2	Gefährdungsbilder	39
6.2.1	Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten	39
6.2.2	Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke	40
6.2.3	Thermische Auswirkung auf Grundwasser	40

6.2.4	Hydraulischer Grundbruch	41
6.2.5	Arteser	41
6.2.6	Vorzeitige Alterung des Brunnens durch Ausfällungen	42
6.2.7	Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten	42
6.3	Risikokatalog	42
6.4	Potenzial und Gefahren von Grundwasserwärmepumpen im Kanton Uri	44
6.5	Bewilligungsverfahren	45
6.6	Auflagen	45
7.	WÄRMENUTZUNGSKARTE KANTON URI – ERLÄUTERUNGEN ZU GIS-DATEN	46
8.	WEITERE WÄRMENUTZUNGSSYSTEME	48
8.1	Oberflächengewässer (See- und Fließgewässer)	48
8.2	Tunnelsickerwasser	49
8.3	Mitteltiefe Erdwärmesonden (ab 400 m Bohrtiefe)	49
9.	PRAXISHILFEN	51
9.1	Planungshilfe für die Bauherrschaft (Entscheidungsbaum)	51
9.2	Prozessdiagramm Bewilligungsverfahren	52
9.3	Pflichtenheft Bohrunternehmung	52
9.4	Pflichtenheft geologische Begleitung	53
10.	SYNTHESE UND AUSBLICK	54

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3-1:	Empfohlene Rechenwerte Regime I: fluvioglaziale Bach- und Flussschotter. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri.	13
Tabelle 3-2:	Empfohlene Rechenwerte Regime II: Bachschuttablagerungen. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri.	15
Tabelle 3-3:	Empfohlene Rechenwerte Regime III: Moränen. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri.	16
Tabelle 3-4:	Empfohlene Rechenwerte Regime IV: Deltaablagerungen, Überschwemmungssedimente. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri.	18
Tabelle 3-5:	Empfohlene Rechenwerte Regime IV: Deltaablagerungen, Überschwemmungssedimente. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri.	20
Tabelle 3-6:	Empfohlene Rechenwerte Regime VI: Karstgebiete. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri.	21
Tabelle 3-7:	Empfohlene Rechenwerte Regime VII: Quellfähige Felsgesteine. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri.	22
Tabelle 3-8:	Empfohlene Rechenwerte Regime VIII: übrige Felsgesteine. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri	23
Tabelle 4-1:	Priorität der Parameter zur Bestimmung des Wärmenutzungspotenzials für die jeweiligen Nutzungssysteme.	27
Tabelle 7-1:	Datenmodell Polygon-Feature-Class Wärmenutzungskarte Uri	47
Tabelle 7-2:	Datenquellen für das Datenmodell	47

ANHANGVERZEICHNIS

Anhang A	Nutzungskatalog Wärmenutzungssysteme	55
Anhang B	Risikokatalog Erdwärmesonden	56
Anhang C	Risikokatalog Grundwasserwärmepumpen	57
Anhang D	Allgemeine Auflagen Erdwärmesondenbohrungen	58
Anhang E	Spezielle Auflagen Erdwärmesondenbohrungen	59
Anhang F	Allgemeine Auflagen Bohrungen zur Grundwassernutzung	60
Anhang G	Entscheidungsbaum Wärmenutzungssystem	61
Anhang H	Schema Bewilligungsverfahren	62
Anhang I	Pflichtenheft Bohrunternehmung	63
Anhang J	Pflichtenheft Geologiebüro	64

1. Einleitung

1.1 Einführung

Die Energiegewinnung aus erneuerbaren Energiequellen ist ein wichtiger Bestandteil der schweizerischen Energie- und Umweltpolitik und erlangt auch bei der Bevölkerung immer grösseres Interesse. Um diese Stossrichtung noch weiter zu verstärken, hat der Bundesrat im Rahmen der Energiestrategie 2050 in einem ersten Massnahmenpaket beschlossen, dass die Potenziale der Wasserkraft sowie der neuen erneuerbaren Energien wie Sonne, Wind, Biomasse und Geothermie auszuschöpfen sind (siehe dazu Informationen auf <http://www.bfe.admin.ch/energiestrategie2050>).

Der Kanton Uri leistet einen wesentlichen Beitrag zur angestrebten Energiewende und fördert die Erhöhung der Energieeffizienz beim Verbraucher und die Nutzung von erneuerbaren Energien, wie zum Beispiel Wasserkraft, Grundwasserwärmepumpen oder Erdwärmesonden. Das Kantonsgebiet verfügt vor allem dank seinem Grundwasserwasservorkommen über fast unbeschränkte natürliche Ressourcen zur Erzeugung und Nutzung von thermischer Energie zu Heiz- oder Kühlzwecken und setzt dies um mit einer toleranten Bewilligungspraxis. So ist es im Urner Siedlungsgebiet weitgehend erlaubt, mit den entsprechenden Vorsichtsmassnahmen auch innerhalb der mächtigen nutzbaren Grundwasserträger Erdwärmesonden- und Grundwasserbohrungen abzuteufen.

Der vorliegende Bericht befasst sich mit der Geothermie bzw. mit der Wärmenutzung aus dem Untergrund im Kanton Uri. Mit Untergrund wird üblicherweise der Bereich unter der festen Erdoberfläche bezeichnet. Im vorliegenden Wärmenutzungskonzept wird zusätzlich in reduziertem Umfang auch der Bereich Oberflächengewässer behandelt.

Mit Erdwärme bezeichnet man die unterhalb der festen Erdoberfläche gespeicherte Wärmeenergie. Ziel der Geothermie ist es, diese Wärmeenergie mit geeigneten Methoden an die Oberfläche bringen und nutzen zu können. Der Begriff „Wärmenutzung“ beinhaltet im Folgenden stets auch die „Kältenutzung“, also der Wärmeenergieeintrag in den Untergrund zu Kühlzwecken eines Gebäudes.

Das Wärmenutzungskonzept ist gedacht als Entscheidungshilfe für Bauherren, Planer und Architekten zur Wahl eines geeigneten Wärmenutzungssystems für ihr Bauvorhaben sowie als Planungshilfe bei der Realisierung. Für die Behörden dient es ausserdem als Entscheidungsgrundlage für die Bewilligungserteilung und einer entsprechenden Zulässigkeitskarte.

Im Kanton Uri sind in den vergangenen Jahrzehnten bereits zahlreiche Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen installiert worden. Die Nachfrage nach diesen erneuerbaren Energiequellen ist auch heute noch hoch.

Der Untergrund inklusive Grundwasser besitzt ein grosses Potenzial als umweltschonender und nachhaltiger Wärme- und als Kältelieferant. Deshalb wird diese Energiequelle grundsätzlich staatlich gefördert. Da sie gleichzeitig auch eine Gefahr für Grund- und Trinkwasser darstellt, hat dessen Schutz bei sämtlichen Bewilligungs- und Konzessionsverfahren nach wie vor oberste Priorität.

Vorliegender Bericht beschreibt Nutzungsmöglichkeiten und Gefahren der wichtigsten Wärmenutzungssysteme auf Basis erneuerbarer Energie aus dem Untergrund innerhalb des Kantons Uri und trägt dabei energie- sowie umwelttechnischen Ansprüchen Rechnung.

Der Fokus liegt auf der sogenannten untiefen (oder oberflächennahen) Geothermie, welche im Wesentlichen folgende Nutzungsarten beinhaltet:

- Heizen mit erdgekoppelten Wärmepumpenanlagen
- Kühlen mit erdgekoppelten Kältemaschinen
- Direkte thermische Nutzung zum Heizen bzw. Vorwärmen

- Direkte thermische Nutzung zum Kühlen (freecooling)
- Unterirdische thermische Energiespeicher

Mit „Erdwärme“ oder „geothermischer Energie“ wird die im Untergrund vorhandene Wärmeenergie bezeichnet. Ihr Ursprung ist einerseits der stete Wärmefluss aus heisseren Zonen des Erdinnern sowie aus radioaktivem Zerfall. Darüber hinaus wird dem Untergrund aber auch konstant Energie von oben durch Sonneneinstrahlung, Versickerung von Regenwasser usw. zugeführt. Ab ca. 10 m Tiefe ist die Temperatur über das Jahr hinweg nahezu konstant und steigt mit der Tiefe um ca. 3°C pro 100 m an.

Der Temperaturbereich in welchen sich die Wärmenutzungssysteme (z.B. Erdwärmesonden oder Grundwasserwärmepumpen) befinden, ist somit in der Regel für die direkte Heizung zu gering. Deshalb werden sie mit Wärmepumpen gekoppelt, welche die Temperatur auf das entsprechende Niveau anheben. Eine Ausnahme dazu bilden die sogenannten mitteltiefen und tiefen Erdwärmesonden, welche bei Temperaturen von 30°C und höher auch zur Direktheizung genutzt werden können.

Umgekehrt können die Wärmenutzungssysteme der oberflächennahen Geothermie häufig zur direkten Kühlung von Gebäuden (ohne Kältemaschine) genutzt werden. Darüber hinaus kann das Erdreich als Energiespeicher genutzt werden, z.B. als Senke für Abwärme oder als saisonaler Speicher durch Kühlen im Sommer und Heizen im Winter.

Das Prinzip ist jeweils das Gleiche: Im Heizfall wird die in der Erde oder im Wasser gespeicherte Energie der Wärmepumpe zugeführt, welche letztlich die Temperatur auf das gewünschte Niveau bringt. Im Kühlfall ist der Prozess genau umgekehrt.

Der vorliegende Bericht bezieht sich ausschliesslich auf den erdseitigen Teil der Wärmenutzungsanlage, also auf die Wärmequelle. Nicht berücksichtigt werden Aspekte der Wärmepumpe und der Wärmeverteilung im Gebäude.

In einer zweiten Phase wurde dann auf Basis dieses Wärmenutzungskonzepts eine geografische Ausscheidung von Zulässigkeitsbereichen vorgenommen und sowohl für Erdwärmesonden wie auch für Grundwasserwärmepumpen kartographisch dargestellt.

1.2 Grundlagen

Folgende Grundlagen wurden für das vorliegende Wärmenutzungskonzept verwendet:

1.2.1 Gesetzliche Grundlagen auf Bundesebene

- Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999 (BV, SR 101)
- Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 07. Oktober 1983 (USG, SR 814.01)
- Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991 (GSchG, SR 814.20)
- Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201)
- Wegleitung Grundwasserschutz (BUWAL, 2004)
- Vollzugshilfe Wärmenutzung aus Boden und Untergrund (BAFU, 2009)
- Bestimmungen der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung vom 18. Mai 2005 (ChemRRV, SR 814.81)

1.2.2 Gesetzliche Grundlagen auf kantonaler Ebene

- Gewässernutzungsgesetz vom 16. Februar 1992 (GNG, RB 40.4101)
- Gewässernutzungsverordnung vom 11. November 1992 (GNV, RB 40.4105)
- Aktualisierung der Gewässerschutzkarte vom Februar 2014
- ZUDK-Merkblatt über die Entwässerung von Baustellen vom Februar 2001
- ZUDK-Merkblatt über Bohrschlamm und Abwasser aus Erdwärmesonden-Bohrungen vom Mai 2013

1.2.3 Weitere Grundlagen

- Energiestrategie 2050 des Bundes
- Wärmepumpenkonzept des Kantons Uri von 1987 / 1992
- Abklärung der grundsätzlichen Machbarkeit von Erdwärmesonden im Urner Grundwassergebiet, Dr. P. Angehrn, 1998
- Gesamtenergiestrategie des Kantons Uri vom 30. September 2008
- Aktualisierte Gesamtenergiestrategie des Kantons Uri vom 30. September 2013
- Bewilligungsverfahren für Erdsonden und Grundwassernutzung des Kantons Uri vom 4. September 2014
- Planungs- und Baugesetz des Kantons Uri vom 13. Juni 2010 (PBG, RB 40.1111)
- SIA Norm 384/6 für Erdwärmesonden vom 1. Januar 2010
- SIA Norm 384/7 für Grundwasserwärmenutzung vom 1. April 2015
- Wärmepumpenkataster des Kantons Uri
- Merkblatt der Zentralschweizer Umweltfachstellen: Bohrschlamm und Abwasser aus Erdwärmesonden-Bohrungen
- EAWAG 2014: Potenzial zur Wärme- und Kühlenergienutzung aus dem Vierwaldstättersee
- CSD 2015: Qualitätssicherung Erdwärmesonde. Schlussbericht im Auftrag vom Bundesamt für Energie Schweiz.
- Geologie des Kantons Uri. Berichte der Naturforschenden Gesellschaft Uri. 2011.
- Eberhard & Partner AG 2010: Tiefen-EWS Oftringen (706 m): Direktheizen mit einer 40 mm-2-Kreis PE-Tiefen-Erdwärmesonde. Schlussbericht im Auftrag vom Bundesamt für Energie Schweiz.

1.3 Ziel des Wärmenutzungskonzepts

Das Ziel ist die Erarbeitung eines Wärmenutzungskonzepts für den Kanton Uri in Form eines Dossiers. Es dient Behörden, Planern und Bauherren als Planungs- und Entscheidungshilfe bei der Beurteilung von Energieversorgungsmöglichkeiten aus dem Untergrund.

Folgende zentrale Ziele stehen dabei im Fokus:

- Das technische Nutzungspotenzial von Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen, Energiepfahlanlagen und Erdwärmekollektoren generell abzuschätzen und mit Kennwerten zu versehen.

- Die Grundlagen für eine fachgerechte Planung und Umsetzung von Geothermieprojekten zu schaffen.
- Die Wärmenutzung mittels Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen im Kanton Uri unter Berücksichtigung umweltschutztechnischer Grenzen zeitgemäss zu regeln und somit den zuständigen Behörden eine Basis für das Genehmigungsverfahren zu geben.
- Allgemeine und spezielle Auflagen für Bohrung und Ausbau von Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen in Form von Merkblättern zu erstellen.
- Empfehlungen zur Zulässigkeit von Energiepfahlanlagen und Erdwärmekollektoren zu liefern.
- Planungshilfen und Informationen zum Bewilligungsverfahren für die Bauherrschaft bereit zu stellen, welche sich für die Wärmeerzeugung mittels erneuerbarer Energien interessiert. Dies beinhaltet zudem je ein Übersichtsblatt über die Abwicklung von Geothermie-Projekten (Entscheidungsbaum) und des Bohrbewilligungs- und Konzessionsverfahrens.
- Die Zuständigkeiten bei Geothermie-Projekten zu regeln, insbesondere durch Erstellen je eines Pflichtenhefts für die Bohrunternehmung und für das begleitende Geologiebüro.
- Allgemeine Beschreibung der Wärmenutzungsmöglichkeiten aus Oberflächengewässern und Tunnelsickerwasser sowie durch mitteltiefe Erdwärmesonden.

1.4 Gültigkeit

Das vorliegende Wärmenutzungskonzept beschränkt sich auf das Kantonsgebiet Uri und auf die Nutzung des Untergrunds zu Heiz- und Kühlzwecken. Mit Untergrund ist im Rahmen dieses Konzepts der gesamte Bereich unterhalb OK Terrain inkl. Grundwasser und Oberflächengewässer gemeint. Als Wärmenutzungssysteme werden ausschliesslich und in unterschiedlichem Umfang Erdwärmesonden (untiefe und mitteltiefe), Erdwärmekollektoren, Energiepfahlanlagen, die Nutzung von Grundwasser, die Nutzung von Oberflächengewässern sowie die Nutzung von Tunnelsickerwasser berücksichtigt.

Sämtlichen Ausführungen innerhalb dieses Konzepts liegt der aktuelle Stand von Forschung und Technik zugrunde. Änderungen oder Anpassungen bleiben vorbehalten.

1.5 Vorgehen

Nach einleitenden Bemerkungen (Kapitel 1) und allgemeinen Bemerkungen zu den betrachteten Wärmenutzungssystemen (Kapitel 2), werden aus den bereits bestehenden Grundlagen in einem ersten Schritt zehn verschiedene hydrogeologische Regimes definiert (Kapitel 3). Ein hydrogeologisches Regime bezeichnet dabei eine geologische Einheit innerhalb des Kantons Uri, welche mindestens eine der folgenden Kriterien erfüllt:

- Das Potenzial hinsichtlich Nutzung von Erdwärme oder Grundwasser unterscheidet sich signifikant von den anderen geologischen Einheiten.
- Die möglichen Gefährdungsbilder für Mensch und Umwelt während des Erstellens oder während des Betriebs des Nutzungssystems unterscheiden sich signifikant von den anderen geologischen Einheiten.

- Aufgrund ihrer Verbreitung innerhalb des Kantons Uri ist diese geologische Einheit relevant hinsichtlich Nutzung mittels Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen, Energiepfahlanlagen oder Erdwärmekollektoren.

Regimes I bis V stehen für Lockergesteine, Regimes VI bis VIII für Felsgesteine. Diese acht Regimes werden untersucht auf ihr Potenzial zur Nutzung durch Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpe, Energiepfahlanlagen und Erdwärmekollektoren sowie auf mögliche Risiken (für Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen), welche später die Grundlage für die Beurteilung von Zulässigkeitsbereichen bilden.

Konkret bedeutet dies, dass jedem Regime ein Potenzial hinsichtlich Nutzung von Erdwärme (Erdwärmesonden, Energiepfahlanlagen, Erdwärmekollektoren) und hinsichtlich Nutzung von Grundwasser (Grundwasserwärmepumpen) zugeteilt wird. Das Resultat ist ein Nutzungskatalog für sämtliche vier betrachteten Wärmenutzungssysteme (siehe Kapitel 4 und Anhang A).

Hinsichtlich des Bewilligungsverfahrens wird zudem für Erdwärmesonden (siehe Kapitel 5 und Anhang B) und Grundwasserwärmepumpen (siehe Kapitel 6 und Anhang C) ein Gefahrenkatalog aufgrund einer Bewertung durch Schadenspotenzial und Eintrittswahrscheinlichkeit erstellt, welcher die Grundlage bildet für die Beurteilung der Bewilligungsfähigkeit. Die daraus entstandenen Wärmenutzungskarten sind in Kapitel 7 erläutert.

Das Regime IX steht für Oberflächengewässer (also Seen und Fliessgewässer). Die Möglichkeit einer direkten Wassernutzung zum Heizen oder zum Kühlen mittels Wärmepumpe wird in Kapitel 8 zusammen mit der Nutzung von Tunnelsickerwasser und mitteltiefen Erdwärmesonden qualitativ betrachtet.

Regime X bezeichnet alle übrigen Bereiche ohne konkrete Nutzungsmöglichkeit (inkl. Verbotszonen).

Zudem hat es sich im Rahmen der Erstellung der Wärmenutzungskarten als sinnvoll erwiesen, für quartärgeologisch anspruchsvolle sowie anthropogen beeinflusste Gebiete die Regimes XI und XII einzuführen (siehe Kapitel 7).

1.6 Anforderungen Nutzungs- und Risikokatalog

Aufgeschlüsselt nach den hydrogeologischen Regimes zeigt das Wärmenutzungskonzept einerseits das vorhandene Potenzial der einzelnen Wärmenutzungssysteme im Kanton Uri, andererseits aber auch mögliche Gefahren auf.

Folgende Wärmenutzungssysteme werden detailliert auf ihr technisches Potenzial hin untersucht und in einem Nutzungskatalog dargestellt. Des Weiteren werden sie auf mögliche Risiken bei der Realisierung untersucht und in einem Risikokatalog erfasst, so dass sie anschliessend in einer Zulässigkeitskarte dargestellt werden können:

- Erdwärmesonden (bis 400 m Bohrtiefe) inkl. Erdspeicher
- Grundwassernutzung

Folgende Wärmenutzungssysteme werden detailliert auf ihr technisches Potenzial hin untersucht und in einem Nutzungskatalog dargestellt. Des Weiteren werden sie hinsichtlich möglicher Risiken qualitativ beschrieben:

- Energiepfahlanlagen
- Erdwärmekollektoren

Dazu werden für jedes Nutzungssystem verschiedene Aspekte berücksichtigt, welche generell gültig sind. Dies sind im Wesentlichen Gesetze, Normen, Vorgaben und Richtlinien zur Planung und Dimensionierung

der Anlage (inkl. Einbezug bestehender Anlagen) sowie generelle, mögliche Gefahren für Mensch und Umwelt durch die Anlage.

Weitere Aspekte sind hingegen spezifisch für jedes hydrogeologische Regime zu betrachten, also einerseits geologische, hydrogeologische und thermische Eigenschaften und andererseits regime-spezifische Gefahren für Mensch und Umwelt durch die Anlage.

Folgende Wärmenutzungssysteme werden zusätzlich im Rahmen dieses Konzepts qualitativ und in eingeschränktem Umfang hinsichtlich Nutzen und Risiken beschrieben:

- Oberflächenwassernutzung
- Nutzung von Tunnelsickerwasser
- Mitteltiefe Erdwärmesonden (ab 400 m Bohrtiefe)

2. Allgemeine Bemerkungen zu den Wärmenutzungssystemen

Die meisten Wärmenutzungssysteme – also Systeme zur Gewinnung von Erdwärme – befinden sich im oberflächennahen Bereich. Welches dieser Systeme zum Einsatz kommt, hängt in der Regel von mehreren Faktoren ab. Dies sind unter anderen:

- Bewilligungsfähigkeit
- Energiebedarf (Wärme und Kälte)
- Lokale geologische und hydrogeologische Verhältnisse
- Platzverhältnisse
- Kosten

Die verschiedenen Wärmenutzungssysteme lassen sich je nach Bauart in geschlossene und offene einteilen. Bei geschlossenen Systemen zirkuliert das Wärmeträgermedium in einem geschlossenen Rohrkreislauf und kommt mit dem Erdreich nicht direkt in Kontakt. Brunnensysteme hingegen sind offene Systeme, da das Medium direkt dem Erdreich entnommen und an anderer Stelle wieder zurückgegeben wird (z.B. Grundwasser).

Von den geschlossenen Systemen werden im vorliegenden Wärmenutzungskonzept Erdwärmesonden, Energiepfahlanlagen und Erdwärmekollektoren (Wärmekörbe, Erdregister) betrachtet, von den offenen Systemen die Nutzung von Grundwasser, Oberflächengewässern oder auch Tunnelsickerwasser.

Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen sind in der Regel mit gewässerschutzrelevanten Bohrarbeiten verbunden und werden daher im vorliegenden Wärmenutzungskonzept hinsichtlich Nutzen und Gefahren detaillierter betrachtet.

2.1 Erdwärmesonden (EWS)

Die Erdwärmesonde ist die gängigste Form der Erdwärmenutzung. Dies gilt sowohl schweizweit als auch innerhalb des Kantons Uri. Es handelt sich dabei in der Regel um Kunststoffrohre, welche U-förmig (Einzel- oder Doppel-U-Sonde) oder konzentrisch als Innen- und Aussenrohr (Koaxialsonde) in Bohrlöcher eingebaut werden. Die Bohrlöcher müssen nach der Sondeninstallation dicht hinterfüllt werden.

Bei der Standardausführung von Erdwärmesonden (untiefe oder oberflächennahe Erdwärmesonden) werden in der Regel Doppel-U-Sonden verwendet. Die SIA Norm 384/6 gilt für „alle geschlossenen Erdwärmesonden und Erdwärmesondenfelder bis in eine Tiefe von 400 m unter der Erdoberfläche“. Häufig werden diese auch „untiefe“ oder „oberflächennahe Erdwärmesonden“ genannt. Diese tiefenabhängige Definition wird im Rahmen des vorliegenden Wärmenutzungskonzepts übernommen. Bei Bohrtiefen über 400 m wird der Begriff „mitteltiefe Erdwärmesonden“ verwendet. Diese werden in Kapitel 7.3 separat behandelt.

Die Erdwärmesonde ist im Prinzip ein Wärmetauscher mit dem Untergrund. Sie befindet sich in einem Bohrloch und bildet ein geschlossenes System. Über die ganze Länge der Erdwärmesonde wird (im Heizfall) Energie aus dem Untergrund entnommen, welcher sich dadurch leicht abkühlt. Im Kühlfall findet der umgekehrte Prozess statt. Der Energietransport findet mittels Wärmeträgerflüssigkeit statt, z.B. Wasser oder ein Frostschutzmittel-Wasser-Gemisch, welches durch das Rohr zirkuliert. Frostschutzmittel sind meistens schwach wassergefährdend. Ein Austritt des Wärmeträgermittels ins umgebende Erdreich muss deshalb vermieden werden. Anhang 6 der Vollzugshilfe Wärmenutzung aus Boden und Untergrund (BAFU 2009) beinhaltet eine Liste mit Basisstoffen, welche für die Wärmeträgermittel in Erdwärmesonden geeignet sind.

Zum Teil ist es noch Praxis, die mögliche Entzugsleistung aus dem Untergrund lediglich mit „Watt pro Bohrmeter“ zu beschreiben und die Erdwärmesonde nach dieser Faustregel zu dimensionieren. Dieser Ansatz ist – wie im Folgenden kurz erläutert – für eine ökonomisch funktionierende Anlage unzureichend. Er führt in

der Regel zu Über- oder Unterdimensionierung und in den gravierendsten Fällen sogar zu Schadensfällen aufgrund zu starker Auskühlung des Untergrunds.

Für eine kontrollierte Abkühlung des Untergrunds und somit für eine langfristig effiziente Erdwärmesonde ist eine sorgfältige Dimensionierung erforderlich. Sie hängt im Wesentlichen ab vom Energiebedarfsprofil und von den thermischen Untergrundeigenschaften, insbesondere von der Wärmeleitfähigkeit und von der Wärmekapazität. Beim Betrieb von Erdwärmesondenfeldern werden weitere Parameter zunehmend wichtig, wie zum Beispiel die geometrische Anordnung der Erdwärmesonden, deren Abstand zueinander, die verwendeten Materialien (Hinterfüllung, Sondenmaterial usw.), der Grundwasserstrom, die Bohrlochgeometrie, die Eigenschaften des Wärmeträgers, die hydraulische Auslegung usw.

Eine korrekte Dimensionierung ist somit die Basis für eine wirtschaftlich funktionierende Erdwärmesondenanlage mit hohem „Nutzen-Kosten-Verhältnis“. Die Grundlage für die Dimensionierung bildet die SIA Norm 384/6. Erdwärmesonden sind dementsprechend auf einen 50-jährigen Betrieb zu dimensionieren. Bei Wärmeentzug aus dem Untergrund heisst das, dass die minimale mittlere Fluidtemperatur in der Sonde nach 50 Jahren mindestens -1.5°C betragen muss. Bei Wärmeeintrag in den Untergrund soll einerseits eine maximale Soletemperatur auf Basis des eingesetzten Sonden- und Hinterfüllmaterials berücksichtigt werden und andererseits müssen die Gewässerschutzvorschriften eingehalten werden.

Die Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS) bietet aktuell einen Kurs zur Auslegung von Erdwärmesonden an. Dieser beinhaltet ein praxisbezogenes Excel-Tool zur vereinfachten Berechnung von Anlagen mit bis zu vier Erdwärmesonden. Anlagen mit mehr als vier Erdwärmesonden, Anlagen zum Heizen und Kühlen sowie generell komplexe Anlagen müssen gemäss SIA 384/6 grundsätzlich mittels numerischer Modellierung dimensioniert werden. Solche Modellierungen können zum Beispiel durch folgende Software durchgeführt werden: „Earth Energy Designer“ (EED), EWS oder Pilesim.

Erdwärmesondenfelder eignen sich auch besonders zum Speichern von Wärmeenergie, zum Beispiel durch saisonalen Betrieb: Während des Winters wird dem Boden Wärme entzogen zum Heizen des Gebäudes, im Sommer wird dem Boden durch die Erdwärmesonden wieder Wärme zugeführt, womit das Gebäude gekühlt werden kann. Auch Abwärme aus Industrie-, Büro- und anderen Gebäuden kann auf diese Weise im Erdreich gespeichert und in der kalten Jahreszeit zum Heizen genutzt werden.

Besonders wirtschaftlich ist die Gebäudekühlung durch das sogenannte „freecooling“, weil sie ohne Verwendung einer Kältemaschine ausschliesslich über die Erdwärmesonde funktioniert.

Die Erdwärmesonde benötigt an der Erdoberfläche sehr wenig Platz. Zu berücksichtigen ist dabei aber, dass zwischen den einzelnen Erdwärmesonden ein genügender Abstand einzuhalten ist (der technische Mindestabstand gemäss SIA Norm 384/6 beträgt 5 m). Dafür benötigen sie grössere Installationstiefen als andere Systeme und somit tiefer gehende Kenntnisse über den Untergrund. Eine umweltschonende Realisierung und die korrekte Anwendung des geeigneten Bohr- und Ausbauverfahrens können entsprechend anspruchsvoller sein. Die Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS) pflegt deshalb ein Gütesiegel für Bohrfirmen zur Sicherstellung des Qualitätsniveaus. Eine Liste mit den zertifizierten Bohrfirmen ist online verfügbar (www.fws.ch).

Die Anforderungen an eine Erdwärmesondenbohrung inkl. Störfallinterventionen sind in der SIA Norm 384/6 geregelt. Grundlegende, gewässerschutzrelevante Anforderungen finden sich ausserdem in der BAFU Vollzugshilfe 2009.

Als Bohrverfahren am häufigsten zum Einsatz kommt das sogenannte Imlochhammer-Bohrverfahren mit direkter Luftspülung. Eher seltener kommt das sogenannte Rotationsspülverfahren (mit Spülmedium Wasser und eventuell Spülmittelzusätzen wie Bentonit) zum Einsatz. Die Bohrung wird in der Regel destruktiv durchgeführt. Das heisst, es werden keine Bohrkernproben entnommen. Zur Begutachtung des durchhörten Untergrunds können aber Proben des Bohrkleins genommen werden.

Der nach dem Einbau der Erdwärmesonde im Bohrloch entstandene Hohlraum muss anschliessend hinterfüllt werden, typischerweise mit einer Mischung aus Bentonit und Zement. Zur Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit der Hinterfüllung gibt es weitere gängige Produkte, z.B. basierend auf Quarzsand oder Graphit.

2.2 Nutzung von Grundwasser

Als wichtigste Voraussetzung für die Nutzbarkeit von Grundwasser zum Heizen und Kühlen gilt ein genügend hohes Dargebot an Grundwasser, möglichst oberflächennah und in möglichst mächtigen Schichten mit genügend hoher Durchlässigkeit.

Genutzt wird die im Grundwasser gespeicherte Wärmeenergie. Das Grundwasser wird zur Wärmepumpe befördert (oder allenfalls zu einem Zwischenkreislauf) und dort abgekühlt, womit die benötigte Wärmeenergie frei wird und dem Heizkreislauf zugeführt werden kann. Es handelt sich somit um ein offenes System. Das Grundwasser soll in der Regel demselben Grundwasserleiter mittels Versickerungsanlage oder mittels Rückgabeböhrung zurückgegeben werden. Geothermische Brunnenanlagen bestehen also häufig aus einem Förder- und einem Schluckbrunnen (Dublette).

Ein thermischer Kurzschluss zwischen Entnahme und Rückgabe muss vermieden werden. Das heisst, bei deren Erstellung muss darauf geachtet werden, dass die Rückgabe in genügend grossem Abstand abstrom der Entnahme liegt, da ansonsten kontinuierlich bereits genutztes Grundwasser von neuem angesaugt wird. Bei Kenntnis der Fördermenge, der Grundwassermächtigkeit, dem Gradienten des Grundwasserspiegels und dem Durchlässigkeitsbeiwert des Grundwasserträgers können diese Parameter in der Regel relativ einfach vorgängig berechnet oder zumindest abgeschätzt werden.

Entscheidend für die geothermische Nutzbarkeit von Grundwasser ist auch die Wasserqualität. Das heisst, eine vorzeitige Alterung, Versinterung, Verockerung oder Korrosion der Anlage muss ausgeschlossen werden können. Eine Wasseranalyse ist somit generell zu empfehlen.

Das Grundwasserdargebot kann lokal stark variieren und sollte bereits in der Planungsphase durch ein Geologiebüro spezifisch für den Standort beurteilt werden. Bei Grossanlagen empfiehlt sich zur Planungssicherheit eine vorgängige Probeböhrung mit Pump- und Schluckversuchen sowie eine Wasseranalyse durchzuführen.

Wichtig bei der Planung und Ausführung einer Grundwasserwärmepumpe ist ausserdem, dass folgende Vorgabe aus der Gewässerschutzverordnung eingehalten wird (siehe auch Vollzugshilfe Wärmenutzung aus Boden und Untergrund, BAFU 2009): Die Temperatur des Grundwassers darf durch Wärmeeintrag oder Wärmeentzug gegenüber dem natürlichen Zustand um höchstens 3 °C verändert werden. Im unmittelbaren Umkreis von maximal 100 Metern darf diese Veränderung mehr als 3 °C betragen. Dieser Nachweis erfordert üblicherweise eine thermische Modellierung des Grundwassers (z.B. mittels „Groundwater Energy Designer“). Dieser kann gleichzeitig auch zur Auswahl von geeigneten Bohrstandorten genutzt werden, damit keine benachbarten, bestehenden Anlagen negativ beeinflusst werden.

Ein wesentlicher Vorteil von Brunnenanlagen ist, dass ganzjährig eine ziemlich konstante und zu Heiz- und Kühlzwecken ideale Temperatur zur Verfügung steht. Da diese Temperatur im Vergleich zu anderen Nutzungssystemen relativ hoch ist (typischerweise 8 – 12°C), arbeiten die zugehörigen Wärmepumpen auch mit höheren Leistungs- und Arbeitszahlen.

Damit dieser Effekt nicht durch den Energieverbrauch zur Grundwasserförderung kompensiert wird, sollte allerdings der Flurabstand im Vergleich zur Anlagengrösse nicht zu gross sein. Für Kleinanlagen sinnvoll sind z.B. Brunnentiefen von 10 – 15 m. Der Flurabstand ist somit eine wichtige Grösse mit einem direkten Einfluss auf die Gestehungs- und Betriebskosten.

Die Anforderungen an eine Grundwasserböhrung sind in der SIA Norm 384/7 geregelt. Die Wahl des Böhrrverfahrens hängt unter anderem von den geologischen und hydrogeologischen Begebenheiten, dem Böhrr-

durchmesser sowie der Bohrtiefe ab. Zur Beurteilung der hydrogeologischen Eigenschaften wird generell empfohlen, Bohrkern zu entnehmen, welche durch die Bohrfirma anschliessend der Bohrtiefe entsprechend ausgelegt werden. Auf diese Weise können Bohrkern vom Geologen hinsichtlich Korngrössenverteilung und deren Durchlässigkeit beurteilt und der Brunnenausbau entsprechend optimiert werden.

Die Erstellung von Grundwasserwärmepumpen bedarf in der Regel einer fachkundigen Begleitung durch ein Geologiebüro.

2.3 Energiepfahlanlagen

Energiepfähle sind die häufigste Form von sogenannten erdberührten Bauteilen (oder auch thermoaktiven Elementen). Sie zählen zu den geschlossenen geothermischen Wärmeüberträgern und sind somit in der Funktionsweise den Erdwärmesonden sehr ähnlich. Anstelle eines Bohrlochs werden dabei Gründungspfähle mit Rohrleitungen ausgerüstet und so für den Wärmetausch mit dem Boden genutzt. Da in diesem Fall zur Energieerzeugung Bauteile genutzt werden welche ohnehin erforderlich sind, bilden sie eine wirtschaftlich sehr interessante Alternative innerhalb der Geothermie. Gründungspfähle können grundsätzlich immer geothermisch genutzt werden.

Wie auch bei Erdwärmesonden muss ein Austritt der Wärmeträgerflüssigkeit ins umgebende Erdreich vermieden werden. Der Abstand zum höchsten Grundwasserstand muss mindestens 2 m betragen (gemäss Vollzugshilfe Wärmenutzung aus Boden und Untergrund, BAFU 2009). Anhang 6 dieser Vollzugshilfe beinhaltet eine Liste mit Basisstoffen, welche als Wärmeträgermittel geeignet sind.

Anzahl, Form und Tiefe der Pfähle richten sich nach dem Baugrund. Ihre Dimensionierung ergibt sich somit aus rein statischen und nicht energetischen Überlegungen.

Analog zur Erdwärmesonde können Energiepfähle sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen genutzt werden. Entsprechend sind sie auch ein effizienter Wärmespeicher. Aufgrund ihrer oberflächennahen Installation ist eine fachgerechte Planung inklusive Modellierung der Erdreichtemperatur über die gesamte, voraussichtliche Betriebsdauer erforderlich. Um die Veränderung der Erdreichtemperatur mit der Zeit möglichst gering zu halten, ist grundsätzlich ein ausgeglichenes Verhältnis von Gebäudekühlung zu Gebäudeheizung anzustreben.

Auch bei Energiepfählen gilt, dass die Gebäudekühlung durch das sogenannte „freecooling“ besonders wirtschaftlich ist, weil sie ohne Verwendung einer Kältemaschine ausschliesslich über die Energiepfahlanlage funktioniert.

Ausserdem ist zu beachten, dass die thermische Rückwirkung nicht nur auf das Erdreich beschränkt bleibt, sondern auch das Bauwerk selbst betrifft. Um jegliche Gefahr von Gefrieren im Baugrund ausschliessen zu können, darf die Temperatur des Wärmeträgermittels 0 °C keinesfalls unterschreiten. Grundsätzlich gilt, dass bei geothermisch genutzten Bauteilen die zulässigen Temperaturspannen des Wärmeträgermittels mit dem Ingenieur abgesprochen werden müssen.

Aus energetischer und aus geotechnischer Sicht sollten Wärmeeintrag und –entzug so ausgeglichen wie möglich sein und bedürfen somit einer fachkundigen und nachhaltigen Planung.

Für die Planung einer Energiepfahlanlage ist die frühzeitige Kontaktaufnahme mit einem Geologiebüro und mit den Behörden (Amt für Energie und Amt für Umweltschutz des Kantons Uri) dringend zu empfehlen.

2.4 Erdwärmekollektoren (Erdregister, Wärmekörbe, etc.)

Erdwärmekollektoren werden als Oberbegriff für flache, oberflächennahe Erdwärmenutzungssysteme benutzt. Wie Erdwärmesonden handelt es sich hierbei um geschlossene geothermische Wärmeüberträger, welche in Tiefen bis max. 5 m horizontal verlegt werden. Sie funktionieren ähnlich wie Erdwärmesonden,

werden aber wegen ihres hohen Flächenbedarfs nur selten eingesetzt. Aufgrund der geringen Tiefe wird keine Bohrung benötigt. Sie werden im aufgegrabenen Erdreich verlegt bzw. mit Aufschüttung überdeckt. Wichtig ist, dass sie sich im frostsicheren Bereich (mindestens 1 m Überdeckung) befinden.

Verschiedene Bauformen von Erdwärmekollektoren sind gängig, z.B. Wärmekörbe, horizontale Flächenkollektoren, Grabenkollektoren, Spiralkollektoren. Sie unterscheiden sich nur in der Bauform, nicht grundsätzlich in der Funktionsweise. Erdregister werden typischerweise in einer Tiefe bis ca. 2 m, Wärmekörbe bis ca. 3.5 m eingebaut. Der Einbau macht nur Sinn, wenn er im Lockergestein mittels Baggereinsatz durchgeführt werden kann. Da diese Elemente nur in der Horizontalen, oberflächennah und im nicht wassergesättigten Bereich genutzt werden, haben sie einen entsprechend hohen Platzbedarf.

Aufgrund ihrer Nähe zur Oberfläche unterliegen Erdwärmekollektoren den jahreszeitlichen Temperatureinflüssen. Das heisst in Zeiten des höchsten Energiebedarfs ist auch die Wärmequellentemperatur am geringsten und somit am ungünstigsten. Im Unterschied zu Erdwärmesonden entziehen sie im Winter die Heizenergie aus kälteren Schichten, was zu insgesamt geringeren Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe führt. Umgekehrt ist auch die Kühlung wegen der relativ hohen Erdreichtemperaturen im Sommer nicht so effizient wie bei Erdwärmesonden. Da aufgrund der kompakten Geometrie das Speichervolumen relativ gering ist, sinkt die Soletemperatur im Winter relativ schnell unter die 0 °C-Grenze. Der grösste Teil der gewonnenen Wärme bei Erdwärmekollektoren ist somit latente Wärmeenergie, welche beim Gefrieren des Wassers im Boden entsteht.

Erdwärmekollektoren können relativ leicht installiert werden. Ihre Nutzungsmöglichkeiten sind aber aufgrund des hohen Platzbedarfs und ihrer Nähe zur Oberfläche mit entsprechend ungünstigen Temperaturschwankungen eingeschränkt.

Ein Austritt der Wärmeträgerflüssigkeit ins umgebende Erdreich muss vermieden werden. Des Weiteren sollen die Anlagen so dimensioniert sein, dass keine signifikante Temperaturveränderung an der Oberfläche stattfindet. Der Abstand zum höchsten Grundwasserstand muss mindestens 2 m betragen (gemäss Vollzugshilfe Wärmenutzung aus Boden und Untergrund, BAFU 2009).

3. Hydrogeologische Regimes und ihr Nutzungspotenzial

In diesem Kapitel werden die für das Wärmenutzungskonzept grundlegenden, hydrogeologischen Regimes definiert und in den jeweiligen Abschnitten allgemein beschrieben. Jeweils anschliessend werden sie hinsichtlich ihrer Eigenschaften und ihres technischen Nutzungspotenzials für die einzelnen Wärmenutzungssysteme detaillierter untersucht.

Falls möglich, werden dabei Rechenwerte für die Wärmeleitfähigkeit, die Wärmekapazität sowie für den Durchlässigkeitsbeiwert (auch k-Wert genannt) empfohlen. Die Werte sind aus der Grundwasserkarte des Kantons Uri sowie der Tabelle C.3 der SIA Norm 384/6 mit Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse adaptiert. Die Wassersättigung hat für die thermischen Kennwerte von Lockergesteinen einen beträchtlichen Einfluss. Daher wird in den entsprechenden Tabellen jeweils zwischen „trocken“ und „wassergesättigt“ unterschieden.

Da das jeweilige Regime in sich meist weder geologisch noch hydrogeologisch homogen ist, wird jeweils ein Wertebereich angegeben, welcher für Vorabklärungen und Abschätzungen verwendet werden kann. Für genauere Dimensionierungen und Optimierungen ist der Einbezug eines fachkundigen Spezialisten erforderlich.

3.1 Regime I: Fluvioglaziale Bach- und Flussschotter

3.1.1 Allgemeines

Die Ausformung der heutigen Talungen erfolgte weitgehend durch die erosive Tätigkeit der eiszeitlichen Gletscher und fluviale Erosion während mehrerer Eis- und Zwischeneiszeiten. Im Falle des Unteren Reusstals kann nach aktuellem Kenntnisstand davon ausgegangen werden, dass in der Talmitte von Amsteg Grund nach Flüelen die glaziale Übertiefung der Felsoberfläche von ca. 100 m bis vermutlich auf rund 500 m unter dem heutigen OK-Terrain zunimmt (Tiefenbohrungen in der Talmitte in Erstfeld und Altdorf erreichten den Fels bis 300 m unter OK-Terrain noch nicht). Weitere glaziale Übertiefungen finden sich ebenfalls im Urserental zwischen Realp und Andermatt sowie untergeordnet in den Seitentälern im Bereich von Unterschächen (Schächental) und Bristen (Maderanertal). Im Vorfeld der abschmelzenden Gletscher wurden diese übertiefen Täler unter anderem durch fluvioglaziale Schotterablagerungen von beträchtlicher Ausdehnung und Mächtigkeit aufgefüllt.

Diese Schotterkomplexe werden im Rahmen dieses Wärmenutzungskonzepts mit Regime I bezeichnet. Sie bestehen vorwiegend aus groben, meist gut sortierten, sandigen Kiesen mit unterschiedlichen Stein- und Blockanteilen und setzen sich aus unterschiedlichem Gesteinsmaterial aus dem jeweiligen Einzugsgebiet zusammen. Stellenweise können auch erhebliche Anteile an Feinmaterial enthalten sein oder mehrere Meter mächtige Zwischenschichten aus Sand vorkommen. In der Regel zeigen sie jedoch insgesamt eine homogene Zusammensetzung. Die Komponenten der Schotter sind vorwiegend gerundet bis gut gerundet. Entsprechend ihrem Vorkommen als mächtige Talfüllungen sowie ihren generell hohen Durchlässigkeiten sind sie von einem teilweise sehr mächtigen Grundwasserstrom erfüllt (Porengrundwasser). So bilden beispielsweise die sogenannten „Reussschotter“ im Bereich des Unteren Reusstals zwischen Amsteg und Flüelen sowie im Bereich zwischen Realp und Andermatt grossräumig zusammenhängende Grundwasserleiter.

Die Lockergesteinsbedeckung im Unteren Reusstal reicht nachweislich bis ca. 80 m ab OK Terrain im Bereich Amsteg Grund (AfU Code 1216-724), bis ca. 270 m ab OK Terrain im Bereich Erstfeld und bis ca. 170 m ab OK Terrain im Bereich Altdorf. Allerdings beinhaltet diese nicht nur die Reussschotter. Vor allem in tieferen Bereichen findet häufig eine Durchmischung oder eine Wechsellagerung mit mächtigen sandigen Schichten (vermutlich Deltaablagerungen, vgl. Regime IV) statt. Die hinsichtlich Grundwasser einfach nutzbaren und sehr ergiebigen Reussschotter bilden meist ein oberflächennahes Paket von ca. 20 – 40 m.

3.1.2 Empfohlene Rechenwerte

Ausgehend von einer typischen Gesteinszusammensetzung in diesem Regime kann von folgenden thermischen und hydrogeologischen Eigenschaften ausgegangen werden.

	Wärmeleitfähigkeit [W/m*K]	Spez. Wärmekapazität [MJ/m ³ *K]	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
Kies/Steine (trocken)	0.4 – 0.5	1.3 – 1.6	10 ⁻³ – 10 ⁻²
Kies/Steine (wassergesättigt)	1.6 – 2.0	2.2 – 2.6	10 ⁻³ – 10 ⁻²

Tabelle 3-1: Empfohlene Rechenwerte Regime I: fluvioglaziale Bach- und Flussschotter. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri.

Der Einfluss des Wassergehalts auf die thermischen Eigenschaften zeigt sich deutlich. Da die Schotter des Regimes I, also im Wesentlichen die Reussschotter, grösstenteils grundwasserführend sind, kann in den meisten Fällen von den Werten „wassergesättigt“ ausgegangen werden.

Die Wärmeleitfähigkeit im Regime I liegt mit 1.6 – 2.0 W/m*K im mittleren Bereich. Das weist darauf hin, dass im wassergesättigten Zustand relativ effiziente Erdwärmesonden installiert werden können. Bei einem signifikanten Anteil von trockenem Bach- und Flussschotter müsste dies für die Berechnung der durchschnittlichen Wärmeleitfähigkeit entsprechend berücksichtigt werden.

Befindet sich die Erdwärmesonde im Grundwasserstrom, hat dies nebst Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit einen weiteren positiven Effekt auf die Effizienz. Im reinen Heiz- oder Kühlfall werden dadurch die entstehenden Kälte- oder Wärmefahnen durch das stete Zu- bzw. Abführen von Wärme gering gehalten. Das heisst, es findet eine kontinuierliche Temperaturregeneration im Tiefenbereich des Grundwassers statt.

Dasselbe Phänomen führt allerdings zu einer Erniedrigung der Wärmespeicherfähigkeit des Untergrunds über einen bedeutenden Tiefenbereich. Da der in der Regel vorliegende Grundwasserstrom die Wärme laufend abführt, ist dieses Regime trotz hoher Wärmekapazität bei Wassersättigung nur bedingt tauglich als Erdspeicher.

In Bach- und Flussschotter sind Pfahlanlagen aus statischen Gründen häufig notwendig, womit auch Energiepfahlanlagen grundsätzlich eine kostengünstige und sinnvolle Option zur Energieversorgung darstellen. Es gelten grundsätzlich die Kennwerte wie bei Erdwärmesonden beschrieben. Darüber hinaus muss aber berücksichtigt werden, dass Energiepfahlsysteme hauptsächlich effizient sind, wenn sie als saisonaler Wärmespeicher genutzt werden können. Sowohl die Grundwasserströmung wie auch der mögliche Mindestabstand zwischen Pfahl und Grundwasser müssen somit standortspezifisch berücksichtigt werden. Allenfalls können Energiepfähle in diesem Regime zur Grundlastdeckung des Energiebedarfs beitragen.

Erdwärmekollektoren können in Regime I genutzt werden. Erdregister werden typischerweise in einer Tiefe bis ca. 2 m, Wärmekörbe bis ca. 3.5 m eingebaut. Im Reussschotter ist dies mittels Baggereinsatz möglich. Da diese Wärmenutzungssysteme nur sehr oberflächennah und im nicht wassergesättigten Bereich eingesetzt werden, ist einerseits der Platzbedarf entsprechend gross und andererseits sind bezüglich Wärmeübertragung um einiges ungünstigere Kennwerte als bei Erdwärmesonden beschrieben anzunehmen.

Der Grundwasserleiter im Reussschotter kann bis weit über 50 m mächtig sein. Die zu erwartenden Durchlässigkeitsbeiwerte liegen in den oberflächennahen und gut sortierten Schottern, meistens im Bereich von 10⁻³ bis 10⁻² m/s. Die Ergiebigkeit ist somit in der Regel für kleinere und grössere Anlagen gut bis sehr gut.

Lokale Variationen sind zu berücksichtigen. Die hohen Durchlässigkeitsbeiwerte und Fließgeschwindigkeiten können unter Umständen ausgeprägte Kälte- oder Wärmefahnen bei Rückgabeebohrungen zur Folge haben. Dem kann mittels thermisch-hydraulischer Modellierung bereits im Rahmen von Vorabklärungen Rechnung getragen werden. Gegebenenfalls sollte die Rückgabe durch Versickerung empfohlen werden.

3.1.3 Nutzungspotenzial

Auf Basis obiger Ausführungen kann ein technisches Nutzungspotenzial für einzelne Wärmenutzungssysteme bestimmt werden. In Kapitel 4 ist dies für alle Wärmenutzungssysteme in allen Regimes beschrieben und in Anhang A zusammengefasst.

3.2 Regime II: Bachschuttablagerungen

3.2.1 Allgemeines

Ausgangs der entwässerten Seitentäler/Nebentäler liegen in Abhängigkeit der Grösse des Einzugsgebiets, der fluvialen Erosionsrate und der geologischen sowie topographischen Gegebenheiten Bachschuttablagerungen (Regime II) unterschiedlicher Mächtigkeit und Zusammensetzung vor. Meistens bilden die Bachschuttablagerungen in diesem Akkumulationsbereich morphologisch markante Bachschuttfächer. Im Bereich der Einmündung der Seitentäler in die Haupttalung des Unteren Reusstales sind die lokalen Bachschuttfächer häufig mit fluvioglazialen Schotterablagerungen (Regime I) verzahnt.

Ein komplexer geologischer Aufbau der Talfüllung liegt insbesondere im Bereich des Schächenschuttfächers vor, welcher sich von der Einmündung des Schächentals bei Bürglen lateral bis ins Gebiet Moosbad Altdorf und Bärenmatt Schattdorf fächerförmig ausdehnt. Die Mächtigkeit im Zentrum des Schächenschuttkegels dürfte mindestens 70 m betragen. Im Übergangsbereich zwischen Bachschuttablagerungen und den Reusschottern ist deren Unterscheidung aufgrund der intensiven Vermischung häufig nicht klar erkennbar.

Ähnliche Schuttfächer von geringerer Mächtigkeit finden sich beispielsweise auch im Bereich Sisikon (Riemenstaldnerbach), Flüelen (Gruonbach), Seedorf (Palanggenbach), Attinghausen (Chummet Bach), Erstfeld (Taubach), Silenen (Efibach), Andermatt (Ober-/ Unteralp), sowie im Bereich der zahlreichen kleinen Seitenbäche.

Das Korngrössenspektrum der Bachschuttablagerungen umfasst dabei häufig den gesamten Bereich zwischen grossen Blöcken und feinstem Sand und Silt, wobei die Rundung der Komponenten in Abhängigkeit der Transportdistanz von kantig bis gerundet variieren kann. Der interne Schichtkomplex der Bachschuttfächer ist im Gegensatz zu den fluvioglazialen Schotterablagerungen (Regime I) in der Regel viel heterogener und kleinräumiger. Häufig werden gut durchlässige Bereiche durch Linsen oder Lagen von schlecht durchlässigen, z.T. murgangähnlichen Ablagerungen unterbrochen, wodurch die Bachschuttablagerungen in sich lokal sehr unterschiedliche Durchlässigkeitswerte aufweisen können.

In verschiedenen Gebieten sind ergiebige Zuflüsse aus dem Einzugsgebiet der Bachschuttfächer zu verzeichnen, wobei die Bachschuttablagerungen teilweise Bestandteil des Hauptgrundwasserleiters bilden oder lokale Grundwasservorkommen beinhalten können. Letzteres ist beispielsweise im Bereich Gruonbach in Flüelen oder noch markanter beim Schächenschuttfächer in Bürglen-Schattdorf der Fall. Hier bildet das lokale Grundwasser des Schächenschuttfächers einen eigenen Grundwasserleiter über dem eigentlichen Hauptgrundwasserleiter der Reusschotter.

3.2.2 Empfohlene Rechenwerte

Ausgehend von einer typischen Gesteinszusammensetzung in diesem Regime kann von folgenden thermischen und hydrogeologischen Eigenschaften ausgegangen werden.

	Wärmeleitfähigkeit [W/m*K]	Spez. Wärmekapazität [MJ/m ³ *K]	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
Ton/Sand/Kies/Steine (trocken)	0.4 – 0.8	1.3 – 1.6	10 ⁻⁴ – 10 ⁻²
Ton/Sand/Kies/Steine (wassergesättigt)	0.9 – 2.0	2.0 – 2.8	10 ⁻⁴ – 10 ⁻²

Tabelle 3-2: Empfohlene Rechenwerte Regime II: Bachschuttablagerungen. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri.

Die lithologische Zusammensetzung innerhalb der Bachschuttablagerungen variiert sehr stark, was sich in entsprechend grossen Bandbreiten der Kennwerte zeigt.

Die Wärmeleitfähigkeit im Regime II liegt insgesamt in einem Bereich von 0.9 – 2.0 W/m*K und somit im tiefen bis mittleren Bereich. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass je höher die Wassersättigung und je geringer der Tongehalt, desto höher die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität. Bei einem signifikanten Anteil von trockenen und / oder sehr feinkörnigen Schichten müsste dies für die Berechnung der durchschnittlichen Wärmeleitfähigkeit entsprechend berücksichtigt werden.

Befindet sich die Erdwärmesonde im Grundwasserstrom, hat dies nebst Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit einen weiteren positiven Effekt auf die Effizienz. Im reinen Heiz- oder Kühlfall werden dadurch die entstehenden Kälte- oder Wärmefahnen durch das stete Zu- bzw. Abführen von Wärme gering gehalten. Das heisst, es findet eine kontinuierliche Temperaturregeneration im Tiefenbereich des Grundwassers statt.

Dasselbe Phänomen führt allerdings zu einer Erniedrigung der Wärmespeicherfähigkeit des Untergrunds. Da der in der Regel vorliegende Grundwasserstrom die Wärme laufend abführt, ist dieses Regime trotz hoher Wärmekapazität bei Wassersättigung nur bedingt tauglich als Erdspeicher.

In Bachschuttablagerungen sind Pfahlanlagen aus statischen Gründen häufig notwendig, womit auch Energiepfahlanlagen grundsätzlich eine kostengünstige und sinnvolle Option zur Energieversorgung darstellen. Es gelten grundsätzlich die Kennwerte wie bei Erdwärmesonden beschrieben. Darüber hinaus muss aber berücksichtigt werden, dass Energiepfahlsysteme hauptsächlich effizient sind, wenn sie als saisonaler Wärmespeicher genutzt werden können. Sowohl die Grundwasserströmung wie auch der mögliche Mindestabstand zwischen Pfahl und Grundwasser müssen somit standortspezifisch berücksichtigt werden. Allenfalls können Energiepfähle in diesem Regime zur Grundlastdeckung des Energiebedarfs beitragen.

Erdwärmekollektoren können in Regime II genutzt werden. Erdregister werden typischerweise in einer Tiefe bis ca. 2 m, Wärmekorbe bis ca. 3.5 m eingebaut. Im solchen Bachschuttablagerungen ist dies mittels Baggereinsatz möglich. Da diese Wärmenutzungssysteme nur sehr oberflächennah und im nicht wassergesättigten Bereich eingesetzt werden, ist einerseits der Platzbedarf entsprechend gross und andererseits sind bezüglich Wärmeübertragung um einiges ungünstigere Kennwerte als bei Erdwärmesonden beschrieben anzunehmen.

Die Grundwasserleiter in den sehr heterogenen Bachschuttablagerungen können von wenigen Dezimetern bis zu einigen Metern reichen. Die zu erwartenden Durchlässigkeitsbeiwerte variieren meistens stark in Bereichen von 10⁻⁴ bis 10⁻² m/s. Die Ergiebigkeit ist somit in der Regel für kleinere und grössere Anlagen mässig bis gut. Aufgrund hoher Durchlässigkeitsbeiwerte und Fliessgeschwindigkeiten können bei hohen Rückgabemengen ausgeprägte Kälte- oder Wärmefahnen abstrom der Rückgabeborungen resultieren. Dem kann mittels thermisch-hydraulischer Modellierung bereits im Rahmen von Vorabklärungen Rechnung getragen werden. Bei tiefen Durchlässigkeitsbeiwerten besteht hingegen das Risiko ungenügender Ergiebigkeit

und zu hoher Absenk- bzw. Aufstaukegeln. Gegebenenfalls sollte die Rückgabe durch Versickerung empfohlen werden.

3.2.3 Nutzungspotenzial

Auf Basis obiger Ausführungen kann ein technisches Nutzungspotenzial für einzelne Wärmenutzungssysteme bestimmt werden. In Kapitel 4 ist dies für alle Wärmenutzungssysteme in allen Regimes beschrieben und in Anhang A zusammengefasst.

3.3 Regime III: Moräne

3.3.1 Allgemeines

Rezente Moränen finden sich mehrheitlich in erhöhter Lage im Bereich der heutigen Gletscher und sind häufig aufgrund ihrer typischen Morphologien erkennbar. Aufgrund ihrer geografischen Verteilung sind sie hinsichtlich geothermischer Nutzung nicht relevant und werden im Folgenden vernachlässigt. Die eiszeitlichen oder fossilen Moränen der grossen Vergletscherungen sind grundsätzlich direkt über dem anstehenden Fels zu erwarten, wobei diese teilweise durch jüngere Erosions- und Sedimentationsprozesse bedeckt oder umgelagert wurden. Im Talgrund anstehende Moränen sind im Bereich von Unterschächen, Wassen und Göschenen bekannt. Überwiegend aber findet man letzteiszeitliche Moränenablagerungen an nahezu allen Talflanken im Kanton Uri. Die Mächtigkeiten dieser Moränen sind lokal recht unterschiedlich und weisen Werte von wenigen Dezimetern bis zu über 10 m auf.

Die Moränenablagerungen setzen sich meist aus stark siltig-tonigen Kiesen bis tonigen Silten und Feinsande mit variierendem Kies-, Stein- und Blockanteil zusammen. Das Korngefüge ist häufig matrixgestützt. Die Komponentengrösse, insbesondere deren Rundung innerhalb von Moränenablagerungen kann stark variieren. In der Regel weisen Moränen jedoch eher kantige bis kantengerundete Komponenten auf. Je nach Feinanteil sind Moränen schwach durchlässig bis undurchlässig und wirken häufig als Grundwasserstauer. Aufgrund der enormen Eisüberlagerung zur Zeit der grossen Vergletscherungen sind insbesondere fossile Moränen meist dicht gelagert.

3.3.2 Empfohlene Rechenwerte

Ausgehend von einer typischen Gesteinszusammensetzung in Moränen kann von folgenden thermischen und hydrogeologischen Eigenschaften ausgegangen werden. Da rezente Moränen nicht berücksichtigt werden, wird von dichter Lagerung ausgegangen.

	Wärmeleitfähigkeit [W/m*K]	Spez. Wärmekapazität [MJ/m ³ *K]	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
Moräne (dicht gelagert)	1.7 – 2.5	1.7 – 2.5	10 ⁻¹⁰ – 10 ⁻⁴

Tabelle 3-3: Empfohlene Rechenwerte Regime III: Moränen. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri.

Die lithologische Zusammensetzung von Moränen hat zwar typische Merkmale, kann aber trotzdem stark variieren. Lokal können die Kennwerte somit stark abweichen von den hier angegebenen Werten.

Die in der Regel zu erwartenden thermischen Eigenschaften bei dichter Lagerung liegen gemäss obiger Tabelle etwa im mittleren Bereich, mit einer Wärmeleitfähigkeit von ca. 1.8 W/m*K und einer Wärmekapazität

von ca. 2.0 MJ/m³K. Das weist darauf hin, dass Erdwärmesonden innerhalb Moränen relativ effizient sein können. Aufgrund des in der Regel geringen Grundwasserdurchflusses und der mittleren Wärmekapazität eignen sie sich ausserdem relativ gut als Erdspeicher.

Aufgrund der normalerweise dichten Lagerung der Moräne kommt aus bautechnischen Gründen häufig keine Pfählung zum Einsatz. Falls doch, gelten in erster Annäherung die Kennwerte wie bei Erdwärmesonden beschrieben.

Erdwärmekollektoren können in Regime III genutzt werden. Erdregister werden typischerweise in einer Tiefe bis ca. 2 m, Wärmekörbe bis ca. 3.5 m eingebaut. In Moränen ist dies mittels Baggereinsatz möglich. Da diese Wärmenutzungssysteme nur sehr oberflächennah und im nicht wassergesättigten Bereich eingesetzt werden, ist einerseits der Platzbedarf entsprechend gross und andererseits sind bezüglich Wärmeübertragung um einiges ungünstigere Kennwerte als bei Erdwärmesonden beschrieben anzunehmen.

Moränenablagerungen sind in der Regel gering durchlässig bis undurchlässig und bewegen sich somit im Bereich $< 10^{-4}$ m/s. Sie stellen somit Grundwasserstauer dar und sind zur Grundwasserentnahme nicht geeignet.

3.3.3 Nutzungspotenzial

Auf Basis obiger Ausführungen kann ein technisches Nutzungspotenzial für einzelne Wärmenutzungssysteme bestimmt werden. In Kapitel 4 ist dies für alle Wärmenutzungssysteme in allen Regimes beschrieben und in Anhang A zusammengefasst.

3.4 Regime IV: Deltaablagerungen, Überschwemmungssedimente

3.4.1 Allgemeines

Mit dem Abschmelzen der eiszeitlichen Gletscher bildeten sich in den glazial übertieften Talbereichen stellenweise tiefe Seen (Bereich Unteres Reusstal nördlich von Erstfeld; Becken von Andermatt). Das Landschaftsbild im Vorfeld der abschmelzenden Gletscher war damals vermutlich geprägt von weitläufigen fluvioglazialen Schwemmfächern und Sanderebenen. Diese wurden von Gletscherschmelzbächen durchflossen, welche ihre Erosionsfracht bis in die Seen transportierten. Nebst feinkörnigen Seebodenablagerungen (vgl. Regime V) wurden dabei an den Seerändern kontinuierlich Deltaablagerungen geschüttet. Kurz vor der Verlandung der Seeränder entstanden durch mäandrierende Flüsse und Bäche alte Talläufe und abgeschnittene Becken, welche mit feinkörnigen fluviatilen Sedimenten und siltigen Überschwemmungsablagerungen aufgefüllt wurden. All diese Auffüllungen werden im Regime IV zusammengefasst.

So wird beispielsweise die Basis der Reussschotter im Bereich Erstfeld bis Altdorf durch mächtige Schwemmsande gebildet (eintönige Feinsande). Auch die Aufschüttungen des Andermatt Becken durch Geschiebe von Furka-, Gotthard-, Ober- und Unteralpreuss erfolgte anfänglich weitgehend durch feinkörnige fluviatile Sedimente und siltige Überschwemmungsablagerungen. Stellenweise sind solche Überschwemmungssedimente auch als Lagen und Linsen innerhalb der fluvioglazialen Schotter (Regime I) anzutreffen, jedoch meist von geringer Mächtigkeit.

Rezente, oberflächennahe Überschwemmungssedimente finden sich vorwiegend entlang der rezenten Fliessgewässer (z.B. Aue Widen-Schmidigen Boden Realp; Schützenschachen Silenen; Schachen-Rossgiessen Schattdorf, Seeuferbereich Seedorf und Flüelen etc.)

3.4.2 Empfohlene Rechenwerte

Ausgehend von einer typischen Gesteinszusammensetzung in diesem Regime kann von folgenden thermischen und hydrogeologischen Eigenschaften ausgegangen werden.

	Wärmeleitfähigkeit [W/m*K]	Spez. Wärmekapazität [MJ/m ³ *K]	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
Regime IV (trocken)	0.4 – 1.0	1.4 – 1.8	10 ⁻⁵ – 10 ⁻³
Regime IV (wassergesättigt)	1.4 – 2.3	2.3 – 2.8	10 ⁻⁵ – 10 ⁻³

Tabelle 3-4: Empfohlene Rechenwerte Regime IV: Deltaablagerungen, Überschwemmungssedimente. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri.

Die Wärmeleitfähigkeit in Regime IV liegt bei Wassersättigung in einem Bereich von 1.4 – 2.3 W/m*K und somit im mittleren Bereich, wobei sie bei hohem Sandgehalt auch als hoch bezeichnet werden kann. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass je höher die Wassersättigung und je geringer der Tongehalt, desto höher die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität. Bei einem signifikanten Anteil von trockenen und / oder sehr feinkörnigen Schichten müsste dies für die Berechnung der durchschnittlichen Wärmeleitfähigkeit entsprechend berücksichtigt werden.

Trotz hoher Wärmekapazität bei Wassersättigung ist dieses Regime nur bedingt tauglich als Erdspeicher, falls der in diesem Fall vorliegende Grundwasserstrom die Wärme abführt.

In Deltaablagerungen und Überschwemmungssedimenten sind Pfahlanlagen aus statischen Gründen häufig notwendig, womit auch Energiepfahlanlagen grundsätzlich eine kostengünstige und sinnvolle Option zur Energieversorgung darstellen. Es gelten grundsätzlich die Kennwerte wie bei Erdwärmesonden beschrieben. Darüber hinaus muss aber berücksichtigt werden, dass Energiepfahlsysteme hauptsächlich effizient sind, wenn sie als saisonaler Wärmespeicher genutzt werden können. Sowohl die Grundwasserströmung wie auch der mögliche Mindestabstand zwischen Pfahl und Grundwasser müssen somit standortspezifisch berücksichtigt werden. Allenfalls können Energiepfähle in diesem Regime zur Grundlastdeckung des Energiebedarfs beitragen.

Erdwärmekollektoren können in Regime IV genutzt werden. Erdregister werden typischerweise in einer Tiefe bis ca. 2 m, Wärmekörbe bis ca. 3.5 m eingebaut. In diesem Regime ist dies mittels Baggereinsatz möglich. Da diese Wärmenutzungssysteme nur sehr oberflächennah und im nicht wassergesättigten Bereich eingesetzt werden, ist einerseits der Platzbedarf entsprechend gross und andererseits sind bezüglich Wärmeübertragung um einiges ungünstigere Kennwerte als bei Erdwärmesonden beschrieben anzunehmen.

Mächtigkeit und Durchlässigkeit des Grundwasserleiters kann stark variieren und ist situativ genau zu prüfen. Der Durchlässigkeitsbeiwert liegt häufig im mittleren Bereich zwischen 10⁻⁵ und 10⁻³ m/s. Die Ergiebigkeit sollte meistens für kleinere und mittlere Anlagen genügen, die entsprechenden Parameter sollten aber bereits im Vorfeld evaluiert werden. Bei tiefen Durchlässigkeitsbeiwerten besteht nebst dem Risiko ungenügender Ergiebigkeit die Gefahr zu hoher Absenk- bzw. Aufstaukegeln.

3.4.3 Nutzungspotenzial

Auf Basis obiger Ausführungen kann ein technisches Nutzungspotenzial für einzelne Wärmenutzungssysteme bestimmt werden. In Kapitel 4 ist dies für alle Wärmenutzungssysteme in allen Regimes beschrieben und in Anhang A zusammengefasst.

3.5 Regime V: Verlandungs- und Seeufersedimente / Stillwasser- und Seebodensedimente

3.5.1 Allgemeines

Rezente, grossräumig zusammenhängende Stillwasser- und Seebodensedimente sind im Kantonsgebiet lediglich im Bereich des Seebodens des heutigen Vierwaldstättersees anzutreffen.

Zur Zeit des Riss-Würm-Interglazials und wohl schon in früheren Interglazialen kam es jedoch durch das Abschmelzen der grossen Eismassen im Bereich der glazial übertieften Talbereiche des Unteren Reusstals (Vorläufer des Vierwaldstättersees) sowie auch im Urserental zwischen Hospental und Urnerloch in vergangenen Zeiten zur Bildung tiefer Seen, welche im Laufe der Zeit durch feinkörnige, tonige Stillwasser- und Seebodensedimente aufgefüllt wurden. Im heutigen Talquerschnitt befinden sich diese (fossilen) Seetone jedoch erst in grösserer Tiefe. Seebodensedimente sind generell siltige Tone und ton- und sandhaltige Silte oder Lehme, die generell mit dem Ausdruck "Seetone" bezeichnet werden. Entsprechend wurden solche Seetone in den Tiefenbohrungen von Altdorf und Erstfeld erst in Tiefen von rund 300 m unter Terrain angetroffen. Sie dürften, wie die Seeablagerungen im heutigen Vierwaldstättersee, zum Teil enorm mächtig sein (geschätzte Mächtigkeit von ca. 70 – 100 m). Entsprechend wurde im Bereich des Reussdeltas aufgrund seismischer Untersuchungen eine tief liegende Schicht in rund 230-260 m Tiefe ebenfalls als fossile Seetone interpretiert.

Die fossilen Seebodenablagerungen im Becken von Andermatt bestehen mehrheitlich aus tonigen Feinsanden und Silten. Es ist davon auszugehen, dass im zentralen Bereich des Beckens eine Mächtigkeit der Seebodenablagerungen von ca. 120 m vorliegt. Im oberen Teil (ab ca. 1'400 m ü.M.) sind diese häufig mit Deltaablagerungen (Regime IV) und Flussschotter (Regime I) verzahnt.

Diese sogenannten fossilen Seetone können stellenweise sandige Zwischenlagen enthalten. Grundsätzlich sind die Seetone aber durch ihre meist homogen feinkörnige Zusammensetzung als undurchlässig zu bezeichnen und dürften im Bereich der grossräumig zusammenhängenden Lockergesteinsgrundwasserleiter als Stauer fungieren.

Erwähnenswert sind ebenfalls die in ihrer Zusammensetzung und Genese verwandten Verlandungs- und Seeufersedimente im Nahbereich des Seeufers zwischen Seedorf bis Bolzbach sowie bei Flüelen (Gebiet Grossried bis Dorfzentrum). Letztere können nach Süden bis ins Gebiet Altdorf Allmeini weiterverfolgt werden. Dabei handelt es sich um oberflächennahe, tonig-siltigen Verlandungssedimente und Seeablagerungen, welche in den oberen 10 bis 20 m in Wechsellagerung mit wasserführenden Schottern und Bachschutt- ablagerungen vorkommen.

Aufgrund dieser Wechsellagerung ist mit unterschiedlichen, zumindest lokal getrennten Grundwasserstockwerken und mit unterschiedlich gespannten Grundwasserspiegeln zu rechnen. Zudem kann, aufgrund des Abbaus des eingelagerten organischen Materials, ein Sauerstoffmangel im Grundwasser auftreten (reduziertes d.h. sauerstoffarmes Grundwasser). Solche Wässer weisen im Kontakt mit Sauerstoff entsprechend ein erhöhtes Potenzial von Ausfällungen (z.B. Eisen, Mangan etc.) auf, was insbesondere für den Betrieb von Grundwasserwärmepumpen Probleme mit sich führen kann.

3.5.2 Empfohlene Rechenwerte

Ausgehend von einer typischen Gesteinszusammensetzung in diesem Regime kann von folgenden thermischen und hydrogeologischen Eigenschaften ausgegangen werden.

	Wärmeleitfähigkeit [W/m*K]	Spez. Wärmekapazität [MJ/m ³ *K]	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
Regime V (trocken)	0.4 – 1.0	1.5 – 1.6	< 10 ⁻⁵
Regime V (wassergesättigt)	0.9 – 2.3	2.0 – 2.8	< 10 ⁻⁵

Tabelle 3-5: Empfohlene Rechenwerte Regime IV: Deltaablagerungen, Überschwemmungssedimente. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri.

Grundsätzlich muss bei diesen meist tonigen Sedimenten von eher ungünstigen thermischen Eigenschaften ausgegangen werden. Die Wärmeleitfähigkeit liegt im tiefen Bereich und erreicht nur in sandigen, wasserführenden Schichten höhere Werte.

Die Wärmekapazität von tonig-siltigen Schichten ist hingegen mit mittel bis hoch zu bezeichnen, je nach Wassersättigung. Ist zudem der Grundwasserstrom gering und findet somit kaum eine Abführung der Wärme statt, eignen sich diese Schichten als Erdspeicher.

Pfahlanlagen sind in Verlandungs- und Seeufersedimenten sowie Stillwasser- und Seebodensedimenten in der Regel notwendig. Aufgrund der ungünstigen geotechnischen Verhältnisse sind häufig sogar relativ tiefe Pfähle notwendig, was für die Wärmenutzung und Wärmespeicherung von Vorteil ist. Es gelten grundsätzlich die Kennwerte wie bei Erdwärmesonden beschrieben und somit auch die Eignung dieser Sedimente als Erdspeicher, was der Effizienz von Energiepfahlanlagen zusätzlich sehr entgegenkommt.

Erdwärmekollektoren können in Regime V genutzt werden. Erdregister werden typischerweise in einer Tiefe bis ca. 2 m, Wärmekörbe bis ca. 3.5 m eingebaut. In diesem Regime ist dies mittels Baggereinsatz möglich. Da diese Wärmenutzungssysteme nur sehr oberflächennah und im nicht wassergesättigten Bereich eingesetzt werden, ist einerseits der Platzbedarf entsprechend gross und andererseits sind bezüglich Wärmeübertragung um einiges ungünstigere Kennwerte als bei Erdwärmesonden beschrieben anzunehmen.

Diese Sedimente sind in der Regel gering durchlässig bis undurchlässig und bewegen sich im Bereich < 10⁻⁵ m/s. Sie stellen somit Grundwasserstauer dar und sind zur Grundwasserentnahme kaum bis gar nicht geeignet.

3.5.3 Nutzungspotenzial

Auf Basis obiger Ausführungen kann ein technisches Nutzungspotenzial für einzelne Wärmenutzungssysteme bestimmt werden. In Kapitel 4 ist dies für alle Wärmenutzungssysteme in allen Regimes beschrieben und in Anhang A zusammengefasst.

3.6 Regime VI: Karstgebiete

3.6.1 Allgemeines

Karstgebiete finden sich praktisch ausschliesslich im nördlichen Kantonsteil. Unter den karstanfälligen Gesteinsformationen sind insbesondere die teilweise mehrere 100 m mächtigen Malmkalke (Quinten-Formation, Tros-Kalk) zu erwähnen, welche im Westen zwischen dem Erstfeldertal und Waldnacht (Schlossberg-Kette) sowie im hinteren Isenthal und im Osten zwischen dem Brunnital und Maderanertal, im Bereich Schattdorf Acherli sowie zwischen Bisistal und Chinzig Chulm grossräumig aufgeschlossen sind.

Karststrukturen sind ebenfalls in den Kreide-Kalken der Helvetischen Decken beidseits des Vierwaldstätter-sees bekannt, insbesondere in der Schrattekalk-Formation, aber auch im Betliskalk sowie untergeordnet im Seewerkalk. Diese Ost-West streichenden Schichten können im Osten im Bereich Griesstock bis ins Glattengebiet nördlich des Klausenpasses oder entlang der südlichen Flanke des Riemenstaldner Tales verfolgt werden. Im Westen ist insbesondere das besiedelte Gebiet bei Seelisberg zu erwähnen.

Diese teilweise stark verkarsteten Kalkstein-Lithologien können in mächtigen Kluft-, Röhren- und Höhlensystem grosse Mengen von Grundwasser führen. Karstlandschaften sind entsprechend häufig durch das Fehlen von Oberflächengewässern gekennzeichnet. Durch natürliche Becken, welche keinen oberflächlichen Abfluss aufweisen, werden grosse Niederschlagsmengen für den direkten Abfluss in das Karstsystem aufgefangen (z.B. Seelisbergersee). Die Wasserführung der Karstsysteme ist in der Regel von Regenereignissen abhängig und somit stark schwankend. Innerhalb des Karstsystems können dabei hohe Fliessgeschwindigkeiten von bis zu mehreren hundert Metern pro Tag auftreten, was mitunter eine geringe Filterwirkung mit sich bringt.

Südlich von Schattdorf entlang der Felswand aus dem Unteren Quintner-Kalk tragen zahlreiche Karstquellen zur Grundwasserneubildung im Reusstal bei (z.B. Stille Reuss).

3.6.2 Empfohlene Rechenwerte

Ausgehend von einer Zusammensetzung aus Kalkgestein im Wesentlichen kann von folgenden thermischen und hydrogeologischen Eigenschaften ausgegangen werden.

	Wärmeleitfähigkeit [W/m*K]	Spez. Wärmekapazität [MJ/m ³ *K]	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
Regime VI (Kalkstein)	2.5 – 3.6	2.1 – 2.4	-

Tabelle 3-6: Empfohlene Rechenwerte Regime VI: Karstgebiete. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri.

Die Wärmeleitfähigkeit liegt im hohen bis sehr hohen Bereich. Aus rein energetischer Sicht können somit in Karstgebieten sehr effiziente Erdwärmesondenanlagen installiert werden. Allerdings zirkulieren in Karstgebieten häufig Infiltrationsgewässer, welche das Gestein abkühlen. Bei der Dimensionierung von Erdwärmesonden – vor allem zu Heizzwecken – muss dies gegebenenfalls berücksichtigt werden. Da die Karstgebiete im Kanton Uri sich eher in tieferen topographischen Lagen mit Siedlungsgebieten überlappen (Attinghausen, Schattdorf oder Seelisberg), können Erdwärmesonden zu Kühlzwecken aufgrund dieses Phänomens umso attraktiver sein.

Als Erdspeicher sind sie dank einer relativ hohen Wärmekapazität ebenfalls gut nutzbar, vorausgesetzt, es findet keine zu starke Umströmung durch Grundwasser statt, welche die zu speichernde Wärmeenergie abführt.

Pfahlbauten sind in diesem Regime aus geotechnischen Gründen nicht notwendig, womit auch Energiepfahlanlagen nicht in Frage kommen. Auch Erdwärmekollektoren kommen in diesem nicht baggerfähigen Gestein ebenfalls kaum zu einem ökonomisch vorteilhaften Einsatz.

In Karstgebieten gibt es mächtige Grundwasserleiter. Aufgrund oft schwer vorhersehbarer, teils sehr hohen Fliessgeschwindigkeiten und den daraus entstehenden, gewässerschutztechnischen Gefahren eignen sich die Grundwasser aus Karstgebieten in der Regel nicht zur Wärmenutzung. Die Angabe eines Durchlässigkeitsbeiwerts macht daher auch keinen Sinn. Die Nutzungsmöglichkeiten von Karstquellen in diesem Zusammenhang sind situativ zu prüfen.

3.6.3 Nutzungspotenzial

Auf Basis obiger Ausführungen kann ein technisches Nutzungspotenzial für einzelne Wärmenutzungssysteme bestimmt werden. In Kapitel 4 ist dies für alle Wärmenutzungssysteme in allen Regimes beschrieben und in Anhang A zusammengefasst.

3.7 Regime VII: Quellfähige Felsgesteine

3.7.1 Allgemeines

Unter den quellfähigen Felsgesteinen (Regime VII) sind hauptsächlich die Gesteine der frühen Kreide hervorzuheben. Hierbei sind vor allem die Vitznau-Formation sowie die Palfris-Formation entscheidend. Bei beiden handelt es sich in der Regel um relativ weiche, schiefrige, dünnbankige Wechsellagerungen von Kalcken, Mergelkalcken und reinen Mergeln, wobei kleinräumige Variationen des Ton- und Kalkanteils meist eine sedimentäre Lamination zur Folge hat.

Die weichen Mergel der frühen Kreide bilden häufig Abscherhorizonte innerhalb des helvetischen Deckenkomplexes und sind an der Oberfläche häufig stark verwittert, bzw. durch Lockergesteine überdeckt. Die ursprüngliche sedimentäre Mächtigkeit der Mergel aus der frühen Kreide betrug vermutlich ca. 200-250 m. Durch tektonische Anhäufung während der alpinen Gebirgsbildung wurde diese stellenweise um ein 4-faches vergrößert und stark verfaltet. So finden sich unterhalb der Lockergesteinsbedeckung zwischen der Südflanke des Riemenstaldnertals bis Dorni („Zone von Sisikon“) auf einer Länge von rund 900 m steilstehende Mergel der Palfris-Formation. Auf der gegenüberliegenden Seeseite bilden die Vitznau- und Palfris-Formationen das Grundgestein im Bereich Bauen und verlaufen danach westwärts.

Die Palfris- und Vitznau-Formationen wirken grundsätzlich als Wasserstauer und liegen gemäss aktuellem Kenntnisstand bereits in geringer Tiefe trocken vor. Der Zutritt von Wasser kann jedoch gewisse Gesteinsbestandteile lösen und Oxidationsvorgänge bewirken. Als Resultat wird die Festigkeit erniedrigt, die Plastizität erhöht und es erfolgt eine Volumenzunahme (Quellung) des Gesteins.

3.7.2 Empfohlene Rechenwerte

Ausgehend von einer Zusammensetzung im Wesentlichen aus Kalk, Mergelkalk und Mergel kann von folgenden thermischen und hydrogeologischen Eigenschaften ausgegangen werden.

	Wärmeleitfähigkeit [W/m*K]	Spez. Wärmekapazität [MJ/m ³ *K]	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
Regime VII	2.0 – 3.0	2.1 – 2.4	-

Tabelle 3-7: Empfohlene Rechenwerte Regime VII: Quellfähige Felsgesteine. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri.

Die Wärmeleitfähigkeit liegt im hohen Bereich. Aus rein energetischer Sicht können somit in Regime VII effiziente Erdwärmesondenanlagen installiert werden.

Als Erdspeicher sind sie dank einer relativ hohen Wärmekapazität ebenfalls gut nutzbar, vor allem auch, weil in diesem Regime keine Umströmung durch Grundwasser zu erwarten ist, welche die zu speichernde Wärmeenergie abführt.

Unter Umständen ist bei Bauten in diesem Regime eine Pfählung nötig. Diese können in diesem Falle als effiziente Energiepfähle ausgebaut werden.

Falls das anstehende Gestein baggerfähig ist, können mit ökonomisch gerechtfertigtem Aufwand Erdwärmekollektoren installiert werden.

Da innerhalb dieses Regimes keine Grundwasserströme zu erwarten sind, wird die Nutzung von Grundwasser nicht weiter behandelt. Auf die Angabe eines Durchlässigkeitsbeiwerts wird somit ebenfalls verzichtet.

3.7.3 Nutzungspotenzial

Auf Basis obiger Ausführungen kann ein technisches Nutzungspotenzial für einzelne Wärmenutzungssysteme bestimmt werden. In Kapitel 4 ist dies für alle Wärmenutzungssysteme in allen Regimes beschrieben und in Anhang A zusammengefasst.

3.8 Regime VIII: Übrige Felsgesteine

3.8.1 Allgemeines

Die tektonischen Einheiten im Kanton Uri verlaufen weitgehend von West nach Ost, ungefähr parallel zum Alpenrand. Im südlichen Kantonsgebiet (Urserental) bis Erstfeld dominieren dabei die altkristallinen Schiefer und Gneise des Gotthard- und Aarmassivs (Infrahelvetikum). Diese umgeben die zwei grossen Intrusivkomplexe (im weitesten Sinne Gotthard- und Aaregranit). Im Norden wird das Aarmassiv im Bereich von Erstfeld durch das autochthone Mesozoikum bedeckt (sedimentäre Abfolge inkl. Gesteine des Regime VI), welches nach Norden einfällt und durch die alpine Gebirgsbildung schwach verfaltet und verschuppt ist. Im Bereich des Schächentals folgen anschliessend verschiedene Flyschformationen (Altdorfer Sandstein und andere Flysche), welche anschliessend im nördlichen Schächental bzw. nördlich des Surenenpasses durch die weit von Süden her überschobenen Helvetischen Deckenkomplexe überlagert werden (sedimentäre Abfolgen inkl. Gesteine des Regime VI und VII).

Die altkristallinen Gesteine des Gotthard- und Aarmassivs inkl. deren Intrusivkomplexe (Gotthard- und Aaregranit) und auch die Flyschabfolgen sowie die kalkig-kieseligen Schichten in den Sedimenten des Mesozoikums bilden typische Kluffgrundwasserleiter. Diese speisen stellenweise ergiebige, sogenannte Felsquellen, welche in Fassungen der öffentlichen Trinkwasserversorgung genutzt werden. Typische Beispiele sind unter anderen die Quellen im Bannwald von Altdorf, die Quellen am Sagerbach in Göschenen oder die Quellen im Bristentunnel bei Vorder Ried in Amsteg.

3.8.2 Energetische Kennwerte

Ausgehend von einer Zusammensetzung oben genannter Gesteine kann von folgenden thermischen und hydrogeologischen Eigenschaften ausgegangen werden.

	Wärmeleitfähigkeit [W/m*K]	Spez. Wärmekapazität [MJ/m ³ *K]	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
Regime VIII	1.5 – 3.5	2.0 – 2.5	-

Tabelle 3-8: Empfohlene Rechenwerte Regime VIII: übrige Felsgesteine. Adaptiert aus SIA Norm 384/6 für typische Vorkommen im Kanton Uri

Da dieses Regime alle Felsgesteine beinhaltet, welche nicht als Karstgebiet oder als quellfähiges Felsgestein identifiziert worden sind, ist die Variation auch hinsichtlich der thermischen Kennwerte sehr gross und kann nur sehr grob wiedergegeben werden. Falls genauere Daten benötigt werden, wird hiermit auf lokale Messungen (Thermal Response Test) oder die SIA Norm 384/6 verwiesen.

Da es sich um Felsgesteine handelt, liegt die Wärmeleitfähigkeit aber grundsätzlich im hohen Bereich. Aus rein energetischer Sicht können somit in diesen Gebieten effiziente Erdwärmesondenanlagen installiert werden.

Als Erdspeicher sind sie dank einer in der Regel relativ hohen Wärmekapazität ebenfalls gut nutzbar, vorausgesetzt es findet keine zu starke Umströmung durch Grundwasser statt, welche die zu speichernde Wärmeenergie abführt.

Pfahlbauten sind in diesem Regime aus geotechnischen Gründen nicht notwendig, womit auch Energiepfahlanlagen nicht in Frage kommen. Auch Erdwärmekollektoren kommen in diesem nicht baggerfähigen Gestein ebenfalls kaum zu einem ökonomisch vorteilhaften Einsatz.

In den übrigen Felsgesteinen können ähnlich den Karstgebieten mächtige und ergiebige Grundwasserleiter auftreten. Aufgrund oft schwer vorhersehbaren, teils sehr hohen Fließgeschwindigkeiten, und nicht zuletzt aus gewässerschutztechnischen Gründen, eignen sich die Grundwasser aus diesem Regime aber grundsätzlich nicht zur Wärmenutzung.

3.8.3 Nutzungspotenzial

Auf Basis obiger Ausführungen kann ein technisches Nutzungspotenzial für einzelne Wärmenutzungssysteme bestimmt werden. In Kapitel 4 ist dies für alle Wärmenutzungssysteme in allen Regimes beschrieben und in Anhang A zusammengefasst.

3.9 Regime IX: Oberflächengewässer

Oberflächengewässer, also See- und Fließgewässer, entsprechen einem eigenständigen hydrogeologischen Regime, da sie einerseits zum (erweiterten) Erdreich gehören und sich andererseits wesentlich von den anderen Regimes unterscheiden. Deren Nutzung zu Heiz- und Kühlzwecken hat hohes Potenzial. In Kapitel 7.1 ist dies separat beschrieben.

3.10 Regime X: Deckschichten, rezente Sturz- und Rutschgebiete, künstliche Auffüllungen, belastete Standorte, Grundwasserschutzzonen

Dieses Regime beinhaltet alle übrigen, geothermisch kaum oder nicht nutzbaren Einheiten.

Deckschichten

Weite Teile des Urner Reusstals sind von feinkörnigen, meist schlecht durchlässigen Deckschichten aus vorwiegend siltig-sandigen Überschwemmungssedimenten sowie stellenweise Stillwasser- und Verlandungsbildungen bedeckt. Zum Teil stehen an der Erdoberfläche auch Verlandungsbildungen und seenahe Ufersedimente mit organischen Bestandteilen an. Die Deckschichten sind im Durchschnitt etwa 1-3 m mächtig. Lokal ist eine geringmächtige Humusschicht (max. 0.5 m) vorhanden. Während im Bereich Amsteg-Silenen noch grössere Gebiete ohne Deckschicht vorhanden sind, treten solche weiter im Norden nur noch lokal auf. Grosse Veränderungen haben u.a. auch die Überschwemmungen des Hochwassers von 1987 und 2005 gebracht.

In Gebieten mit geringem Flurabstand sind die Deckschichten teilweise grundwassergesättigt. Es können auch gespannte Verhältnisse auftreten (z.B. Schützenschachen Silenen). Die Schutzfunktion der Deck-

schicht ist in diesen Bereichen eingeschränkt. Ihre Durchlässigkeit variiert, je nach Gehalt an tonigem Material.

Auch im Bereich der Bach- und Runsenschuttkegel sind lokal feinkörnige, schlecht durchlässige Deckschichten von nur geringer flächenhafter Ausdehnung anzutreffen.

Deckschichten sind in der Regel zu geringmächtig um einen signifikanten Anteil zum gesamten Energieertrag der betrachteten Wärmenutzungssysteme zu leisten. Falls aus anderen Gründen nichts dagegen spricht, können sie zur Installation von Erdwärmekollektoren genutzt werden.

Gehängeschutt, Sturzzone

Als jüngere, oberflächliche Bildungen sind die grösseren Sackungsmassen bei Attinghausen, das Bergsturzgebiet vom Haldi sowie weite Teile der nördlichen Hänge im Schächental zu nennen.

Künstliche Auffüllungen

Ausser den natürlichen Deckschichten findet man im Urner Reusstal vielerlei künstliche Auffüllungen und Schüttungen vor. Diese bestehen aus verschiedensten Materialien. Als Beispiele seien hier die Dammschüttungen entlang der Reuss für die SBB-Gothardlinie und die Nationalstrassen N2 und N4, aber auch verschiedene Deponien und Aufschüttungen für Bauzwecke genannt.

Grundwasserschutzzonen (Verbotzone)

In den Gebieten mit Grundwasserschutzzonen gilt ein klares Verbot für eine Wärmenutzung des Untergrunds. Dies ist in der Vollzugshilfe „Wärmenutzung aus Boden und Untergrund“ (BAFU, 2009) sowie der Wegleitung „Grundwasserschutz“ (BUWAL, 2004), welche auf dem schweizerischen Gewässerschutzgesetz (GSchG, SR 814.20) sowie der Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201) aufbauen, beschrieben. Ausnahmen gibt es in den Grundwasserschutzzonen S3, in welchen nach spezieller Prüfung der zuständigen Behörde eine Ausnahme für Erdwärmesonden, Geothermiebohrungen sowie Erdregister im Einzelfall bewilligt werden können.

Im Kanton Uri gibt es über 100 Grundwasserschutzzonen, wobei die wenigsten im Talbereich liegen. Im unteren Reusstal sind hier vor allem die rechtskräftig ausgeschiedenen Grundwasserschutzzonen Zwyermatte (inkl. Grundwasserschutzareal), Eielen, Schachen II, Jagdmatt und Schützenbrunnen zu erwähnen. Im Urserental ist auf Grund der intensiven Bautätigkeit im Talboden die provisorische Grundwasserschutzzone March von entscheidender Bedeutung.

Die jeweiligen spezifischen Grundwasserschutzzonen-Reglemente sind zu beachten resp. längerfristig anzupassen. Aktuelle Informationen zu den Grundwasserschutzzonen-Reglementen können beim Amt für Umweltschutz Kanton Uri bezogen werden.

Belastete Standorte

Eine Wärmenutzung des Untergrundes ist in belasteten Standorten, nach der Vollzugshilfe „Wärmenutzung aus Boden und Untergrund“ (BAFU, 2009), nur mit spezifischen Auflagen zugelassen. Voraussetzung ist, dass die Anforderungen an die Erstellung und Änderung von Bauten und Anlagen in belasteten Standorten gemäss Artikel 3 der Altlastenverordnung (AltIV, SR 814.680) erfüllt sind. Grundsätzlich gelten folgende spezifische Auflagen: (1) Verhinderung einer Mobilisierung von Schadstoffen; (2) Wasserrückgabe in den unverunreinigten Untergrund. Die zuständige Behörde kann weitere Auflagen definieren.

Im Kanton Uri gibt es hunderte von belasteten Standorten, wobei die meisten im Talboden liegen.

Die belasteten Standorte sind in einem kantonalen Kataster online einzusehen und werden laufend aktualisiert. Weitere Informationen erteilt das Amt für Umweltschutz Kanton Uri. Zusätzlich zu beachten sind die Kataster der belasteten Standorte des Bundes (VBS, BAV, BAZL).

4. Nutzungskatalog der hydrogeologischen Regimes

In den vorherigen Kapiteln wurden die für den Kanton Uri bedeutungsvollen Wärmenutzungssysteme vorgestellt. Die durch diese Systeme erreichbaren geologischen Einheiten wurden daraufhin in zehn hydrogeologische Regimes eingeteilt, mit Angabe typischer Werte für die Wärmeleitfähigkeit, die Wärmekapazität sowie den Durchlässigkeitsbeiwert für die Fels- und Lockergesteinsregimes I bis VIII.

Die folgende Abschätzung des Nutzungspotenzials beruht im Wesentlichen einerseits auf diesen thermischen bzw. hydrogeologischen Eigenschaften und andererseits auf den praktischen Eigenschaften des Baugrunds. Die zur Beurteilung des technischen Nutzungspotenzials relevanten Eigenschaften werden im Folgenden kurz erläutert, anschliessend in eine Prioritätenliste eingegliedert (Tabelle 4.1), damit letztlich ein Nutzungskatalog der Wärmenutzungssysteme für alle Regimes erstellt werden kann. Dieser befindet sich in Anhang A.

Parameter Wärmeleitfähigkeit [W/mK]

Die Wärmeleitfähigkeit in einem homogenen Stoff ist der Wärmestrom bei einem Temperaturgefälle von einem Kelvin pro Meter unter stationären Verhältnissen. In der SIA Norm 384/6 finden sich Tabellen mit typischen und empfohlenen Rechenwerten für verschiedene Gesteinstypen. Für die Rechenwertsempfehlungen in diesem Bericht (Kapitel 3) wurden diese beigezogen.

Die Wärmeleitfähigkeit ist ein wichtiges Mass für die Effizienz aller erdgekoppelten Wärmenutzungssysteme.

Parameter spezifische Wärmekapazität [J/KgK]

Die spezifische Wärmekapazität ist die Wärmeenergie, welche notwendig ist, um die Temperatur von 1 kg eines Stoffes um 1 K zu erhöhen. In der SIA Norm 384/6 finden sich Tabellen mit typischen und empfohlenen Rechenwerten für verschiedene Gesteinstypen. Für die Rechenwertsempfehlungen in diesem Bericht (Kapitel 3) wurden diese beigezogen.

Die Wärmekapazität ist ein wichtiges Mass für die Effizienz und Fähigkeit erdgekoppelter Wärmenutzungssysteme zur Speicherung von Wärmeenergie.

Parameter Dichte [kg/dm³].

Die Dichte bezeichnet das Verhältnis von Masse zu Volumeneinheit eines Stoffes. Die Dichte hat ebenfalls Einfluss auf die thermischen Eigenschaften.

Parameter Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]

Der Durchlässigkeitsbeiwert ist ein Mass für die Fähigkeit des Bodens, Wasser durchtreten zu lassen. Er wird oft auch als k-Wert, k_f -Wert oder hydraulische Leitfähigkeit bezeichnet. In der SIA Norm 384/7 finden sich Tabellen mit typischen und empfohlenen Rechenwerten für verschiedene Gesteinstypen. Für die Rechenwertsempfehlungen in diesem Bericht (Kapitel 3) wurden diese beigezogen.

Sie ist somit ein wichtiges Mass für die Ergiebigkeit eines Entnahmebrunnens sowie für die Schluckfähigkeit eines Rückgabebrunnens. In der Regel ist der Durchlässigkeitsbeiwert auch ein Indiz für das Vorhandensein eines Grundwasserstroms. Dieser hat prinzipiell einen positiven Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit des wasserführenden Untergrunds und somit auf die Effizienz der Erdwärmesonde oder anderen erdgekoppelten Systemen. Ein starker Grundwasserstrom hat allerdings negativen Einfluss auf die Speicherfähigkeit des Untergrunds, da die zu speichernde Wärmeenergie mit dem Wasser abgeführt wird.

Parameter Grundwasserspiegel [m]

Die Tiefe des Grundwasserspiegels ab OK Terrain (Flurabstand) ist ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der Grundwassernutzung. Je tiefer dieser liegt, desto höher die Bohrkosten und desto höher das Risiko eines Nichterreichens der erforderlichen Bohrtiefe durch das Bohrgerät. Auch die erdgekoppelten Systeme

hängen (untergeordnet) vom Grundwasserspiegel ab. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass Energiepfähle und Erdwärmekollektoren häufig nicht im Grundwasser installiert werden dürfen. Für diese zwei Systeme hat der Grundwasserspiegel somit einen wesentlichen Einfluss.

Parameter Grundwassermächtigkeit [m]

Für die Nutzbarkeit des Grundwassers ist in der Regel auch dessen Mächtigkeit von Bedeutung. Je nach Fördermenge kann nur bei genügend mächtigem Grundwasser gewährleistet werden, dass durch die Förderung und die Rückgabe keine signifikante Beeinträchtigung der hydraulischen Verhältnisse stattfinden.

Parameter Baugrund

Der Baugrund ist wichtig für die Beurteilung von Energiepfahlanlagen. Sind aus geotechnischen Gründen keine Pfähle erforderlich, ist die Installation von Energiepfählen nicht wirtschaftlich.

Der Baugrund ist ebenfalls wichtig für die Beurteilung der Machbarkeit von Erdwärmekollektoren. Bestehen die obersten ca. 5 m ab OK Terrain nicht aus baggerfähigem Material, ist die Installation von Erdwärmekollektoren nicht wirtschaftlich.

Prioritätenliste zur Bestimmung des Wärmenutzungspotenzials

Für die Abschätzung des Nutzungspotenzials werden somit folgende Eigenschaften in erster und zweiter Priorität berücksichtigt:

Wärmenutzungssystem	1. Priorität	2. Priorität
Erdwärmesonden	Wärmeleitfähigkeit	Wärmekapazität, Dichte
Grundwasserwärmepumpe	Durchlässigkeitsbeiwert	Grundwassermächtigkeit / Grundwasserspiegel
Energiepfahlanlagen	Baugrund, Grundwasserspiegel	Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität
Erdwärmekollektoren	Baugrund, Grundwasserspiegel	Wärmeleitfähigkeit

Tabelle 4-1: Priorität der Parameter zur Bestimmung des Wärmenutzungspotenzials für die jeweiligen Nutzungssysteme.

Aufgrund dieser Prioritätenliste und den Angaben aus Kapitel 2 kann jedem Wärmenutzungssystem ein Nutzungspotenzial innerhalb eines hydrogeologischen Regimes zugeordnet werden.

Es gilt zu berücksichtigen, dass die Angabe des technischen Nutzungspotenzials keinen Hinweis auf die Machbarkeit oder die Bewilligungsfähigkeit liefert, sondern lediglich auf den in Kapitel 3 und oben beschriebenen Kennwerten beruht. Er bezieht sich auf die Installation einer Einzelanlage, ohne Berücksichtigung bereits bestehender Anlagen.

Die Einstufung basiert auf folgender Skalierung:

- Nutzung technisch nicht möglich = „-“
- Geringes Potenzial (Nutzung in der Regel technisch nicht möglich) = „g“
- Mittleres Potenzial (Nutzung in der Regel technisch möglich) = „m“
- Hohes Potenzial (Nutzung technisch möglich und empfohlen) = „h“

Der daraus resultierende Nutzungskatalog befindet sich in Anhang A. Er zeigt zusammengefasst das Potenzial von Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen, Energiepfahlanlagen und Erdwärmekollektoren

innerhalb der jeweiligen Regimes I bis VIII. Regime IX (Oberflächengewässer) wird qualitativ in Kapitel 7.1 behandelt. Aufgrund der hohen Variabilität der Standorteigenschaften wird auf die Angabe eines Nutzungspotenzials für Regime X verzichtet.

Das effektive Nutzungspotenzial für ein spezifisches Bauvorhaben sollte auf jeden Fall standortgebunden abgeklärt werden.

5. Erdwärmesonden im Kanton Uri

5.1 Potenzial im Kanton Uri

Die Ausführungen in diesem Kapitel beziehen sich ausschliesslich auf Erdwärmesonden mit einer Bohrtiefe kleiner als 400 m. Diese Bohrtiefe entspricht gemäss Definition der SIA Norm 384/6 sogenannten untiefen oder oberflächennahen Erdwärmesonden.

Das Potenzial von Erdwärmesonden und Erdspeichern im Kanton ergibt sich im Wesentlichen aus dem Nutzungspotenzial innerhalb der einzelnen Regimes und dessen Verbreitung im Kanton (inkl. deren Mächtigkeit). Ausserdem ist die Nähe zum Siedlungsgebiet zu berücksichtigen.

Im Falle von Erdwärmesonden fällt aus dem Nutzungskatalog in Anhang A auf, dass das Nutzungspotenzial in Felsgesteinen (Regime VI bis VIII) durchwegs hoch ist und in Lockergesteinen (Regime I bis V) durchwegs mit „mittel“ bezeichnet wird, wobei gerade in Lockergesteinen die Wassersättigung noch einen positiven Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit und somit auf das Nutzungspotenzial hat. Die Tatsache, dass das Nutzungspotenzial von Erdwärmesonden im Kanton Uri in jedem Regime mindestens „mittel“ ist bedeutet, dass sie grundsätzlich in allen Regimes technisch realisiert und wirtschaftlich betrieben werden können. Dasselbe gilt auch für Erdspeicher, also Erdwärmesonden, welche auch zum Kühlen im Sommer und zur Speicherung der Wärmeenergie im Erdreich bis in die Heizperiode genutzt werden. Allerdings nimmt die Speichereffizienz bei starkem Grundwasserstrom ab, welcher im Kanton Uri bei Wassersättigung aufgrund des generellen Gefälles meistens gegeben ist.

Zusammengefasst heisst das, dass sich vor allem die Felsgesteine des Kantons Uri hervorragend zur Nutzung und Speicherung von Wärmeenergie mittels Erdwärmesonden eignen. Die Lockergesteine eignen sich grundsätzlich auch zur Wärmenutzung (vor allem im wassergesättigten Zustand), allerdings eher weniger zur saisonalen Speicherung der Wärmeenergie.

Erdwärmesonden und Erdspeicher erreichen im Kanton Uri ihre höchste Effizienz dort, wo sie vollständig in Felsgestein installiert werden können, oder das Felsgestein zumindest in bohrtechnisch erreichbarer Tiefe (< ca. 80 m) liegt. In weiten Teilen des Urner Talbodens ist allerdings durch die mächtige Bedeckung vor allem durch Regime I und IV bei Erdwärmesonden von reinen Lockergesteinsbohrungen auszugehen. Dieser, im Vergleich zu Felsgesteinen, verminderten Effizienz soll mit der Dimensionierung der Erdwärmesonde Rechnung getragen werden.

Wird die Planung und Dimensionierung von Erdwärmesonden und Erdspeichern bei Klein- und Grossanlagen seriös und nachhaltig durchgeführt, kann von einem nahezu unerschöpflichen Potenzial im Kanton Uri ausgegangen werden.

Wichtige Bestandteile einer fachgerechten Planung und Dimensionierung bei Einzelanlagen sind hiermit kurz aufgeführt:

- Projektierung, Planung und Realisierung unter Einbezug eines fachkundigen Planungs- und / oder Geologiebüros.
- Dimensionierung der Erdwärmesonden gemäss Anleitung der SIA Norm 384/6 unter Einbezug der lokalen geologischen und hydrogeologischen Bedingungen.
- Einhalten von Mindestabständen zwischen Erdwärmesonden (mind. 5 m) und Grenzabständen.
- Beauftragungen einer erfahrenen, zertifizierten (z.B. FWS Gütesiegel) Bohrunternehmung.
- Sicherstellung der Ausführungsqualität der Bohrfirmen, vor allem hinsichtlich Hinterfüllung sowie Druck- und Durchflussprüfung der Erdwärmesonden
- Überprüfung der Erdwärmesondendimensionierung bei Wärmepumpensanierungen bzw. bei Wärmepumpenersatz.

Zur übergeordneten, nachhaltigen Sicherstellung des Nutzungspotenzials im gesamten Kanton Uri sind unter anderem folgende Aspekte von zentraler Bedeutung:

- Anstelle einzelner Anlagen sollen möglichst Grossanlagen mit Wärmeverbund erstellt werden.
- Grössere Erdwärmesondenanlagen (Erdwärmesondenfelder) sollen nach Möglichkeit auch zur Gebäudekühlung und als Erdspeicher genutzt werden. Vor allem Felsgesteine sind in der Regel effektive Erdspeicher.
- Erarbeitung und Umsetzung von Energierichtplänen.
- Zusammenschluss von Wärme- und Kältenutzern, z.B. zur saisonalen Speicherung von Industrieabwärme im Erdreich.
- Erstellung von Anergienetzen

5.2 Gefährdungsbilder

Im Folgenden werden mögliche Gefährdungsbilder, welche im Kanton Uri nach aktuellem Wissensstand bei Erdwärmesonden auftreten oder auftreten könnten, beschrieben und bewertet.

5.2.1 Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten

Dies beinhaltet die direkte Gefährdung des Grundwassers durch den Bohr- oder den Verfüllungsvorgang, bzw. während dem Betrieb der Anlage, z.B. Austritt von Maschinen- oder Hydrauliköl, von Wärmeträgerflüssigkeit, von Hinterfüllmaterial, von Stützflüssigkeiten bei Rotary-Spülbohrungen (ohne Mantelverrohrung). Vor allem in den teils mächtigen Lockergesteinsdecken und Grundwasserleitern der Talsohle ist dies zu berücksichtigen. Da das Grundwasser weiträumig betroffen sein könnte und teilweise zu Trinkwasserzwecken gefördert wird, ist das Schadenspotenzial generell hoch in grundwasserführenden Regimes.

Durch sachgemässe Ausführung und Einsatz entsprechender bohrtechnischer Hilfsmittel kann dieses Risiko allerdings stark minimiert werden. Sind im potentiellen Einflussbereich der Bohrungen Trinkwassernutzungen vorhanden, werden vergleichende Messungen hinsichtlich Wasserqualität der betroffenen Quellen oder an Grundwassermessstationen empfohlen.

5.2.2 Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke und Wasserwegsamkeiten

Dieses Gefährdungsbild ist von zentraler Bedeutung, da es irreparable Auswirkungen auf das Grundwasser und somit auf das Trinkwasser haben kann. Es beinhaltet die Schaffung neuer Wasserwegsamkeiten, grundsätzlich zwischen den Grundwasserstockwerken aber auch zwischen verschiedenen Karst- oder Kluftsystemen sowie auch mit der Oberfläche. Deren Vermischung kann einerseits die hydraulischen Verhältnisse im Untergrund beeinflussen und andererseits chemische Zusammensetzungen verändern, welche sich wiederum auf das Umgebungsgestein auswirken können. Insbesondere dort wo sich in der Talsohle verschiedene Grundwasserleiter überlagern sowie in den Regimen VI und VIII ist dies zu berücksichtigen.

Durch sachgemässe Ausführung und Einsatz entsprechender bohrtechnischer Hilfsmittel kann dieses Risiko stark minimiert werden. Darüber hinaus existieren bohrtechnische Hilfsmittel zur mechanischen oder hydraulischen Abdichtung eines Bohrlochs, zusammengefasst unter dem Begriff „Packer“ bzw. „Bohrloch-Packer“. Speziell für Erdwärmesonden wurden auch sogenannte „Erdwärmesonden-Gewebepacker“ entwickelt (siehe dazu auch diverse Merkblätter, welche auf der Website von Energie Schweiz aktuell zur Verfügung gestellt werden). Packer zur Bohrlochabdichtung werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Entsprechend existieren auch zahlreiche Ausführungsformen. Diverse Studien haben in den letzten Jahren aufgezeigt, dass die Hinterfüllung einer Erdwärmesonde praktisch nie komplett dicht ist. Die Bedeutung von Packern

aus gewässerschutztechnischen Gründen ist entsprechend gestiegen. Siehe dazu auch den Schlussbericht CSD im Auftrag von Energie Schweiz: Qualitätssicherung Erdwärmesonden 2015.

5.2.3 Unvollständige Hinterfüllung

Zentrale Aufgaben der Hinterfüllung sind der Schutz der Erdwärmesonde, die Bohrlochabdichtung sowie die thermische Anbindung der Sonde ans Erdreich. Die dazu erforderlichen materiellen Eigenschaften sind in der BAFU Vollzugshilfe „Wärmenutzung aus dem Boden“ erläutert. Eine gewisse Absenkung ist aufgrund der Verhärtung der Mischung des Hinterfüllmaterials als normal zu bezeichnen. Das Absenkmass soll gemäss Vollzugshilfe BAFU 2009 „Wärmenutzung aus Boden und Untergrund“ aber maximal 5 m oder 2% der Bohrtiefe betragen.

Eine nachträgliche Senkung der Hinterfüllung deutet auf eine lückenhafte Verpressung oder auf ein nachträgliches Wegfliessen hin. Beides ist gewässerschutztechnisch als kritisch zu betrachten und resultiert ausserdem in einer Verschlechterung der thermischen Anbindung und somit in einer nicht optimierten Anlage. Ein Wegfliessen der Hinterfüllung kann durch einen sogenannten Erdwärmesonden-Strumpf verhindert werden (siehe dazu auch diverse Merkblätter, welche auf der Website von Energie Schweiz aktuell zur Verfügung gestellt werden).

Allerdings gilt es zu berücksichtigen, dass Hinterfüllungen von Erdwärmesonden in der Realität wahrscheinlich immer zumindest teilweise lückenhaft sind. Diese Lücken sind mit aktuell zur Verfügung stehenden technischen Mitteln jedoch nicht direkt nachweisbar. Siehe dazu auch den Schlussbericht CSD im Auftrag von Energie Schweiz: Qualitätssicherung Erdwärmesonden 2015.

5.2.4 Starker Wasserzutritt

Angebohrtes Wasser im Untergrund oder Bohrwasser vermischt sich beim Bohrvorgang mit dem eigentlichen Bohrgut und kann bei starkem Wasserzutritt zu hohen Fördervolumen führen. Um Schäden an Umwelt und bestehenden Bauten zu vermeiden ist ein fachgerechter Umgang essentiell.

Beim Umgang mit Bohrschlamm und Bohrwasser wird an dieser Stelle auch auf das Merkblatt „Bohrschlamm und Abwasser aus Erdwärmesonden-Bohrungen“ vom ZUDK verwiesen.

In kritischen Fällen wird empfohlen, dass die Abgabe eines Entsorgungsnachweises durch die Bohrfirma oder durch den begleitenden Geologen verfügt wird.

5.2.5 Thermische Auswirkung auf Grundwasser

Das eine Erdwärmesonde umgebende Grundwasser kann sich abkühlen (bei Heizbetrieb der Wärmepumpe) oder erwärmen (bei Kühlbetrieb der Wärmepumpe). Anhang 2 Ziffer 21 GSchV regelt die allgemeinen Anforderungen an die Wasserqualität unterirdischer Gewässer. So darf gemäss Absatz 3 die Temperatur des Grundwassers durch Wärmeeintrag oder Wärmeentzug gegenüber dem natürlichen Zustand um höchstens 3 Grad Celsius verändert werden, wobei örtlich eng begrenzte Temperaturveränderungen (innerhalb von 100 m) vorbehalten bleiben.

Nebst grundwasserschutztechnischen Aspekten besteht hierbei auch die Gefahr der Beeinflussung bestehender (abstrom liegender) Grundwassernutzungen.

Bei grossen Erdwärmesondenfeldern in Grundwasserträgern sollte deshalb nebst der Erdreichsimulation zur Dimensionierung der Erdwärmesonden (siehe Kapitel 5.1) auch der thermische Einfluss auf das Grundwasser modelliert werden.

5.2.6 Hydraulischer Grundbruch

Bei Bohrungen im Grundwasser von feinkörnigen, vor allem sandigen Sedimenten kann es vorkommen, dass trotz stützender Verrohrung die das Bohrloch umgebenden Sedimente von unten in die Bohrung eingetrieben werden. Die Folge ist ein hoher Materialaustrag aus der direkten Umgebung.

Der hydraulische Grundbruch hat ein hohes Schadenspotenzial, da er zu Senkungen an der Oberfläche und somit zu substantiellen Schäden an bestehenden Bauten führen kann.

Bei Bohrungen in feinkörnigen Sedimenten sollte deshalb stets der Materialaustrag aus dem Bohrloch beobachtet und protokolliert werden. Übersteigt dieser signifikant die erwartete Menge aus der Bohrlochgeometrie besteht die Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs.

Bei Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs muss auf Imlochhammerbohrungen mit Hilfsverrohrung und hohem Kompressordruck verzichtet werden. In Abklärung mit dem Geologen und dem Amt für Umweltschutz kann gegebenenfalls auf ein Rotary-Spülbohrverfahren umgestellt werden.

5.2.7 Arteser

Gespanntes Grundwasser entsteht, wenn es durch eine undurchlässige Schicht nach oben abgedichtet wird und dadurch seine eigentliche hydrostatische Druckhöhe nicht erreichen kann. Ist diese Druckhöhe oberhalb OK Terrain spricht man von artesisch gespannt. Wird die stauende Schicht durchbohrt, steigt das darunter liegende, angebohrte Grundwasser im Bohrloch auf seine hydrostatische Druckhöhe an. Bei einem Arteser tritt das Grundwasser an der Oberfläche aus.

Der Austritt von Grundwasser an die Oberfläche kann nicht nur zu weiträumigen Verschmutzungen sondern auch zu Schäden an bestehenden Bauten führen. Gegebenenfalls muss Polizei und Feuer- bzw. Wasserwehr benachrichtigt werden. Wird gespanntes Grundwasser angebohrt, ist es häufig schwierig genau nachzuzuvollziehen wohin das angebohrte Wasser fliesst. Es ist deshalb bei gespanntem Grundwasser generell Vorsicht geboten.

Zudem führt das Anbohren artesisch gespannten Grundwassers zur Verminderung des hydraulischen Drucks im Aquifer und kann die Grundwasserverhältnisse nachhaltig beeinflussen.

5.2.8 Stahlrohrverlust

Das Imlochhammerverfahren ist aktuell das gängigste Bohrverfahren bei Erdwärmesondenbohrungen. Das Gestein wird dabei im Bohrloch zertrümmert und mittels Luftspülung aus dem Bohrloch ausgebracht. Beim Bohrvortrieb im Lockergestein muss somit stets eine Mantelverrohrung mit vorangetrieben werden zur Stabilisierung der Bohrlochwand. Nachdem die Erdwärmesonde installiert worden ist, wird diese normalerweise während dem Hinterfüllvorgang herausgezogen und kann bei einer anderen Bohrung wiederverwendet werden. Diese Mantelverrohrung besteht aus Stahlrohren, welche sehr hohe Drehmomente aushalten müssen und entsprechend kostenintensiv sind.

Es gibt einige Gründe für einen möglichen Verlust eines oder mehrerer Rohre im Erdreich. Die meisten sind bohrtechnischer Natur und werden in dieser Arbeit nicht weiter diskutiert. Aber auch geologische Begebenheiten können das Risiko für den Stahlrohrverlust erhöhen. Der wichtigste ist die Kohäsion feinkörniger, toniger Schichten. Werden die Rohre in zu grosser Tiefe verwendet und / oder zu lange nicht bewegt, kann die Kohäsion bewirken, dass das Bohrgerät nicht mehr genügend Drehmoment zum Herausziehen aufbringen kann. Ein weiterer Grund können Blöcke sein, welche zum Verkeilen oder Verklemmen der Stahlrohre führen.

Der Stahlrohrverlust hat nach aktuellem Wissensstand keine relevanten gewässerschutztechnische Auswirkungen (bei Rohrqualität nach aktuellem technischem Standard). Das Gefährdungsbild ist somit rein bohr- und bautechnisch mit einem insgesamt geringen Schadenspotenzial.

Durch eine vorgängige geologische Prognose und entsprechender Planung der Bohrarbeiten kann mit hoher Wahrscheinlichkeit ein kostenträchtiger Stahlrohrverlust vermieden werden.

5.2.9 Quetschung der Erdwärmesonde

Die Quetschung von Erdwärmesondenrohren nach deren Installation im Bohrloch ist ein ernstzunehmender Schaden, denn bereits geringfügige Beulen können den Durchfluss und somit die Leistungsfähigkeit der Erdwärmesonde empfindlich stören.

Die Quetschung ist in der Regel das Resultat einer Volumenzunahme des Umgebungsgesteins. Diese kann verschiedene Ursachen haben, wovon eine für den Kanton Uri relevant und geologisch bedingt ist. Tonminerale und somit stark tonhaltige Gesteine sind quellfähig. Diese Quellfähigkeit beruht auf der Einlagerung von Wassermolekülen in oder um die Tonminerale. Dieses Gefährdungsbild kann in Regime VII (Quellfähige Gesteine) auftreten, wenngleich es nach aktuellem Wissensstand noch keinen solchen Vorfall im Kanton Uri gegeben hat.

Darüber hinaus gibt es weitere Ursachen für eine Sondenquetschung, welche nicht geologisch, sondern planungs- oder bohrtechnisch bedingt sind. Dies sind einerseits eine Unterdimensionierung der Erdwärmesonden, welche mit der Zeit zu einer zu starken Auskühlung des Untergrunds führen und somit zu Eisbildung. Diese Eisbildung zerstört nicht nur die Hinterfüllung, sondern kann durch die entsprechende Volumenzunahme auch das Erdwärmesondenrohr quetschen. Andererseits kann eine nicht fachgerechte Durchführung des Verpressvorgangs die Sonde schädigen, z.B. durch zu hohen Verpressdruck oder auch durch eine falsche Wahl der Dichte des Hinterfüllmaterials (siehe dazu auch SIA Norm 384/6). Diese beiden letzten Ursachen können grundsätzlich in jedem geologischen Regime auftreten, sind aber bei fachgerechter Ausführung auszuschliessen und werden somit im Risikokatalog nicht berücksichtigt.

5.2.10 Gaszutritt

Im Kanton Uri sind nach aktuellem Wissensstand keine relevanten Erdgasaustritte aus Erdwärmesondenbohrungen bekannt und man kann von einer geringen Eintrittswahrscheinlichkeit ausgehen. Ganz ausgeschlossen werden kann es aber trotzdem nicht.

Das Schadenspotenzial ist relativ hoch. Das Anbohren von Erdgas kann aufgrund der Explosionsgefahr und dem möglichen Entweichen giftiger Gase eine akute und hohe Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen. Erdgas kann zudem grösstenteils in Polyethylen diffundieren und somit im Solekreis Überdruck und Störungen verursachen. Schlimmstenfalls kann es sich durch Entweichen an die Oberfläche unter dem Gebäude oder im Keller anreichern.

Auch bei geringer Eintrittswahrscheinlichkeit ist somit wichtig, dass die Bohrfirma ein Gaswarngerät auf der Baustelle in Betrieb hat. Bei Verdacht sollte auch später in Heizungsräumen und Kellern eines aufgestellt werden.

Ist ein Gaszutritt in den Solekreislauf bzw. ein Entweichen an die Oberfläche identifiziert, ist das Problem technisch meist sehr gut und mit vernünftigem Aufwand beherrschbar (z.B. mittels Gasabscheider).

5.2.11 Kantige Bohrlochwände

Kantige Bohrlochwände entstehen vor allem im Felsgestein (z.B. in Kalken) aufgrund einem für das Gestein typischen Bruchmusters. Sie können (in seltenen Fällen) zu einem Materialschaden am Erdwärmesondenrohr führen und somit zu einem Leck, unter Umständen auch erst während dem Betrieb der Erdwärmesonde.

Das maximal mögliche Austrittsvolumen des Wärmeträgermittels ins Erdreich oder ins Grundwasser ist begrenzt. Bei Verwendung von nicht gesundheits- oder umweltgefährdenden Wärmeträgermitteln bleibt das Schadenspotenzial somit begrenzt. Wir verweisen an dieser Stelle auch auf die Vollzugshilfe Wärmenutzung aus Boden und Untergrund 2009, in der sich eine Liste zulässiger Wärmeträgermittel findet. Auch bei Ver-

wendung ungefährlicher Wärmeträgermittel bleibt aber eine beschädigte Erdwärmesonde zurück, welche in der Regel (ausser der Schaden befindet sich sehr oberflächennah) nicht repariert werden kann.

5.2.12 Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten

Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten können sowohl im Locker- wie auch im Felsgestein auftreten und im schlimmsten Fall zum Bohrabbruch führen.

Im Lockergestein handelt es sich dabei in erster Linie um grosse Blöcke, welche sich in einer lockeren, feinkörnigen Matrix relativ frei bewegen und dabei rotieren können. Dies tritt daher vor allem oberflächennah bei geringer Überlagerung auf. Durch die vielen Freiheitsgrade weicht der Block dem Bohrkopf aus und kann nicht durchörtert werden. Allenfalls kann durch Bohrpunktverschiebung um einige Meter das Problem behoben werden.

Im Felsgestein können sehr harte Gesteine wie z.B. Granit eine Durchörterung stark erschweren und sehr zeitraubend werden. Auch Störungszonen oder Schichtungen und Schieferungen in ungünstiger Lage können die Durchdringung mit dem Bohrkopf erschweren oder sogar zu einer Verkeilung des Bohrgestänges und somit zu einem frühzeitigen Bohrabbruch führen. Die gesamte Erdwärmesondenlänge kann dann, falls vom Platzangebot möglich, auf zusätzliche Bohrlöcher aufgeteilt werden.

Das Gefährdungsbild ist somit rein bohr- und bautechnisch mit einem insgesamt geringen Schadenspotenzial.

5.2.13 Hohlräume

Das Gefährdungsbild der Hohlräume ist sehr vielseitig. Umwelttechnisch relevant ist die Tatsache, dass das Bohrloch in diesem Bereich nicht standardmässig abgedichtet werden kann und ein Wegfliessen des Hinterfüllmaterials nur durch geeignete bohrtechnische Hilfsmittel vermieden werden kann. Selbst bei erfolgreicher Hinterfüllung bleibt die thermische Anbindung aufgrund des thermisch isolierenden Hohlraums unter den üblichen Werten. Bohrtechnisch ist ausserdem relevant, dass ohne Verwendung von Mantelverrohrung (im Felsgestein) die Erdwärmesonde häufig nicht schadlos abgeteuft werden kann.

Aufgrund der gewässerschutztechnischen Aspekte ist das Schadenspotenzial in Gebieten mit Grundwasser oder wasserführenden Klüftungen und Karstsystemen mit hoch zu bewerten.

Von verschiedenen Herstellern werden sogenannte Geotextilstrümpfe (respektive Gewebepacker) angeboten, welche für das Hinterfüllmaterial undurchlässig sind und somit zur Verhinderung des Wegfliessens verwendet werden können. Sind die Hohlräume nicht wassergesättigt, bleibt zwischen Erdreich und Hinterfüllung ein isolierender Hohlraum zurück, welcher keinen Beitrag zum Wärmeentzug oder –eintrag leistet. Bei der Dimensionierung von Erdwärmesonden ist dies gegebenenfalls zur berücksichtigen.

5.2.14 Hebungen oder Senkungen an der Oberfläche

Durch Bohrarbeiten ausgelöste Erdbewegungen bzw. Hebungen und Senkungen an der Oberfläche haben generell ein hohes Schadenspotenzial. Dieses Gefährdungsbild ist zu berücksichtigen in Karstgebieten (Destabilisierung durch Bohrung) sowie in quellfähigen (Tongestein, Anhydrit) oder in subrosionsgefährdeten Lithologien (Gips, Salz). Solche Lithologien sind im Kanton Uri wenig bis gar nicht verbreitet. Die Vitznau- und Palfris-Formationen (z.B. Nähe Sisikon) haben beispielsweise quellfähige Eigenschaften (Regime VII).

Darüber hinaus ist die mögliche Aufweichung vor allem von Tongesteinen durch Zutritt des Bohrspülwassers. Dies kann im Extremfall ebenfalls zu Setzungen an der Oberfläche führen.

Eine geologische Vorabklärung und eine intensive geologische Begleitung kann das Risiko schon weitgehend vermindern.

5.3 Risikokatalog für Regimes des Kantons Uri

In Abschnitt 5.2 wurden für Erdwärmesondenbohrungen im Kanton Uri mögliche Gefährdungsbilder für Mensch, Umwelt und Bauvorhaben aufgezeigt. Diese werden im Folgenden in Form eines Risikokatalogs für jedes Wärmenutzungssystem und jedes Regime quantifiziert, mit folgendem Verfahren:

Das geologische, gewässerschutztechnische und bautechnische Risiko von Erdwärmesondenbohrungen kann durch verschiedene Gefährdungsbilder beschrieben werden. Jedem Gefährdungsbild kann eine gewisse Eintrittswahrscheinlichkeit W im jeweiligen Regime sowie ein gewisses Schadenspotenzial S bei einem Störfall zugeordnet werden. Der Mittelwert aus S und W wird als Risiko interpretiert. Der daraus resultierende Risikokatalog ist in Tabelle 5.1 zusammengefasst.

Als Basis für die Einschätzung von Schadenspotenzial und Eintrittswahrscheinlichkeit gelten folgende Faktoren:

- Anforderung des Wärmenutzungssystems Erdwärmesonden (Kapitel 2.1)
- Hydrogeologische und geologische Eigenschaften des jeweiligen Regimes (Kapitel 3)
- Eigenschaften des Gefährdungsbildes (Kapitel 5.2)

Voraussetzung für die Einschätzung von Schadenspotenzial und Eintrittswahrscheinlichkeit ist stets die Durchführung der Bohr- und Ausbauarbeiten nach gängigen technischen Standards.

Klassifizierung des Schadenspotenzials

Das Schadenspotenzial ist hoch (=„h“) falls eine nachhaltige Beeinträchtigung der regionalen Grundwasserqualität oder grobe Schäden an bestehenden Bauten resultieren können (Grundbruch, Hebungen oder Senkungen an der Oberfläche oder Arteser). Das Schadenspotenzial „h“ beinhaltet somit stets die Gefahr eines grossräumigen Schadens für Mensch und Umwelt. Das Schadenspotenzial von bohrungs- und anlagenbezogenen Gefährdungen wird grundsätzlich geringer bewertet, das heisst mit „gering“ oder mit „mittel“. „Gering“ bedeutet dabei, dass der Schaden in der Regel mit Mehraufwand behoben werden kann, „mittel“ bedeutet hingegen, dass die Realisierbarkeit grundsätzlich gefährdet ist. Ist das Schadenspotenzial eines Gefährdungsbildes = 0, ist es innerhalb dieses Regimes nicht aufgeführt. Die Skalierung lautet somit wie folgt:

- Schaden auf Anlage beschränkt und behebbar (Realisierbarkeit ungefährdet) = „g“
- Schaden auf Anlage beschränkt, nicht behebbar (Realisierbarkeit gefährdet) = „m“
- Schaden grossräumig, nicht nur auf die Anlage beschränkt = „h“

Klassifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Die Klassifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gefährdungsbildes bei Erdwärmesondenbohrungen innerhalb eines Regimes wird mittels folgender Skalierung durchgeführt.

- Geringe Wahrscheinlichkeit (noch nie aufgetreten, könnte aber theoretisch) = „g“
- Mittlere Wahrscheinlichkeit (tritt in der Regel nicht auf, ist aber schon) = „m“
- Hohe Wahrscheinlichkeit (es ist damit zu rechnen) = „h“

Der Risikokatalog für Erdwärmesonden (Anhang B)

Im Risikokatalog wird Schadenspotenzial und Eintrittswahrscheinlichkeit kombiniert und daraus für jedes Gefährdungsbild das entsprechende Risiko ermittelt (siehe Anhang B). Berücksichtigt werden in dieser Ta-

belle alle mögliche Risiken, bei denen entweder das Schadenspotenzial oder die Eintrittswahrscheinlichkeit mit mindestens „mittel“ eingestuft wird. Regime IX (Oberflächengewässer) wird qualitativ in Kapitel 7.1 behandelt. Aufgrund der hohen Variabilität der Standorteigenschaften wird auf die Angabe eines Nutzungspotenzials für Regime X verzichtet.

Somit sind die nach aktuellem Wissensstand im jeweiligen Regime bei Erdwärmesonden anzutreffenden Gefährdungsbilder identifiziert und klassifiziert.

Erdwärmesondenbohrungen durchörtern in der Realität meistens mehr als ein Regime. Um das Risiko eines Gefährdungsbildes bei einem konkreten Projekt abzuschätzen, empfiehlt es sich, in allen zu durchbohrenden Regimes das für dieses Gefährdungsbild höchste Risiko zu identifizieren und für die gesamte Bohrung anzunehmen.

Als Beispiel hierfür dient eine fiktive Erdwärmesondenbohrung auf 200 m in Altdorfer Sandstein mit ca. 50 m Reusssschotter überlagert. Durchbohrt werden somit in den 50 m das Regime I und in den übrigen 150 m das Regime VIII. In Regime I besteht ein mittleres Risiko, zwei Grundwasserträger zu verbinden, in Regime VIII ist dies mit gering bis mittel klassifiziert. Für das Gesamtprojekt besteht somit ein mittleres Risiko zwei Grundwasserträger zu verbinden.

In der Praxis interessieren häufig nicht einzelne Gefährdungsbilder sondern eine ganzheitliche Einstufung des Projektrisikos. Es empfiehlt sich, dazu analog obenstehender Herleitung das höchste Risiko aller Gefährdungsbilder in den für das Projekt betroffenen Regimes herbeizuziehen.

5.4 Potenzial und Gefahren von Erdwärmesonden im Kanton Uri

Eine tabellarische Synthese von Nutzungspotenzial und maximalem Risiko für Erdwärmesonden und Erdspeicher findet sich in Tabelle 5.1. Das Nutzungspotenzial ist dabei aus dem Nutzungskatalog in Anhang A übernommen. Das maximale Risiko ist hergeleitet aus dem Risikokatalog für Erdwärmesonden in Anhang B, indem das jeweils höchste Risiko innerhalb des Regimes übernommen wird.

Regime	Nutzungspotenzial	maximales Risiko
I: Fluvioglaziale Bach- und Flussschotter	m	m-h
II: Bachschuttablagerungen	m	m-h
III: Moräne	m	m
IV: Deltaablagerungen, Überschwemmungssedimente	m	m-h
V: Verlandungs- und Seeufersedimente / Stillwasser- und Seebondensedimente	m	m
VI: Karstgebiete	h	h
VII: Quellfähige Felsgesteine	h	m
VIII: Übrige Felsgesteine	h	m

Tabelle 5-1: Erdwärmesonden und Erdspeicher: Synthese von Nutzen und Risiko in den jeweiligen hydrogeologischen Regimes.

Mit dem Beispiel aus Kapitel 5.3 lässt sich die Tabelle wie folgt lesen: Im Altdorfer Sandstein besteht ein mittleres, im Reusschotter ein mittleres bis hohes Schadenspotenzial. Das Schadenspotenzial für dieses Projekt an diesem Standort ist somit als mittel bis hoch einzustufen.

Aus Tabelle 5.1 ist ersichtlich, dass Erdwärmesonden in Felsgesteinen (Regimes VI, VII und VIII) das höchste Nutzungspotenzial aufweisen und dabei ausser in Karstgebieten nur ein mittleres Risiko mit sich bringen. Auch innerhalb der Lockergesteinsregimes können Erdwärmesonden noch effizient genutzt werden.

Das Risiko ist in Regimes mit mittlerem Nutzungspotenzial (Lockergestein) mit „mittel bis hoch“ klassifiziert, in Regimes mit hohem Nutzungspotenzial (Felsgestein) lediglich mit „mittel“. Insgesamt zeigt sich somit bei Betrachtung von Nutzen und Gefahren ein umgekehrt proportionales Bild: Je höher das Potenzial, desto geringer die Gefahr. Das heisst, dass Erdwärmesonden im Kanton Uri generell soweit möglich in Felsgesteinen installiert werden sollen. Die Karstgebiete gelten hier jeweils als Ausnahme aufgrund ihres hohen gewässerschutztechnischen Risikos.

Es empfiehlt sich deshalb, im Rahmen des Bewilligungsverfahrens zwei verschiedenen Zonen auszuscheiden, eine mit „allgemeinen Auflagen“ für Zonen mit maximal mittlerem Risiko und eine mit „allgemeinen und speziellen Auflagen“ für Standorte mit Risiko, welches grösser ist als „mittel“.

5.5 Bewilligungsverfahren

Im Rahmen des Bewilligungsverfahrens für Erdwärmesonden im Kanton Uri werden drei Zonen unterschieden, welche in der Wärmenutzungskarte ausgeschieden werden:

A.) Erdwärmesonden grundsätzlich nicht erlaubt.

Dazu gehören Grundwasserschutzzonen, Rutsch- oder Felssturzgebiete, bekannte starkwasserführende Karstsysteme, Baulinien übergeordneter Projekte u.Ä. Diese werden im vorliegenden Wärmenutzungskonzept nicht explizit behandelt, sind aber auf den kantonalen Webportalen abrufbar.

B.) Erdwärmesonden erlaubt unter allgemeinen Auflagen.

Dazu gehören sämtliche Bohrstandorte, welche ausschliesslich Regimes durchhörtern mit einem maximalen Risiko kleiner oder gleich „mittel“. Gemäss den Herleitungen in Kapitel 5 und der Zusammenfassung in Tabelle Anhang B bedeutet dies konkret, dass Erdwärmesondenbohrungen unter allgemeinen Auflagen bewilligungsfähig sind, sofern sie ausschliesslich in folgenden Regimes stattfinden:

Regime III: Moräne

Regime V: V: Verlandungs- und Seeufersedimente / Stillwasser- und Seebodensedimente

Regime VII: Quellfähige Felsgesteine

Regime VIII: Übrige Felsgesteine

Zusätzliche, standortspezifische Auflagen sind vorbehalten.

C.) Erdwärmesonden erlaubt unter allgemeinen und speziellen Auflagen.

Dazu gehören sämtliche Bohrstandorte, welche mindestens ein Regime durchhörtern mit einem maximalen Risiko grösser als „mittel“ bzw. mindestens „mittel bis hoch“. Gemäss den Herleitungen in Kapitel 5 und dem Risikokatalog in Anhang B bedeutet dies konkret, dass Erdwärmesondenbohrungen nur unter allgemeinen und speziellen Auflagen bewilligungsfähig sind, sofern sie sich mindestens teilweise in einem der folgenden Regimes befinden:

- Regime I: Fluvioglaziale Bach- und Flussschotter
- Regime II: Bachschuttablagerungen
- Regime IV: Deltaablagerungen, Überschwemmungssedimente
- Regime VI: Karstgebiete

Zusätzliche, standortspezifische Auflagen sind vorbehalten.

Diese Einteilung sowie die resultierende Wärmenutzungskarte sind ohne Gewähr. Diesbezügliche Bewilligungen werden ausschliesslich durch die Baudirektion des Kantons Uri erstellt. Des Weiteren kann dieses Konzept laufend angepasst werden, womit Änderungen vorbehalten sind.

5.6 Allgemeine und spezielle Auflagen

Für Erdwärmesondenbohrungen im Kanton Uri geltende Auflagen befinden sich in Anhang C für allgemeine Auflagen und in Anhang D für spezielle Auflagen. Die allgemeinen Auflagen gelten bei jeder bewilligten Erdwärmesondenbohrung (Zonen B und C). Zusätzlich zu den allgemeinen Auflagen gelten in Zone C die speziellen Auflagen.

6. Nutzung von Grundwasser im Kanton Uri

6.1 Potenzial im Kanton Uri

Das Potenzial der Wärmenutzung aus Grundwasser (Grundwasserwärmepumpen) ergibt sich aus dem Nutzungspotenzial innerhalb der einzelnen Regimes und dessen Verbreitung. Ausserdem spielt die Mächtigkeit des Regimes und die Nähe zum Siedlungsgebiet eine wesentliche Rolle.

Aus dem Nutzungskatalog (Anhang A) fällt auf, dass das Nutzungspotenzial von Grundwasser zu Heiz- und Kühlzwecken stark regimegebunden ist. Die mächtigen Grundwasserträger, also grosse, durchlässige Schotterkomplexe (Regime I) bieten das höchste Nutzungspotenzial. Diese Schotterkomplexe (im Wesentlichen die Reusssschotter) machen einen grossen Teil des Urner Talbodens und somit des Urner Siedlungsgebietes aus. Weitere Regimes mit mittlerem Nutzungspotenzial befinden sich ebenfalls im oder zumindest am Randbereich des Urner Talbodens. Es handelt sich dabei um Regime II (Bachschuttablagerungen) und Regime IV (Deltaablagerungen und Überschwemmungssedimente). Auch Karstgebiete bieten an sich das technische Potenzial zur Grundwassernutzung. Aufgrund der hohen gewässerschutztechnischen Risiken wird dies aber kaum umgesetzt. Genauere Angaben zum Auftreten finden sich in der Regimebeschreibung in Kapitel 2. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich ein grosser Teil der Urner Heiz- und Kühlenergieverbraucher auf Gebieten befindet, welche sich zur Grundwassernutzung eignet.

Ein Blick auf die bestehenden Anlagen von Grundwassernutzungen zum Heizen und Kühlen zeigt, dass diese sich tatsächlich stark an den Regimes I, II und IV orientieren.

Ein wichtiger Faktor für die Beurteilung des Potenzials im Kanton Uri ist die Temperaturveränderung des Grundwassers (siehe Kapitel 6.2.3). Das Grundwasser kühlt sich ab, wenn Wärme zu Heizzwecken entnommen wird. Das Umgekehrte passiert, wenn das Grundwasser zum Kühlen genutzt wird. Eine einseitige Nutzung führt zu einem begrenzten Potenzial, da sich die einzelnen Wärme- oder Kältefahnen überlagern. Das höchstmögliche Potenzial ergibt sich, wenn das Grundwasser zum Heizen und zum Kühlen mit möglichst vielen Synergien in Form eines Wärme- oder Kälteverbunds oder auch zwischen verschiedenen Bauvorhaben genutzt werden kann.

Die Grundwassernutzung zu Heiz- und Kühlzwecken in Felsgestein-Regimes (VI – VIII) des Kantons Uri ist nach aktuellem Wissensstand noch nicht realisiert worden. Selbst in Karstgebieten ist die grundsätzlich hohe zur Verfügung stehenden Wassermenge im Einzelfall kritisch zu überprüfen, da die Ergiebigkeit in der Regel starken Schwankungen unterliegt und somit für eine Energiegrundversorgung nicht sinnvoll sind. Abgesehen davon sind – wie in folgendem Abschnitt erläutert – die Risiken bei Bohrungen in Karstgebiet relativ hoch. In diesem Zusammenhang ist die mögliche Nutzung von Quellen zu erwähnen, welche ähnlichen Risiken unterliegt, aber keine Bohrung mit relativ hohen Gestehungskosten benötigt.

6.2 Gefährdungsbilder

Im Folgenden werden mögliche Gefährdungsbilder, welche im Kanton Uri nach aktuellem Wissensstand bei Bohrungen für Grundwasserwärmepumpen auftreten oder auftreten könnten, beschrieben und bewertet.

6.2.1 Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten

Dieses Gefährdungsbild lässt sich analog der Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten bei Erdwärmesonden beschreiben (siehe Kapitel 5.2.1). Die Bohrtiefe ist zwar in der Regel um einiges geringer, die grundwasserführende und somit effektiv gefährdete Zone ist aber jeweils betroffen.

Dieses Gefährdungsbild beinhaltet die direkte Gefährdung des Grundwassers durch den Bohr- oder den Verfüllungsvorgang bzw. während dem Betrieb der Anlage, z.B. Austritt von Maschinen- oder Hydrauliköl, Wärmeträgerflüssigkeit, Hinterfüllmaterial, Stützflüssigkeiten bei Rotary-Spülbohrungen (ohne Mantelverrohrung).

rung). Vor allem in den teils mächtigen Lockergesteinsdecken und Grundwasserleiter der Talsohle ist dies zu berücksichtigen. Da das Grundwasser weiträumig betroffen sein könnte und teilweise zu Trinkwasserzwecken gefördert wird, ist das Schadenspotenzial in grundwasserführenden Regimes generell hoch.

Durch sachgemässe Ausführung und Einsatz entsprechender bohrtechnischer Hilfsmittel kann dieses Risiko stark minimiert werden. Sind im potentiellen Einflussbereich der Bohrungen Trinkwassernutzungen vorhanden, sind vergleichende Messungen hinsichtlich Wasserqualität der betroffenen Quellen oder an Grundwassermessstationen zu empfehlen.

6.2.2 Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke

Dieses Gefährdungsbild lässt sich analog der Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke durch Bohrarbeiten bei Erdwärmesonden beschreiben (siehe Kapitel 5.2.2). Die Bohrtiefe ist zwar in der Regel um einiges geringer, die grundwasserführende und somit effektiv gefährdete Zone ist aber jeweils betroffen.

Dieses Gefährdungsbild ist von zentraler Bedeutung, da es irreparable Auswirkungen auf das Grundwasser und somit auf das Trinkwasser haben kann. Es beinhaltet die Schaffung neuer Wasserwegsamkeiten, grundsätzlich zwischen den Grundwasserstockwerken aber auch zwischen verschiedenen Karst- oder Kluftsystemen sowie auch mit der Oberfläche. Deren Vermischung kann einerseits die hydraulischen Verhältnisse im Untergrund beeinflussen und andererseits chemische Zusammensetzungen verändern, welche sich wiederum auf das Umgebungsgestein auswirken können. Insbesondere dort in der Talsohle, wo sich verschiedene Grundwasserleiter überlagern sowie in den Regimen VI und VIII, ist dies zu berücksichtigen.

Durch sachgemässe Ausführung und Einsatz entsprechender bohrtechnischer Hilfsmittel kann dieses Risiko stark minimiert werden. Darüber hinaus existieren bohrtechnische Hilfsmittel zur mechanischen oder hydraulischen Abdichtung eines Bohrlochs, zusammengefasst unter dem Begriff „Packer“ bzw. „Bohrloch-Packer“ (siehe dazu auch diverse Merkblätter, welche auf der Website von Energie Schweiz aktuell zur Verfügung gestellt werden). Packer zur Bohrlochabdichtung werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Entsprechend existieren auch zahlreiche Ausführungsformen.

Bei Grundwasserwärmepumpen handelt es sich um offene Systeme. Bohrungen in schützenswerte Grundwasserleiter, bzw. in solche, die sich nicht mit anderen verbinden dürfen, sollten nicht nur ober- und unterhalb im Bohrloch abgedichtet, sondern auch mit Vollrohr ausgebaut werden.

6.2.3 Thermische Auswirkung auf Grundwasser

Das Grundwasser im Bereich der Rückgabe einer in Betrieb gesetzten Grundwasserwärmepumpe wird sich abkühlen (bei Heizbetrieb der Wärmepumpe) oder erwärmen (bei Kühlbetrieb der Wärmepumpe), d.h. es entsteht eine Wärme- oder Kältefahne (räumliche Verbreitung der Temperaturänderung) im umgebenden Grundwasser. Die Ausdehnung dieser Wärme- oder Kältefahne hängt ab vom ΔT (Temperaturunterschied zwischen entnommenem und zurückgegebenem Grundwasser), der Entnahme- bzw. Rückgabemenge sowie hydrogeologischen Kennwerten (Durchlässigkeit, Gradient, Grundwassermächtigkeit).

Anhang 2 Ziffer 21 GSchV regelt die allgemeinen Anforderungen an die Wasserqualität unterirdischer Gewässer. So darf gemäss Absatz 3 die Temperatur des Grundwassers durch Wärmeeintrag oder Wärmeentzug gegenüber dem natürlichen Zustand um höchstens 3 °C verändert werden, wobei örtlich eng begrenzte Temperaturveränderungen (innerhalb von 100 m) vorbehalten bleiben.

Konkret heisst das, dass die Änderung der Grundwassertemperatur 100 m abstrom nicht mehr als 3°C betragen darf. Es wird empfohlen, dies bereits in der Planungsphase rechnerisch zu überprüfen (z.B. mittels Software GED, „Groundwater Energy Designer“). Spätestens mit dem Konzessionsgesuch muss dieser Nachweis erbracht werden.

Nebst grundwasserschutztechnischen Aspekten kann eine Temperaturveränderung des Grundwassers auch negative Folgen für bereits bestehende Grundwasserwärmepumpen haben. Die Effizienz einer Grundwas-

serwärmepumpe hängt unter anderem von der Temperatur des Entnahmewassers ab. Je höher diese ist, desto höher die Effizienz beim Heizen bzw. je geringer die Effizienz beim Kühlen. Bei der Planung einer Grundwasserwärmepumpe soll aufgezeigt werden, dass durch diese keine bereits bestehende Grundwasserwärmepumpe eine signifikante Einbusse in der Effizienz erleidet. Der entsprechende Nachweis kann erbracht werden, indem rechnerisch aufgezeigt wird, dass sich bei maximaler Entnahmemenge die Grundwassertemperatur bei bestehenden Anlagen um nicht mehr als 1.0 °C ändert.

Der genauen Platzierung von Entnahme und Rückgabe muss also bei der Planung einer Grundwasserwärmepumpe mit Berücksichtigung bestehender Anlagen grosse Beachtung geschenkt werden. Dazu ist auch der Absenktrichter um die Entnahmebohrung von Bedeutung. Seine Ausdehnung hängt im Wesentlichen vom Durchlässigkeitsbeiwert, vom Grundwassergradienten und von der Absenktiefe im Bohrloch ab. Je grösser die Reichweite dieses Absenktrichters, desto höher auch die Wahrscheinlichkeit einer Beeinflussung weiterer Bohrungen. Bei der Dimensionierung des Entnahmebrunnens soll generell darauf geachtet werden, dass die Absenkung des Grundwasserspiegels durch die Entnahme so gering wie möglich gehalten wird. Bei zu starker Absenkung kann der Volumenstrom in und um den Brunnen zu hoch werden, was einerseits die Leistungsfähigkeit überfordern und andererseits die Gefahr von Einschwemmung feinkörnigen Materials erhöhen kann.

Können gewässerschutztechnische und anlagentechnische Anforderungen an die maximale Temperaturveränderung des Grundwassers nicht eingehalten werden, kann allenfalls noch eine Versickerungsanlage geprüft werden.

6.2.4 Hydraulischer Grundbruch

Ähnlich wie bei Erdwärmesondenbohrungen besteht auch bei Grundwasserbohrungen die Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs. Dieses Gefährdungsbild lässt sich analog der Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke durch Bohrarbeiten bei Erdwärmesonden beschreiben (siehe Kapitel 5.2.2). Bei Bohrungen im Grundwasser von feinkörnigen Sedimenten kann es vorkommen, dass trotz stützender Verrohrung die das Bohrloch umgebenden Sedimente von unten in die Bohrung eingetrieben werden. Die Folge ist ein hoher Materialaustrag aus der direkten Umgebung.

Der hydraulische Grundbruch hat ein hohes Schadenspotenzial, da er zu Senkungen an der Oberfläche und somit zu substantiellen Schäden an bestehenden Bauten führen kann.

Bei Bohrungen in feinkörnigen Sedimenten sollte deshalb stets der Materialaustrag aus dem Bohrloch beobachtet und protokolliert werden. Übersteigt der effektive Austrag die aus dem Bohrlochvolumen erwartete Menge signifikant, besteht die Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs.

Da sich die besonders gefährdeten, feinkörnigen Sedimente für eine Grundwassernutzung eher weniger anbieten und zudem die Bohrtiefe nicht so hoch ist, ist bei Grundwasserwärmepumpen die Grundbruchgefahr in der Praxis selten ein Thema.

6.2.5 Arteser

Dieses Gefährdungsbild lässt sich analog der Artesergefahr bei Erdwärmesonden beschreiben (siehe Kapitel 5.2.7). Gespanntes Grundwasser entsteht, wenn es durch eine undurchlässige Schicht nach oben abgedichtet wird, und dadurch seine eigentliche hydrostatische Druckhöhe nicht erreichen kann. Ist diese Druckhöhe oberhalb OK Terrain, spricht man von artesisch gespannt. Wird die stauende Schicht durchbohrt, steigt das darunter liegende, angebohrte Grundwasser im Bohrloch auf seine hydrostatische Druckhöhe an. Bei einem Arteser tritt das Grundwasser an der Oberfläche aus.

Der Austritt von Grundwasser an die Oberfläche kann nicht nur zu weiträumigen Verschmutzungen sondern auch zu Schäden an bestehenden Bauten führen. Gegebenenfalls muss Polizei und Feuer- bzw. Wasserwehr benachrichtigt werden. Wird gespanntes Grundwasser angebohrt ist es häufig schwierig genau nach-

zuvollziehen, wohin das angebohrte Wasser fliesst. Es ist deshalb bei gespanntem Grundwasser generell Vorsicht geboten.

Zudem führt das Anbohren artesisch gespannten Grundwassers zur Verminderung des hydraulischen Drucks im Aquifer und kann die Grundwasserverhältnisse nachhaltig beeinflussen.

Aufgrund der in der Regel geringen Bohrtiefe ist das Gefahrenpotenzial bei Grundwasserbohrungen kleiner als bei Erdwärmesondenbohrungen.

6.2.6 Vorzeitige Alterung des Brunnens durch Ausfällungen

Dies ist ein für Grundwasserwärmepumpen sehr spezifisches Gefährdungsbild, weil es sich um offene Systeme handelt. Chemische oder biologische Prozesse können im und um den Brunnen in Verbindung mit Luftzufuhr die hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrunds mit der Zeit verändern und dadurch die Ergiebigkeit der Anlage verschlechtern.

Solche Prozesse sind Versinterung (Ausfällung von Magnesium- und Calciumkarbonaten), Verockerung (Ausfällung von Eisen- und Manganhydroxiden), Korrosion von metallischen Anlagenkomponenten oder Verschleimung durch Mikroorganismen.

Im Grundwasser des Kantons Uri lassen sich diese Gefahren durch Vorabklärungen und Messungen von Sauerstoffgehalt, Leitparameter und chemische Analysen einschätzen, damit die richtigen Massnahmen im Brunnenausbau und in der Materialauswahl getroffen werden kann.

Die Redoxparameter sind erfahrungsgemäss essentiell für die Beurteilung der langfristigen Leistungsfähigkeit eines Brunnens. Geben sie deutliche Hinweise auf ein anaerobes (sauerstoffarmes) Grundwasser (z.B. biogene Aktivität oder hoher Eisen- und Mangangehalt), besteht die Gefahr von Ausfällungen bei Luftzutritt und einer entsprechenden Erniedrigung der Durchlässigkeit und somit der Leistungsfähigkeit.

Eine hinreichende Erläuterung dieser Prozesse sowie vorbeugenden Massnahmen finden sich in der SIA Norm 384/7.

6.2.7 Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten

Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten können sowohl im Locker- wie auch im Felsgestein auftreten und im schlimmsten Fall zum Bohrabbruch an diesem Bohrstandort führen. Im Falle Grundwasserbohrungen sind dabei vor allem Komplikationen bei Bohrungen im Lockergesteinsbereich relevant. Diese sind in der Regel etwas verschärft gegenüber Erdwärmesondenbohrungen, da der Bohrdurchmesser in der Regel auch grösser ist.

Im Lockergestein problematisch sind in erster Linie grosse Blöcke, welche sich in einer lockeren, feinkörnigen Matrix relativ frei bewegen und dabei rotieren können. Dies tritt daher vor allem oberflächennah bei geringer Überlagerung auf. Durch die vielen Freiheitsgrade weicht der Block dem Bohrkopf aus und kann nicht durchörtert werden. Allenfalls kann durch Bohrpunktverschiebung um einige Meter das Problem behoben werden.

Das Gefährdungsbild ist letztlich rein bohr- und bautechnisch mit einem insgesamt geringen Schadenspotenzial.

6.3 Risikokatalog

In Abschnitt 6.2 wurden für Grundwasserwärmepumpen im Kanton Uri mögliche Gefährdungsbilder für Mensch, Umwelt und Bauvorhaben aufgezeigt. Diese werden im Folgenden in Form eines Risikokatalogs für jedes Wärmenutzungssystem und jedes Regime quantifiziert, mit folgendem Verfahren:

Das geologische, gewässerschutztechnische und bautechnische Risiko von Bohrungen für Grundwasserwärmepumpen kann durch verschiedene Gefährdungsbilder beschrieben werden. Jedem Gefährdungsbild kann eine gewisse Eintrittswahrscheinlichkeit W im jeweiligen Regime sowie ein gewisses Schadenspotenzial S bei einem Störfall zugeordnet werden. Der Mittelwert aus S und W wird als Risiko interpretiert. Der daraus resultierende Risikokatalog ist in Anhang B zusammengefasst.

Als Basis für die Einschätzung von Schadenspotenzial und Eintrittswahrscheinlichkeit gelten folgende Faktoren:

- Anforderung des Wärmenutzungssystem Grundwasserwärmepumpen (Kapitel 2.2)
- Hydrogeologische und geologische Eigenschaften des jeweiligen Regimes (Kapitel 3)
- Eigenschaften des Gefährdungsbildes (Kapitel 6.2)

Voraussetzung für die Einschätzung von Schadenspotenzial und Eintrittswahrscheinlichkeit ist stets die Durchführung der Bohr- und Ausbauarbeiten nach gängigen technischen Standards.

Klassifizierung des Schadenspotenzials

Das Schadenspotenzial ist hoch (=“h“) falls eine nachhaltige Beeinträchtigung der regionalen Grundwasserqualität oder grobe Schäden an bestehenden Bauten resultieren können (Grundbruch, Hebungen oder Senkungen an der Oberfläche oder Arteser). Das Schadenspotenzial „h“ beinhaltet somit stets die Möglichkeit eines grossräumigen Schadens für Mensch und Umwelt. Das Schadenspotenzial von bohrungs- und anlagenbezogenen Gefährdungen wird grundsätzlich geringer bewertet, das heisst mit „gering“ oder mit „mittel“. „Gering“ bedeutet dabei, dass der Schaden in der Regel mit Mehraufwand behoben werden kann, „mittel“ bedeutet hingegen, dass die Realisierbarkeit grundsätzlich gefährdet ist. Ist das Schadenspotenzial eines Gefährdungsbildes = 0, ist es innerhalb dieses Regimes nicht aufgeführt. Die Skalierung lautet somit wie folgt:

- Schaden auf Anlage beschränkt und behebbbar (Realisierbarkeit ungefährdet) = „g“
- Schaden auf Anlage beschränkt, nicht behebbbar (Realisierbarkeit gefährdet) = „m“
- Schaden grossräumig, nicht nur auf die Anlage beschränkt = „h“

Klassifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Die Klassifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gefährdungsbildes bei Bohrungen für Grundwasserwärmepumpen innerhalb eines Regimes wird mittels folgender Skalierung durchgeführt.

- Geringe Wahrscheinlichkeit (noch nie aufgetreten, könnte aber theoretisch) = „g“
- Mittlere Wahrscheinlichkeit (tritt in der Regel nicht auf, ist aber schon) = „m“
- Hohe Wahrscheinlichkeit (es ist damit zu rechnen) = „h“

Der Risikokatalog für Grundwasserwärmepumpen (Anhang C)

Im Risikokatalog für Grundwasserwärmepumpen werden Schadenspotenzial und Eintrittswahrscheinlichkeit kombiniert und daraus für jedes Gefährdungsbild das entsprechende Risiko ermittelt (siehe Anhang C). Berücksichtigt werden in dieser Tabelle alle möglichen Risiken, bei denen entweder das Schadenspotenzial oder die Eintrittswahrscheinlichkeit mit mindestens „mittel“ eingestuft wird. Regime IX (Oberflächengewässer) wird qualitativ in Kapitel 7.1 behandelt. Aufgrund der hohen Variabilität der Standorteigenschaften wird auf die Angabe eines Nutzungspotenzials für Regime X verzichtet.

Somit sind die nach aktuellem Wissensstand im jeweiligen Regime bei Grundwasserwärmepumpen anzutreffenden Gefährdungsbilder identifiziert und klassifiziert.

Bohrungen für Grundwasserwärmepumpen durchörtern in der Regel eines, seltener auch mehrere, nutzbare Regimes und werden mittels Filterrohren nutzbar ausgebaut. Nicht nutzbare Regimes oder auch nicht nutzbare Schichten innerhalb der Regimes I, II und IV werden mit Vollrohren ausgebaut. Um das Risiko eines Gefährdungsbildes bei einem konkreten Projekt abzuschätzen, empfiehlt es sich, in allen zu durchbohrenden Regimes das für dieses Gefährdungsbild höchste Risiko zu identifizieren und für die gesamte Bohrung anzunehmen.

Als Beispiel hierfür dient eine fiktive Bohrung für Grundwassernutzung auf 30 m mit 2 m Deckschicht, unterlagert durch 10 m Bachschuttablagerungen und anschliessend mit 18 m Reusssschotter. Durchbohrt werden somit das nicht nutzbare Regime X sowie die nutzbaren Regimes I und II. In Regime I besteht ein geringes bis mittleres Risiko für hydraulischen Grundbruch, in den Bachschuttablagerungen ist dies mit mittel klassifiziert. Für das Gesamtprojekt besteht somit ein mittleres Risiko für hydraulischen Grundbruch.

In der Praxis interessieren häufig nicht einzelne Gefährdungsbilder sondern eine ganzheitliche Einstufung des Projektrisikos. Es empfiehlt sich, dazu analog obenstehender Herleitung das höchste Risiko aller Gefährdungsbilder in den für dieses Projekt betroffenen Regimes herbeizuziehen.

6.4 Potenzial und Gefahren von Grundwasserwärmepumpen im Kanton Uri

Eine tabellarische Synthese von Nutzungspotenzial und maximales Risiko für Erdwärmesonden und Erdspeicher findet sich in Tabelle 6.1. Das Nutzungspotenzial ist dabei aus dem Nutzungskatalog in Anhang A übernommen. Das maximale Risiko ist hergeleitet aus dem Risikokatalog für Grundwasserwärmepumpen in Anhang C, indem das jeweils höchste Risiko innerhalb des Regimes übernommen wird.

Regime	Nutzungspotenzial	maximales Risiko
I: Fluvioglaziale Bach- und Flussschotter	h	m-h
II: Bachschuttablagerungen	m	m-h
III: Moräne	g	m
IV: Deltaablagerungen, Überschwemmungssedimente	m	m-h
V: Verlandungs- und Seeufersedimente / Stillwasser- und Seebodensedimente	g	m
VI: Karstgebiete	g	m-h
VII: Quellfähige Felsgesteine	g	m-h
VIII: Übrige Felsgesteine	g	m-h

Tabelle 6-1: Grundwasserwärmepumpen: Synthese von Nutzen und Risiko in den jeweiligen hydrogeologischen Regimes

Mit dem Beispiel aus Kapitel 6.3 lässt sich die Tabelle wie folgt lesen: Sowohl in den fluvioglazialen Bach- und Flussschottern (Reusssschotter) als auch in den Bachschuttablagerungen besteht ein mittleres bis hohes

maximales Risiko. Das Schadenspotenzial für das Projekt an diesem Standort ist somit als mittel bis hoch einzustufen.

Aus Tabelle 6.1 ist ersichtlich, dass Grundwasserwärmepumpen ausschliesslich in den Lockergesteinsregimen I, II und IV sinnvoll und wirtschaftlich eingesetzt werden können. Zwar sind zum Teil auch in Felsgesteinen (Karstgebiete und übrige Felsgesteine) hohe Grundwasserträger anzutreffen, doch ist die technische, hydrogeologische sowie die gewässerschutztechnische Unsicherheit und Unberechenbarkeit in diesen Regimes zu hoch für eine wirtschaftlich und ökologisch tragbare Realisierung. Grundwasserwärmepumpen in Felsgesteinen sind somit nach aktuellem Wissensstand kaum realisierbar und nicht bewilligungsfähig.

Das maximale Risiko ist über alle Regimes gesehen mit mindestens „mittel“ klassifiziert (auch in Lockergesteinen), wobei die gut nutzbaren Regimes jeweils auch ein höheres Risiko aufweisen. Dies resultiert aus der Tatsache, dass es sich bei Grundwasserwärmepumpen um ein offenes System handelt, welche das prioritär schützenswerte Grundwasser mit hohem Schadenspotenzial fördert und nutzt.

Aus diesem Grund ist eine Unterscheidung verschiedener Zonen für „allgemeine Auflagen“ und „allgemeine und spezielle Auflagen“ wie bei Erdwärmesonden nicht sinnvoll.

6.5 Bewilligungsverfahren

Im Rahmen des Bewilligungsverfahrens für Grundwasserwärmepumpen im Kanton Uri werden zwei Zonen unterschieden, welche in der Wärmenutzungskarte ausgeschieden werden:

A.) Grundwasserwärmepumpen generell nicht erlaubt.

Dazu gehören Grundwasserschutzzonen, Rutsch- oder Felssturzgebiete, Baulinien übergeordneter Projekte u.Ä. Diese werden im vorliegenden Wärmenutzungskonzept nicht explizit behandelt, sind aber auf den kantonalen Webportalen abrufbar.

B.) Grundwasserwärmepumpen erlaubt unter allgemeinen Auflagen.

Dazu gehören sämtliche Bohrstandorte welche ausschliesslich Regimes durchörtern mit einem maximalen Risiko kleiner oder gleich „mittel bis hoch“, was auf alle Regimes zutrifft. Gemäss den Herleitungen in Kapitel 6 und der Zusammenfassung in Tabelle 6.2 bedeutet dies konkret, dass Grundwasserwärmepumpen unter allgemeinen Auflagen bewilligungsfähig sind und dass eine Unterscheidung in zwei verschiedene, für Grundwasserwärmepumpen erlaubte Zulässigkeitszonen nicht notwendig ist.

Zusätzliche, standortspezifische Auflagen sind vorbehalten.

Für die Realisierung aller Grundwasserwärmepumpen im Kanton Uri gelten somit dieselben Auflagen.

Regimes mit mindestens mittlerem Nutzungspotenzial (Regime I, II und IV) haben jeweils auch ein Schadenspotenzial von mindestens mittel bis hoch. Regimes III und V haben zwar ein geringeres Schadenspotenzial, sind aber an sich kaum nutzbar, müssen (und dürfen) aber gegebenenfalls durchörtert werden um nutzbare Regimes bohrtechnisch zu erreichen.

Diese Einteilung sowie die resultierende Wärmenutzungskarte sind ohne Gewähr. Diesbezügliche Bewilligungen werden ausschliesslich durch die Baudirektion des Kantons Uri erstellt. Des Weiteren kann dieses Konzept laufend angepasst werden, womit Änderungen vorbehalten sind.

6.6 Auflagen

Für Grundwasserwärmepumpenbohrungen im Kanton Uri geltende Auflagen befinden sich in Anhang C. Diese allgemeinen Auflagen gelten bei jeder bewilligten Grundwasserwärmepumpe (Zone B).

7. Wärmenutzungskarte Kanton Uri – Erläuterungen zu GIS-Daten

Auf Basis der in Kapitel 5 für Erdwärmesonden (EWS) und in Kapitel 6 für Grundwasserwärmepumpen (GWP) hergeleiteten Gefährdungsbildern und Zulässigkeitsbedingungen, wurden mittels eines Geoinformationssystems (GIS) die resultierenden geografischen Ausscheidungen durchgeführt und dargestellt. Die entsprechenden Wärmenutzungskarten stehen der Öffentlichkeit zur Verfügung.

Dabei gilt es generell zu berücksichtigen, dass die Karten ohne Gewähr sind und die Zuständigkeit für die Bewilligungserteilung ausschliesslich beim Kanton liegt. Des Weiteren gibt die Bewilligungsfähigkeit keinen Aufschluss über die Realisierbarkeit.

Der GIS-Datensatz zur Wärmenutzungskarte Uri zeigt mit übereinander lagernden Polygonen die Zulässigkeit zur Erstellung und Nutzung von Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen. Der Datensatz wurde mit GIS-Werkzeugen und den unten erläuterten Herkunftsdaten und Umsetzungen für das ganze Kantonsgebiet flächendeckend modelliert. Verifizierung und Plausibilisierung wurden aber vorwiegend auf das Siedlungsgebiet beschränkt. Bei der Modellierung wurden die Grundlagedaten insgesamt zwölf verschiedenen Hydro-Regimes zugeordnet. Die Regimes I bis X entsprechen denjenigen aus dem vorliegenden Bericht (Wärmenutzungskonzept). Ein elftes Regime wurde für möglicherweise hydrogeologisch und oder geotechnisch anspruchsvolle Quartärgeologie eingeführt (Rutschungen, Sumpf, künstliche Auffüllungen etc.). Jedem der zehn Regimes des Konzepts sind fest Zulässigkeiten für EWS und GWP zugewiesen. Dem Regime XI wurde die Zulässigkeit C (EWS) respektive B (GWP) zugewiesen. Die Regimes I bis XI teilen somit das Territorium des Kantons flächendeckend aufgrund der hydrogeologischen Beschaffenheit der obersten Schicht in die Zulässigkeiten A-C (EWS) resp. A-B (GWP) ein. Zusätzliche Einschränkungen, die aufgrund menschlicher Nutzungen und deren Regulierung berücksichtigt worden sind, sind in Regime XII zusammengefasst und wurden unterschiedlichen Zulässigkeiten zugewiesen.

Das Datenmodell ist wie folgt aufgebaut:

Attribut	Datentyp	Ausprägung	Bemerkung
Typ	Text	Besondere Bestimmungen Geologie, Geocover Gewässer Gewässerschutzkarte Naturgefahr Tunnel Untertagebauwerk	Typ der Datenherkunft zur Bestimmung der Zulässigkeit
Datenquelle	Text		Detaillierte Angaben zur Datenherkunft der Grundlagedaten
Bemerkung	Text		Erläuterung zu Objekttyp und Zulässigkeits-Herleitung
Hydro_Regime	Zahl (Integer)	1-12	Nummer des Hydro-Regime, 1-10 gemäss Konzept, 11 und 12 wurden zusätzlich hinzugefügt
Hydro_Regime_Liegendes	Zahl (Integer)	1-12	Ein in der Tiefe anstehendes, relevantes Hydro-Regime. Gutachterlich festgelegt, derzeit nicht bearbeitet
Zulaessigkeit_EWS	Text	A,B,C	Zulässigkeit gemäss Konzept
Zulaessigkeit_GWP	Text	A,B	

Editor	Text	Bezeichnung des letzten Editors des Dateneintrages
Letzte_Aenderung	Datum	Datum der letzten Änderung

Tabelle 7-1: Datenmodell Polygon-Feature-Class Wärmenutzungskarte Uri

Folgende Datenquellen wurden wie folgt in das Datenmodell implementiert:

Typ	Datenquelle	Bemerkung	Umsetzung:	
Geologie_Geocover	GeoCover	GeoCover (Vektor-)Datensätze der 1:25'000 Kartenblätter von Swisstopo die den Kanton Uri abdecken	Kategorisierung der Spalte „DESCRIPT“ in die gemäss Konzept definierten und ergänzten (siehe oben) 11 Hydro-Regime sowie Zuteilung von diesen zugeordneten Zulässigkeiten.	
Nachkartierung CSD		Nachkartierung durch CSD um Ungeheimtheiten insbesondere bei Blatt-schnitten der Geocover-Datensätze zu beheben	Fallweise Anpassung der Regime	
Besondere_Bestimmungen	Eggberge Schattdorf Seelisberg	Gutachten CSD Gutachten CSD Beurteilung AfU	Bestehende Regelungen die bereits beim AfU zur Anwendung kommen.	Übernahme bestehender Perimeter, Zuweisung in Hydroregime 12 und fallweise Zuteilung der Zulässigkeiten
Gewässer	GS_Bereich_Fliessgewässer	Kantonaler Datensatz der Gewässerschutzkarte	-5 m Bufferabzug des Ao von Fliessgewässern -> Zuweisung in Hydroregime 9 mit Zulässigkeit A	
Gewässerschutzkarte	GWSObjekt	Kantonaler Datensatz der Gewässerschutzkarte	Areale und Schutzzonen -> Zuweisung in Hydroregime 12 und Zulässigkeit A	
Naturgefahr	Gefahrenkarte: Perm_Rutschungen_RP Gefahrenkarte: Sturz_Steinschlag_S	Kantonaler Datensatz digitalisierter Gefahrenkarten	Zuweisung in Hydroregime 12, ab mittlerer Gefährdung für permanente Rutschungen und Sturzprozesse -> Zulässigkeit A ansonsten C (EWS) resp. B (GWP)	
Tunnel	TLM ATG Berg lang Umfahrung Sisikon	Topographisches Landschaftsmodell, Swisstopo Kantonaler Datensatz zur geplanten Linienführung von „Uri Berg lang“ Projektpläne der Umfahrung Sisikon	150 m Buffer um Tunnelachse -> Hydroregime 12, Zulässigkeit C (EWS) resp. B (GWP)	
Untertagebauwerk	Gewässernetz: GN10	Kantonaler Gewässernetz-Datensatz	10 m Buffer um Kraftwerksstollen und Eindolungen ab 50 m Länge -> Zuweisung in Hydroregime 12 und Zulässigkeit A	

Tabelle 7-2: Datenquellen für das Datenmodell

8. Weitere Wärmenutzungssysteme

8.1 Oberflächengewässer (See- und Fliessgewässer)

Analog zum Grundwasser können auch Oberflächengewässer zu thermischen Zwecken genutzt werden. Im Speziellen die Nutzung von Seewasser wird in diesem Zusammenhang immer wichtiger. Das Nutzungsprinzip ist dasselbe wie bei Grundwasserwärmepumpen. Dem Seewasser (oder auch Fliessgewässer) wird mittels Wärmetauscher Wärmeenergie entzogen oder zugeführt um entsprechend kühlen oder heizen zu können.

Im Gegensatz zur Grundwasserwärmepumpe muss das Seewasser nicht angebohrt werden. Es wird typischerweise in einer Tiefe von ca. 10 bis 40 m dem See entnommen und mittels Leitungen an Land gepumpt.

Die gewässerschutztechnischen Auflagen unterscheiden sich von denen bei der Grundwassernutzung. Die erlaubten Temperaturveränderungen sind aufgrund empfindlicherer ökologischer Bedingungen und Nutzungsrechte Dritter (z.B. Fischerei) in der Regel geringer als im Grundwasser. Gemäss aktueller Gewässerschutzverordnung heisst dies für Fliessgewässer im Kanton Uri (Forellenregion), dass die Temperatur durch Wärmeeintrag oder –entzug gegenüber dem möglichst unbeeinflussten Zustand um höchstens 1.5 °C verändert werden darf. Laut Wegleitung des BAFU vom April 1982 sollte das Wasser bei kleineren Gewässern in der Regel um nicht mehr als 1° C verändert werden; bei Kleingewässern, die zur Fortpflanzung von Fischen dienen, ist ganz auf eine thermische Veränderung zu verzichten. Die Obergrenze der Wassertemperatur ist gewässerspezifisch zu betrachten, grundsätzlich sollen die Temperaturmaxima in der Laichzeit 10 °C und im Sommer 15 °C nicht übersteigen. Bei Temperaturen über 15 °C wird die proliferative Nierenkrankheit bei den Fischen gefördert. Für Seen gilt ausserdem, dass die natürlichen Temperaturverhältnisse, die Nährstoffverteilung sowie, insbesondere im Uferbereich, die Lebens- und Fortpflanzungsbedingungen für die Organismen nicht nachteilig verändert werden dürfen. Eine maximal zulässige Temperaturveränderung in Seen ist im Gegensatz zum Grundwasser und zu den Fliessgewässern nicht definiert.

Das Nutzungspotenzial des Urnersees ist sowohl zum Heizen wie auch zu Kühlen enorm hoch und ist in seenahen Siedlungsgebieten, z.B. Flüelen oder Bauen, eine attraktive Option. Aufgrund des hohen infrastrukturellen Aufwands ist für weiter weg gelegene Siedlungsgebiete eine wirtschaftlich sinnvolle Nutzung situativ zu analysieren. Auf jeden Fall sinnvoll sind Wärmeverbunde bei der Seewassernutzung.

Bei der Nutzung von Seewasser für den Betrieb einer Wärmepumpe gilt es, spezielle Auflagen und Rahmenbedingungen sowie die Nutzungsrechte und Interessen Dritter zu berücksichtigen. Da die für die Seewasserentnahme zu verwendenden Materialien in der Regel relativ hohen Ansprüchen zu genügen haben, sollten in der Projektplanung nebst den technischen auch die umweltrechtlichen Aspekte so früh wie möglich miteinbezogen werden. Speziell zu berücksichtigen ist auch die Gefahr von Verschlammung und Muschelbefall in der Ansaugleitung.

An dieser Stelle wird auf die Machbarkeitsstudie der EAWAG vom Dezember 2014 verwiesen mit dem Titel „Potenzial zur Wärme- und Kühlenergienutzung aus dem Vierwaldstättersee“. Nutzungsmöglichkeiten sowie Rahmenbedingungen sind darin auch für den Urnersee hinreichend behandelt.

Nebst dem Seewasser kann auch Wasser aus Quellen und anderen Fliessgewässern zu Heiz- und Kühlzwecken genutzt werden. Aufgrund des vorhandenen Volumens sowie der Auflagen bzgl. Temperaturveränderungen ist allerdings das Nutzungspotenzial für einzelne Anlagen weitaus geringer als dasjenige des Urnersees.

Bei der Planung eines solchen Projekts empfehlen wir, frühzeitig mit einem Planungsbüro sowie mit dem Amt für Energie und dem Amt für Umweltschutz des Kantons Uri in Kontakt zu treten und das Vorgehen zu besprechen.

8.2 Tunnelsickerwasser

Die Temperatur an einem bestimmten Punkt im Untergrund hängt im Wesentlichen von der Überdeckung ab. In der Regel gilt, dass die Temperatur mit steigender Distanz zur Oberfläche dem geothermischen Gradienten entsprechend zunimmt. Dieser beträgt oberflächennah ca. 3 °C pro 100 m.

Das in Gebirgstunneln vorhandene Wasser kann somit Temperaturen bis 30 °C und mehr erreichen. Wird dies drainiert und zu den Portalen geleitet, steht dort die entsprechende Wärmeenergie zur Verfügung.

Aufgrund der hohen Temperatur darf dieses Wasser nicht direkt Oberflächengewässern zugeführt werden. Eine Nutzung zu Heizzwecken von Gebäuden bietet sich somit an. Das Nutzungspotenzial ist grundsätzlich hoch und der Zusatzaufwand zur Wärmegewinnung (im Vergleich zum Gesamtprojekt) sehr gering. Allerdings kann das Potenzial nur optimal genutzt werden, wenn die gewonnene Wärmeenergie auch in der Nähe des jeweiligen Tunnelportals genutzt werden kann.

Für den Kanton Uri ergeben sich vor allem durch die Neuen Eisenbahn-Alpen-Transversalen (NEAT) sowie den geplanten, zusätzlichen Gotthard-Strassentunnel höchst interessante Nutzungsmöglichkeiten.

In der Schweiz wird diese Wärmeenergie schon seit vielen Jahren an diversen Tunnelportalen genutzt. Eine entsprechende Projektliste findet sich bei Energie Schweiz (www.bbl.admin.ch/bundespublikationen).

Bei der Planung eines solchen Projekts empfehlen wir, frühzeitig mit einem Planungsbüro sowie dem Amt für Energie und dem Amt für Umweltschutz des Kantons Uri in Kontakt zu treten und das Vorgehen zu besprechen.

8.3 Mitteltiefe Erdwärmesonden (ab 400 m Bohrtiefe)

Erdwärmesonden mit einer Bohrtiefe grösser als 400 m werden als mitteltiefe Erdwärmesonden bezeichnet. Die Ausführungen in Kapitel 5 gelten somit nur bedingt.

Die Abgrenzung zur Tiefengeothermie wird üblicherweise nicht durch eine Bohrtiefe vollzogen, sondern durch die Art und Weise der Nutzung. Während Tiefengeothermie auch die Produktion von Strom beinhaltet, werden mitteltiefe Erdwärmesonden lediglich zu Heiz- und Kühlzwecken genutzt.

Der Vorteil von tieferen Erdwärmesonden ist, dass höhere Untergrundtemperaturen erreicht werden und somit ein bedeutend höherer Wirkungsgrad der Wärmepumpe erzielt wird. Das Wärmeträgermittel kann im Prinzip ein Temperaturniveau erreichen, so dass Gebäude mit tiefer Raumlufttemperatur (z.B. Lagerhallen) oder mit niedrigem spezifischem Heizenergiebedarf (z.B. sehr gut gedämmte Bauten) ohne Wärmepumpe beheizt werden können. Wir verweisen an dieser Stelle ausserdem auf die Publikation „Tiefen-EWS Oftringen (706 m): Direktheizen mit einer 40 mm-2-Kreis PE-Tiefen-Erdwärmesonde“ im Auftrag des Bundesamts für Energie. Im Gegenzug ist allerdings zu berücksichtigen, dass aufgrund eben dieser relativ hohen Temperaturen sogenanntes „freecooling“, also Kühlen ohne Kältemaschine“ nicht mehr effizient möglich ist.

Mitteltiefe Erdwärmesonden werden in der Regel als Koaxialsonde ausgebaut, nur selten als U-Sonde. Dies im Gegensatz zur oberflächennahen Erdwärmesonde, bei der der Einbau von Doppel-U-Sonden Standard ist. Der Grund dafür ist, dass bei höheren Bohr- und Einbautiefen auch der Druckunterschied von ausserhalb zu innerhalb der Erdwärmesonde grösser wird. Um ein Quetschen der Erdwärmesonde zu vermeiden, sind die Materialwahl und die Dichte der Hinterfüllung von entscheidender Bedeutung.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass bei grösseren Bohrtiefen eine höhere Anzahl verschiedener geologischer Schichten, Übergängen und sogar Grundwasserleiter durchörtert werden. Bohrtechnische und gewässerschutztechnische Risiken sind somit grundsätzlich höher einzustufen als bei üblichen Erdwärmesonden. Eine fachgerechte Planung und Ausführung der Bohr- und Ausbauarbeiten ist somit essentiell.

Aus energetischen und geologischen Gründen spricht grundsätzlich nichts gegen die Realisierung von mitteltiefen Erdwärmesonden im Kanton Uri. Aufgrund der hohen Anforderungen an Technik, Material und Planung sind die Gestehungskosten zum heutigen Zeitpunkt allerdings relativ hoch, womit mitteltiefe Erdwärmesonden nur langfristig und bei Grossanlagen wirtschaftlich attraktiv sind. Nach aktuellem Wissensstand ist im Kanton Uri noch keine mitteltiefe Erdwärmesonde installiert worden.

Bei der Planung eines solchen Projekts empfehlen wir, frühzeitig mit einem Planungsbüro sowie dem Amt für Energie und dem Amt für Umweltschutz des Kantons Uri in Kontakt zu treten und das Vorgehen zu besprechen.

9. Praxishilfen

Im Rahmen des vorliegenden Wärmenutzungskonzepts wurden für den Kanton Uri noch folgende, zusätzliche Dokumente entwickelt.

9.1 Planungshilfe für die Bauherrschaft (Entscheidungsbaum)

Zu Beginn steht der Entscheid der Bauherrschaft, die Energie zum Heizen (und / oder Kühlen) aus dem Untergrund zu beziehen und somit eine erneuerbare Energiequelle zu nutzen. Ein entsprechender Entscheidungsbaum als Hilfe für die Bauherrschaft findet sich in Anhang G.

Es ist von Vorteil zu diesem Zeitpunkt bereits einen Heizungsplaner zur Hand zu haben um zu klären, welches Wärmenutzungssystem anlagentechnisch überhaupt in Frage kommt. Im Entscheidungsbaum führt dies zu drei unterschiedlichen Pfaden, welche in dieser Phase auch noch parallel laufen können. Für eine optimierte Lösungsfindung ist dabei hilfreich, wenn nebst der Bauherrschaft und dem Heizungsplaner auch das Geologiebüro so früh wie möglich mit in die Planung einbezogen wird.

Grundwasserwärmepumpe

Dieses Wärmenutzungssystem ist häufig das wirtschaftlich attraktivste innerhalb der Geothermie (bei entsprechenden hydrogeologischen Bedingungen). Nach Prüfung der Zulässigkeit aufgrund der Wärmenutzungskarte sollte aber schnellstmöglich auch die technische Machbarkeit durch ein Geologiebüro überprüft werden. In derselben Machbarkeitsstudie können zugleich auch weitere notwendige Schritte wie die Dimensionierung der Anlage, die Bestimmung der Bohrstandorte und allenfalls weitere standort- oder anlagenspezifische Parameter eruiert werden. Die erforderlichen Gesuchsunterlagen zur Erlangung der Bohrbewilligung und der Konzession sind in Kapitel 8.2 und in Anhang H erläutert.

Erdwärmesonde

Erdwärmesonden sind in der Regel etwas kostenintensiver in der Gesteuerung, dafür sind sie aber fast im gesamten Kantonsgebiet realisierbar. Als erstes sollte die Zulässigkeit aufgrund der Wärmenutzungskarte überprüft werden. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass in Zone C zusätzlich zu den allgemeinen Auflagen auch spezielle Auflagen gelten. Eine davon ist, dass die Bohrarbeiten für Erdwärmesonden in Zone C geologisch begleitet werden müssen. Bei Bohrungen in Zone B ist dies nicht Pflicht. Nichts desto trotz wird generell empfohlen, im Rahmen der Projektierung und insbesondere für die Dimensionierung von Erdwärmesondenanlagen einen Geologen beizuziehen. Die erforderlichen Gesuchsunterlagen zur Erlangung der Bohrbewilligung und der Konzession sind in Kapitel 8.2 und in Anhang H erläutert.

Andere Systeme:

Werden andere Systeme in Betracht gezogen, ist eine Absprache mit einem Geologiebüro, dem Amt für Energie und dem Amt für Umweltschutz zu empfehlen. Innerhalb des Wärmenutzungskonzepts finden sich diverse Erläuterungen zu folgenden Wärmenutzungssystemen:

- Energiepfahlanlage
- Erdwärmekollektoren
- Nutzung von Oberflächengewässer
- Nutzung von Tunnelsickerwasser
- Mitteltiefe Erdwärmesonden (ab 400 m Bohrtiefe)

9.2 Prozessdiagramm Bewilligungsverfahren

Das Bewilligungsverfahren für Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen im Kanton Uri ist in Anhang H in Form eines Prozessdiagramms dargestellt. Die das Verfahren leitende Behörde ist das Amt für Energie (AfE). Die Gewässerschutzbewilligung wird durch das Amt für Umweltschutz (AfU) erteilt inklusive den dazu notwendigen Abklärungen.

Es beginnt mit dem Gesuch um Erteilung der Bohrbewilligung. Für dieses Gesuch sind folgende Unterlagen erforderlich:

- Ausgefülltes Formular „Gesuch um Bohrbewilligung“ (erhältlich unter <http://www.ur.ch/de/themen/energie/>)
- Situationsplan (Massstab 1:500 oder 1:1000) mit Lage der Bohrungen
- Datenblatt der vorgesehenen Wärmepumpe
- Gegebenenfalls Vorabklärungen durch Geologiebüro

Nach Beurteilung durch das AfE und das AfU wird das Gesuch im Amtsblatt publiziert. Die Einsprachefrist beträgt 30 Tage.

Die Verfügung zur Bohrbewilligung inklusive der dazugehörigen Gewässerschutzbewilligung vom AfU wird durch die Baudirektion Uri erstellt. Entsprechende grundsätzliche Auflagen finden sich in Anhang D (für Erdwärmesonden in Zone B), in Anhang E (für Erdwärmesonden in Zone C) und in Anhang F (für Grundwasserwärmepumpen in Zone B). Standortsspezifische Auflagen bleiben vorbehalten.

Die Nutzung des Grundwassers und der Erdwärme bedarf ausserdem einer Konzession, welche nach erfolgter Bohrung und Installation der Anlage beantragt werden muss. Die Zuständigkeit liegt bei der Baudirektion.

Mit dem Konzessionsgesuch sind folgende Unterlagen mit einzureichen:

- Ausgefülltes Formular „Konzessionsgesuch“ (erhältlich unter <http://www.ur.ch/de/themen/energie/>)
- Bohrprofil inklusive speziellen Vorkommnissen (z.B. Grundwasserzutritt, Einbau Gewebepacker, usw.)
- Situationsplan (Massstab 1:500 oder 1:1000) mit effektiver Lage der Bohrungen (falls Anpassungen gegenüber dem Bohrgesuch vorgenommen wurden)
- Datenblatt der installierten Wärmepumpe
- Bericht der geologischen Begleitung inklusive geologischem Profil, falls sich die Anlage in Zone C (bei Erdwärmesonden) oder in Zone B (bei Grundwasserwärmepumpen) befindet

Das Amt für Energie gibt gerne weiterführende Auskunft über Einsatz- und Nutzungsmöglichkeiten von Grundwasser- und Erdsondenwärmepumpen sowie über allfällige Förderungsbeiträge durch den Kanton.

9.3 Pflichtenheft Bohrunternehmung

Zur einheitlichen Regelung der Aufgaben und Pflichten einer Bohrunternehmung sowie deren Zuständigkeit innerhalb eines Geothermieprojekts wurde im Rahmen dieses Wärmenutzungskonzepts ein Pflichtenheft entwickelt. Es befindet sich in Anhang I.

9.4 Pflichtenheft geologische Begleitung

Zur einheitlichen Regelung der Aufgaben und Pflichten des begleitenden Geologiebüros sowie dessen Zuständigkeit innerhalb eines Geothermieprojekts wurde im Rahmen dieses Wärmenutzungskonzepts ein Pflichtenheft entwickelt. Es befindet sich in Anhang J.

10. Synthese und Ausblick

Uri setzt hinsichtlich Energiegewinnung weiterhin auf eine gezielte und nachhaltige Nutzung der Erdwärme und der grossen Wasservorkommen in seinem Kantonsgebiet. Für eine technisch optimierte und umweltgerechte Umsetzung wird durch vorliegendes Wärmenutzungskonzept Hand geboten und gleichzeitig eine Grundlage für die Bewilligungspraxis geschaffen.

Im vorliegenden Bericht wurden für das Gebiet des Kantons Uri zehn hydrogeologische Regimes ausgeschieden, welche einerseits hinsichtlich ihrem Nutzungspotenzial und andererseits hinsichtlich ihrer Risiken für Mensch, Umwelt und Bauvorhaben, untersucht wurden. Diese Untersuchungen wurden (in unterschiedlicher Detailliertheit) für Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen, Energiepfahlanlagen, Erdwärmekollektoren, mitteltiefe Erdwärmesonden sowie für die Nutzung von Oberflächengewässer und Tunnelsickerwasser durchgeführt.

Regimes I bis V stehen für Lockergesteine, Regimes VI bis VIII für Felsgesteine. Regime IX steht für Oberflächengewässernutzung (wird separat qualitativ betrachtet) und Regime X für übrige Bereiche ohne konkrete Nutzungsmöglichkeit (inkl. Verbots- und Teilverbotszonen).

Die Resultate sind ein Nutzungskatalog für alle vier Wärmenutzungssysteme in allen Regimes sowie ein Risikokatalog für Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen innerhalb der Regimes I bis VIII. Dieser Risikokatalog bildet die Grundlage für das Bewilligungsverfahren.

Es zeigt sich, dass Erdwärmesonden grundsätzlich überall einsetzbar sind, ihr Potenzial aber in Felsgesteinen (Regime VI bis VIII) grösser ist als in den Lockergesteinen (Regime I bis V). Das Schadensrisiko hingegen wird in letzterem als höher eingestuft, wie auch dasjenige in Karstgebieten. Diesem geologisch-hydrogeologisch bedingten Unterschied im Risiko bei Erdwärmesondenbohrungen soll Rechnung getragen werden. Für das Bewilligungsverfahren werden somit nebst einer Zone „Erdwärmesonden nicht erlaubt“ zwei weitere Zonen entstehen: „Erdwärmesonden unter allgemeinen Auflagen erlaubt“ und „Erdwärmesonden unter allgemeinen und speziellen Auflagen erlaubt“.

Im Gegensatz zu Erdwärmesonden sind Grundwasserwärmepumpen nur in Lockergesteinen wirtschaftlich und in kalkulierbarem Risiko nutzbar. In Felsgesteinen ist dies nicht der Fall. Innerhalb der nutzbaren Regimes ist das Schadensrisiko sehr ähnlich bewertet, womit es für das Bewilligungsverfahren ausreichend ist, nebst einer Zone „Grundwasserwärmepumpen nicht erlaubt“ lediglich eine weitere Zone zu definieren: „Grundwasserwärmepumpen unter allgemeinen Auflagen erlaubt“.

Auf Grundlage dieses Konzepts wurden in einer zweiten Phase (siehe Kapitel 7) Wärmenutzungskarten mit Zulässigkeitszonen für Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen geografisch ausgeschieden und dargestellt. Diese werden vom Kanton Uri öffentlich zugänglich zur Verfügung gestellt.

ANHANG A

NUTZUNGSKATALOG WÄRMENUTZUNGSSYSTEME

Anhang A: Nutzungskatalog Wärmenutzungssysteme

Regime	Wärmenutzungssystem	Nutzungspotenzial
I: Fluvioglaziale Bach- und Flussschotter	- Erdwärmesonde / Erdspeicher	m
	- Grundwasserwärmepumpe	h
	- Energiepfahl	m
	- Erdwärmekollektoren	m
II: Bachschuttablagerungen	- Erdwärmesonde / Erdspeicher	m
	- Grundwasserwärmepumpe	m
	- Energiepfahl	g
	- Erdwärmekollektoren	m
III: Moräne (fossil)	- Erdwärmesonde / Erdspeicher	m
	- Grundwasserwärmepumpe	g
	- Energiepfahl	g
	- Erdwärmekollektoren	m
IV: Deltaablagerungen, Überschwemmungssedimente	- Erdwärmesonde / Erdspeicher	m
	- Grundwasserwärmepumpe	m
	- Energiepfahl	m
	- Erdwärmekollektoren	m
V: Verlandungs- und Seeufersedimente / Stillwasser- und Seebodensedimente	- Erdwärmesonde / Erdspeicher	m
	- Grundwasserwärmepumpe	g
	- Energiepfahl	m
	- Erdwärmekollektoren	m
VI: Karstgebiete	- Erdwärmesonde / Erdspeicher	h
	- Grundwasserwärmepumpe	m
	- Energiepfahl	-
	- Erdwärmekollektoren	-
VII: Quelfähige Felsgesteine	- Erdwärmesonde / Erdspeicher	h
	- Grundwasserwärmepumpe	g
	- Energiepfahl	-
	- Erdwärmekollektoren	-
VIII: Übrige Felsgesteine	- Erdwärmesonde / Erdspeicher	h
	- Grundwasserwärmepumpe	m
	- Energiepfahl	-
	- Erdwärmekollektoren	-

Legende: (-) kein Potential; (g) geringes Potential; (m) mittleres Potential; (h) hohes Potential. Für weitere Erläuterungen siehe Text.

ANHANG B

RISIKOKATALOG ERDWÄRMESONDEN

Anhang B: Risikokatalog für Erdwärmesonden im Kanton Uri

Regime	Mögliches Gefährdungsbild	Schadenspotential S	Eintrittswahrscheinlichkeit W	Risiko $(=(S+W)/2)$
I: Fluvioglaziale Bach- und Flussschotter	- Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten	h	m	m-h
	- Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke und Wasserwegsamkeiten	h	g	m
	- unvollständige Hinterfüllung	g	m	g-m
	- Starker Wasserzutritt	m	h	m-h
	- Thermische Auswirkung auf Grundwasser	m	g	g-m
	- Hydraulischer Grundbruch	h	g	m
	- Arteser	h	g	m
	- Stahlrohrverlust	g	m	g-m
	- Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten	g	m	g-m
II: Bachschutt-ablagerungen	- Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten	h	m	m-h
	- Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke und Wasserwegsamkeiten	h	g	m
	- unvollständige Hinterfüllung	g	m	g-m
	- Starker Wasserzutritt	m	h	m-h
	- Thermische Auswirkung auf Grundwasser	m	g	g-m
	- Hydraulischer Grundbruch	h	m	m-h
	- Arteser	h	g	m
	- Stahlrohrverlust	g	m	g-m
	- Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten	g	h	m
III: Moräne (fossil)	- unvollständige Hinterfüllung	g	m	g-m
	- Arteser	h	g	m
	- Stahlrohrverlust	g	m	g-m
	- Hebung oder Senkungen an der Oberfläche	h	g	m
IV: Deltaablagerungen, Überschwemmungs-sedimente	- Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten	m	m	m
	- Unvollständige Hinterfüllung	g	m	g-m
	- Hydraulischer Grundbruch	h	m	m-h
	- Arteser	h	g	m
	- Gaszutritt	h	g	m
V: Verlandungs- und Seeufersedimente / Stillwasser- und Seebodensedimente	- Unvollständige Hinterfüllung	g	m	g-m
	- Hydraulischer Grundbruch	h	g	m
	- Stahlrohrverlust	h	g	m
	- Gaszutritt	g	m	g-m
	- Hebung oder Senkungen an der Oberfläche	h	g	m

VI: Karstgebiete	- Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeite	h	h	h
	- Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke und Wasserwegsamkeiten	h	h	h
	- Unvollständige Hinterfüllung	g	h	m
	- Starker Wasserzutritt	m	m	m
	- thermische Auswirkungen auf Grundwasser	m	g	g-m
	- Arteser	h	g	m
	- Kantige Bohrlochwände	g	g	g
	- Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten	g	m	g-m
	- Hohlräume	h	h	h
	- Hebung oder Senkungen an der Oberfläche	h	g	m
VII: Quellfähige Felsgesteine	- Unvollständige Hinterfüllung	g	m	g-m
	- Stahlrohrverlust	g	m	g-m
	- Sondenquetschung (Quellung Bohrloch)	g	m	g-m
	- Kantige Bohrlochwände	g	g	g
	- Hebung oder Senkungen an der Oberfläche	h	g	m
VIII: Übrige Felsgesteine	- Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke und Wasserwegsamkeiten	m	g	g-m
	- Unvollständige Hinterfüllung	g	m	g-m
	- Starker Wasserzutritt	m	m	m
	- Thermische Auswirkungen auf Grundwasser	m	g	g-m
	- Arteser	h	g	m
	- Kantige Bohrlochwände	g	g	g
	- Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten	g	h	m
- Hohlräume	m	m	m	

Legende: (g) gering; (m) mittel; (h) hoch. Für weitere Erläuterungen siehe Text.

ANHANG C

RISIKOKATALOG GRUNDWASSERWÄRMEPUMPEN

Anhang C: Risikokatalog für Grundwasserwärmepumpenbohrungen im Kanton Uri

Regime	Mögliches Gefährdungsbild	Schadenspotential S	Eintrittswahrscheinlichkeit W	Risiko $(=(S+W)/2)$
I: Fluvioglaziale Bach- und Flussschotter	- Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten	h	g	m
	- Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke	m	m	m
	- Thermische Auswirkung auf Grundwasser	h	m	m-h
	- Hydraulischer Grundbruch	m	g	g-m
	- Arteser	h	g	m
	- Vorzeitige Alterung durch Ausfällung	g	h	m
	- Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten	g	m	g-m
II: Bachschutt-ablagerungen	- Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten	h	g	m
	- Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke	m	m	m
	- Thermische Auswirkung auf Grundwasser	h	m	m-h
	- Hydraulischer Grundbruch	m	m	m
	- Arteser	h	g	m
	- Vorzeitige Alterung durch Ausfällung	g	h	m
	- Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten	g	h	m
III: Moräne	- Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten	h	g	m
	- Thermische Auswirkung auf Grundwasser	h	g	m
	- Arteser	h	g	m
	- Vorzeitige Alterung durch Ausfällung	g	h	m
	- Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten	g	g	g
IV: Deltaablagerungen, Überschwemmungs-sedimente	- Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten	h	g	m
	- Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke	m	m	m
	- Thermische Auswirkung auf Grundwasser	h	m	m--h
	- Hydraulischer Grundbruch	h	m	m-h
	- Arteser	h	g	m
	- Vorzeitige Alterung durch Ausfällung	g	g	g
	- Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten	g	g	g

V: Verlandungs- und Seeufersedimente / Stillwasser- und Seebodensedimente	- Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten	h	g	m
	- Thermische Auswirkung auf Grundwasser	h	g	m
	- Arteser	h	g	m
	- Vorzeitige Alterung durch Ausfällung	g	h	m
	- Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten	g	g	g
VI: Karstgebiete	- Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten	h	m	m-h
	- Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke	h	m	m-h
	- Thermische Auswirkung auf Grundwasser	h	h	h
	- Arteser	h	g	m
	- Vorzeitige Alterung durch Ausfällung	g	h	m
	- Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten	g	h	m
VII: Quelfähige Felsgesteine	- Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten	h	m	m-h
	- Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke	h	g	m
	- Thermische Auswirkung auf Grundwasser	h	m	m-h
	- Hydraulischer Grundbruch	h	m	m-h
	- Arteser	h	g	m
	- Vorzeitige Alterung durch Ausfällung	m	g	g-m
	- Brunnenquetschung (Quellung Bohrloch)	g	m	g-m
	- Hebungen und Senkungen an der Oberfläche	h	m	m-h
VIII: Übrige Felsgesteine	- Grundwasserverschmutzung durch Bohrarbeiten	h	h	h
	- Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke	h	h	h
	- Thermische Auswirkung auf Grundwasser	h	h	h
	- Arteser	h	g	m
	- Vorzeitige Alterung durch Ausfällung	g	m	g-m
	- Bohrtechnisch anspruchsvolle Schichten	g	h	m

Legende: (g) gering; (m) mittel; (h) hoch. Für weitere Erläuterungen siehe Text.

ANHANG D

ALLGEMEINE AUFLAGEN ERDWÄRMESONDENBOHRUNGEN

Gewässerschutz-Anhang 5.1

Allgemeine Vorschriften für Bohr- und Ausbauarbeiten bei Erdwärmesonden
Grüner Zulässigkeitsbereich gemäss www.geo.ur

Geltungsbereich

Die nachfolgenden Auflagen gelten für die Bohr- und Ausbauarbeiten bei Erdwärmesonden, die gemäss Wärmenutzungskarte in den grünen Bereich zu liegen kommen. Sie ergänzen die projektbezogenen Auflagen in der entsprechenden Gewässerschutzbewilligung und sind verbindlich umzusetzen.

Die Grundsätze für eine Gewässerschutzbewilligung sind im Gewässerschutz-Anhang 1.1 «Bewilligungsgrundsätze Gewässerschutz» aufgeführt.

Planungsphase

1. Der Bewilligungsinhaber haftet für sämtliche Schäden, die sich aus den Sondierungsarbeiten ergeben. *Haftung*
2. Die Bewilligung ist zwei Jahre ab Eröffnung gültig. Sie kann durch das Amt für Umweltschutz auf ein begründetes Gesuch hin um ein Jahr verlängert werden. *Gültigkeit*
3. Das Amt für Energie ist mindestens zehn Tage im Voraus über den zeitlichen Ablauf der Bohrarbeiten schriftlich zu informieren. *Meldepflicht*
4. Es sind nur Bohrfirmen zugelassen, die nachweislich den Stand der Technik einhalten können. Die Bohrfirma ist zum Beispiel im Besitz des FWS-Gütesiegels für Erdwärmesondenbohrfirmen oder eines gleichwertigen Zertifikats. (siehe auch Pflichtenheft für Bohrunternehmungen) *Zugelassene Bohrfirmen*
5. Mögliche Auswirkungen auf benachbarte Erdsonden oder Erdsondenfelder sind frühzeitig vor dem Bohrstart abzuklären. *Benachbarte Erdsonden*
6. Das Pflichtenheft für die Bohrunternehmung gemäss Gewässerschutz-Anhang 5.4 ist verbindlich. *Allgemeine Voraussetzungen*
7. Die Planung der Erdwärmesonden hat gemäss BAFU Wegleitung «Wärmenutzung aus Boden und Untergrund» (2009), gemäss SIA Norm 384/6 und nach dem Stand der Technik zu erfolgen. *Planungsgrundlagen*

Bau- und Ausführungsphase

8. Befindet sich der vorgesehene Bohrstandort im potentiellen Zuströmbe-
reich von Quellen oder im Bereich eines belasteten Standorts, hält sich das
Amt für Umweltschutz vor, besondere standortspezifische Massnahmen *Vorbehalt besondere standortspezifische Massnahmen*

(z. B. hydrogeologische Vorabklärungen, Beweissicherung usw.) zu verfügen.

- | | | |
|----------------------|---|---|
| 9. | Verschiedene Grundwasserstockwerke dürfen nicht miteinander verbunden werden. Im Zweifelsfalle ist dies sofort dem Amt für Umweltschutz zu melden. Die Bohrarbeiten dürfen erst nach Freigabe durch das Amt für Umweltschutz weitergeführt werden. | <i>Grundwasserstockwerke</i> |
| 10. | Treten während den Bohrarbeiten unvorhergesehene Ereignisse auf wie z. B. gespanntes Grundwasser, Hohlräume, Gaszutritte, verschmutzte Schichten oder ölhaltige Gesteine, ist umgehend das Amt für Umweltschutz zu benachrichtigen. Die Bohrarbeiten dürfen erst nach Freigabe durch das Amt für Umweltschutz weitergeführt werden. | <i>unvorhergesehene Ereignisse</i> |
| 11. | Die Ableitung allfälligen Spül- oder Pumpwassers oder sonstiger Baustellenabwässer hat grundsätzlich nach dem Merkblatt «Bohrschlamm und Abwasser aus Erdwärmesonden-Bohrungen» oder nach Anweisung des Amtes für Umweltschutz zu erfolgen. Die dazu notwendige Rücksprache mit genannter Amtsstelle hat mindestens zehn Tage vor Inangriffnahme der Arbeiten zu erfolgen. Die Abwasser Uri lässt Einleitungen in ihr Kanalisationsnetz grundsätzlich nicht zu. Für etwaige spezielle Ausnahmefälle ist die Zustimmung der Abwasser Uri einzuholen. | <i>Ableitung allfälligen Spül- oder Pumpwassers</i> |
| 12. | Wird das Bohr- und Spülabwasser nicht vorschriftsgemäss behandelt und entsorgt, wird unweigerlich die sofortige Einstellung der Bohrung von Amtes wegen angeordnet und es erfolgt eine Strafanzeige gegen die Störer. | |
| 13. | Die Transportscheine für die Entsorgung des Bohrschlammes und des Bohr-abwassers für die genau bezeichneten Baustellen sind mindestens ein Jahr lang aufzubewahren. | <i>Bohrschlamm</i> |
| 14. | Die Bohrfirma führt ein Bohrprotokoll und nimmt alle 2 m eine Probe des Bohrkleins. | <i>Bohrprotokoll und Probenahme</i> |
| 15. | Es gelten zudem die allgemeinen Auflagen gemäss Gewässerschutz-Anhang 1.2 «Allgemeine Vorschriften Gewässerschutz». | <i>Allgemeine Voraussetzungen</i> |
| Dokumentation | | |
| 16. | Die Bohrunternehmung führt eine Dichtheits- und Durchflussprüfung nach SIA 384/6 durch und dokumentiert diese mittels Datenlogger oder mit einem entsprechenden Formular gemäss oder in Anlehnung an die SIA Norm 384/6. Dichtheits- und Durchflussprüfung sowie Art und Menge der verwendeten Hinterfüllung muss darin ersichtlich sein. | <i>Druck- und Durchflussprüfung nach SIA 384/6</i> |
| 17. | Sämtliche Daten und Ergebnisse der Bohr- und Ausbauarbeiten (Bohrprotokolle, Protokollen zur Dichtheits- und Durchflussprüfung, Situationsplan | |

mit effektiven Bohrpunkten, Ausführungsdaten der Bohrungen, usw.) sind spätestens zwei Monate nach Abschluss der Arbeiten dem Amt für Umweltschutz unentgeltlich und unaufgefordert zur Verfügung zu stellen.

Betriebsphase und Stilllegung

- | | | |
|-----|--|----------------------------------|
| 18. | Die Gewässerschutzbewilligung zur Nutzung von Erdwärme für den Betrieb von Erdwärmesonden ist über das Amt für Energie, zusammen mit der Konzession für Wärmenutzung, zu beantragen. | <i>Nutzung der Erdwärmesonde</i> |
| 19. | Es sind nur Kälteschutzmittel zugelassen, die gemäss Vollzugshilfe BAFU «Wärmenutzung aus Boden und Untergrund» (2009) als geeignet empfohlen werden. | <i>Kälteschutzmittel</i> |
| 20. | Es sind Kontrolleinrichtungen zu installieren, die allfällige Kältemittelverluste sofort anzeigen. | <i>Kontrolleinrichtungen</i> |
| 21. | Besondere Vorkommnisse, z. B. Verlust von Kältemittel, sind dem Amt für Umweltschutz sofort zu melden. | <i>Meldepflicht</i> |
| 22. | Werden Bohrungen oder Schächte nicht zur Wärmegegewinnung oder zu späteren Wasserstandsmessungen und Probenahmen genutzt, sind sie nach Anweisung des Amtes für Umweltschutz mit sauberem und geeignetem Material aufzufüllen oder zu sichern. | <i>Stilllegung</i> |

Abteilung Gewässerschutz

Lorenz Jaun, Abteilungsleiter

Altdorf, 4. Mai 2017 alu-sbu/GS497

ANHANG E

SPEZIELLE AUFLAGEN ERDWÄRMESONDENBOHRUNGEN

Gewässerschutz-Anhang 5.2

Spezielle Vorschriften für Bohr- und Ausbauarbeiten bei Erdwärmesonden
Gelber Zulässigkeitsbereich gemäss www.geo.ur

Geltungsbereich

Die nachfolgenden Auflagen gelten für die Bohr- und Ausbauarbeiten bei Erdwärmesonden, die gemäss Wärmenutzungskarte in den gelben Bereich zu liegen kommen. Sie ergänzen die projektbezogenen Auflagen in der entsprechenden Gewässerschutzbewilligung und sind verbindlich umzusetzen.

Planungsphase

1. Es gelten die allgemeinen, im vorliegenden Anhang allenfalls angepassten Auflagen gemäss Gewässerschutz-Anhang 5.1 «Allgemeine Vorschriften für Bohr- und Ausbauarbeiten bei Erdwärmesonden». *Allgemein*
2. Die Bohr- und Ausbauarbeiten bedürfen einer fachkundigen Baubegleitung durch einen ausgewiesenen Hydrogeologen. Dieser ist möglichst frühzeitig beizuziehen. *hydrogeologische Begleitung*
3. Das Amt für Umweltschutz behält sich vor, ein vorgängiges hydrogeologisches Gutachten zu verlangen. Die Anforderungen an den Inhalt sind im Pflichtenheft für das Geologiebüro (Gewässerschutz-Anhang 5.5 «Pflichtenheft für das Geologiebüro») festgelegt. *hydrogeologisches Gutachten*
4. Erdwärmesondenfelder (mehr als 4 Sonden) oder komplexe Anlagen (z. B. mit Heiz- und Kühlbetrieb oder anderweitige Wärmeeinspeisung in den Untergrund) bedürfen in Anlehnung an die SIA Norm 384/6 einer numerischen Modellierung zur Dimensionierung. Dabei ist auch eine allfällige Beeinflussung der Grundwassertemperatur zu berücksichtigen. *Numerische Modellierung gemäss SIA Norm 384/6*

Bau- und Ausführungsphase

5. In Regionen mit Gefahr von hydraulischem Grundbruch ist der Austrag des Bohrguts genau zu protokollieren. Ist dieser signifikant höher als die erwartete Menge, sind Bohrarbeiten mit Kompressordruck nicht gestattet. Das Geologiebüro und das Amt für Umweltschutz sind bei Vorkommnissen dieser Art umgehend zu informieren. Die Bohrarbeiten dürfen erst nach Freigabe durch das Amt für Umweltschutz weitergeführt werden. *Gefahr von hydraulischem Grundbruch*
6. Der Einsatz von grundwassergefährdenden Stoffen als Hilfsmittel zur Hinterfüllung, als Zusatz zur Stützflüssigkeit oder zur Bohrlochabdichtung (z. B. Bentonit, Schwerspat, Antisol usw.) und ist im Grundwasser nur zugelassen, wenn mittels Gewebepackern oder permanenten Verrohrungen ein Wegfliessen der Suspension verhindert werden kann. Ausnahmen werden ausschliesslich durch das Amt für Umweltschutz und nur in begründeten Fällen *Einsatz von grundwassergefährdenden Stoffen (z.B. Bentonit, Schwerspat, Antisol etc.)*

erteilt. Über dem Grundwasserspiegel dürfen Tonmineralgemische (z.B. Bentonit) ohne Gewebepacker oder permanenten Verrohrungen eingesetzt werden. Allfällige weitere Hilfsmittel wie mobile Schmier- und Dichtungsmittel dürfen nur nach vorgängiger Rücksprache und mit Genehmigung des Amtes für Umweltschutz verwendet werden.

Dokumentation

7. Die Ergebnisse aus den Bohr- und Ausbauarbeiten sind durch das Geologiebüro fachlich zu beurteilen und zu protokollieren. Aus dem Bohrklein ist ein geologisches Bohrprofil zu erstellen. Das geologische Bohrprofil, die Bohrprotokolle, die Protokolle zur Dichtheits- und Durchflussprüfung sowie der Situationsplan mit den effektiven Bohrpunkten sind dem Amt für Umweltschutz in Form eines Kurzberichts spätestens zwei Monate nach Abschluss der Arbeiten unentgeltlich und unaufgefordert zur Verfügung zu stellen. Dabei gelten die Pflichtenhefte für die Bohrunternehmung sowie für das Geologiebüro gemäss Gewässerschutz-Anhänge 5.4 und 5.5 als verbindlich. *Berichterstattung*

Betriebsphase

8. Als Kälteschutzmittel ist Propylenglykol (z. B. Antifrogen L) oder Ethanol (z. B. Pumpetha) einzusetzen. Monoethylenglykol (z. B. Antifrogen N) darf nicht eingesetzt werden. Andere Kälteschutzmittel dürfen nur nach Rücksprache und mit Genehmigung des Amtes für Umweltschutz verwendet werden. *Kälteschutzmittel*

Abteilung Gewässerschutz

Lorenz Jaun, Abteilungsleiter

Altdorf, 4. Mai 2017 alu-sbu/GS498

ANHANG F

ALLGEMEINE AUFLAGEN BOHRUNGEN ZUR GRUNDWASSERNUTZUNG

Gewässerschutz-Anhang 5.3

Allgemeine Vorschriften für Bohr- und Ausbauarbeiten bei Grundwasserwärmepumpen
Grüner Zulässigkeitsbereich gemäss www.geo.ur

Geltungsbereich

Die nachfolgenden Auflagen gelten für die Bohr- und Ausbauarbeiten bei Erdwärmesonden, die gemäss Wärmenutzungskarte in den grünen Bereich zu liegen kommen. Sie ergänzen die projektbezogenen Auflagen in der entsprechenden Gewässerschutzbewilligung und sind verbindlich umzusetzen.

Die Grundsätze für eine Gewässerschutzbewilligung sind im Gewässerschutz-Anhang 1.1 «Bewilligungsgrundsätze Gewässerschutz» aufgeführt.

Planungsphase

- | | | |
|----|---|---|
| 1. | Der Bewilligungsinhaber haftet für sämtliche Schäden, die sich aus den Sondierungsarbeiten ergeben. | <i>Haftung</i> |
| 2. | Diese Bewilligung ist zwei Jahre ab Eröffnung gültig. Sie kann durch das Amt für Umweltschutz auf ein begründetes Gesuch hin um ein Jahr verlängert werden. | <i>Gültigkeit</i> |
| 3. | Das Amt für Energie ist mindestens zehn Tage im Voraus über den zeitlichen Ablauf der Bohrarbeiten schriftlich zu informieren. | <i>Meldepflicht</i> |
| 4. | Die Bohr- und Ausbauarbeiten bedürfen einer fachkundigen Baubegleitung durch einen ausgewiesenen Hydrogeologen | <i>hydrogeologische Begleitung</i> |
| 5. | Die maximale Förderleistung für die Wärmepumpenanlage wird bei der Erteilung der Betriebsbewilligung festgelegt. Die Fördermenge für den Pumpversuch wird vom baubegleitenden Büro für Hydrogeologie bestimmt. | <i>Maximale Förderleistung</i> |
| 6. | Die Temperatur des Grundwassers darf durch Wärmeeintrag oder Wärmeentzug gegenüber dem natürlichen Zustand um höchstens 3 °C verändert werden. Im unmittelbaren Umkreis von maximal 100 Metern darf diese Veränderung mehr als 3 °C betragen. | <i>Temperaturveränderungen</i> |
| 7. | Die Temperatur des Brauchwassers darf bei dessen Rückgabe ins Grundwasser 4 °C nicht unterschreiten. | <i>Minimale Temperatur bei Rückgabe</i> |
| 8. | Mögliche Auswirkungen auf benachbarte respektive abstromliegende Anlagen sind frühzeitig vor dem Bohrstart abzuklären (z. B. mittels thermischer Grundwassermodellierung). Die Temperaturänderung im Vergleich zur ungestörten GW-Temperatur darf bei benachbarten respektive abstromliegenden Anlagen maximal 1.0 °C betragen. | <i>Thermische Modellierung</i> |

9. Die Pflichtenhefter für die Bohrunternehmung sowie für das begleitende Geologiebüro gemäss Gewässerschutz-Anhänge 5.4 und 5.5 sind verbindlich. *Allgemeine Voraussetzungen*
10. Die Planung der Grundwassernutzung hat gemäss BAFU Wegleitung «Wärmenutzung aus Boden und Untergrund» (2009), gemäss SIA Norm 384/7 und nach dem Stand der Technik zu erfolgen. *Planungsgrundlagen*
- Bau- und Ausführungsphase**
11. Der Ausbau des Förderbrunnens und der Rückgabe hat grundsätzlich nach den Vorgaben der Vollzugshilfe BAFU 2009 Wärmenutzung aus Boden und Untergrund, Anhang A2-1 und A2-2, zu erfolgen. *Ausbau*
12. Verschiedene Grundwasserstockwerke dürfen nicht miteinander verbunden werden. Die Beurteilung und Verantwortung darüber liegt beim baubegleitenden Hydrogeologen und muss protokolliert werden. Im Zweifelsfalle ist dies sofort dem Amt für Umweltschutz zu melden. Die Bohrarbeiten dürfen erst nach Freigabe durch das Amt für Umweltschutz weitergeführt werden. *Grundwasserstockwerke*
13. Treten während der Bohrarbeiten unvorhergesehene Ereignisse auf wie z. B. gespanntes Grundwasser, Hohlräume, Gaszutritte, verschmutzte Schichten oder ölhaltige Gesteine, so sind umgehend der zuständige Geologe und das Amt für Umweltschutz zu benachrichtigen. Die Bohrarbeiten dürfen erst nach Freigabe durch das Amt für Umweltschutz weitergeführt werden. *unvorhergesehene Ereignisse*
14. Die Ableitung allfälligen Spül- oder Pumpwassers oder sonstiger Baustellenabwässer hat nach Anweisung des Amtes für Umweltschutz zu erfolgen. Die dazu notwendige Rücksprache mit genannter Amtsstelle hat mindestens 10 Tage vor Inangriffnahme der Arbeiten zu erfolgen. *Ableitung allfälligen Spül- oder Pumpwassers*
15. Wird das Bohr- und Spülabwasser nicht vorschriftsgemäss behandelt und entsorgt, wird unweigerlich die sofortige Einstellung der Bohrung von Amtes wegen angeordnet und es erfolgt eine Strafanzeige gegen die Störer.
16. Der Einsatz von von grundwassergefährdenden Stoffen als Hilfsmittel zur Hinterfüllung, als Zusatz zur Stützflüssigkeit oder zur Bohrlochabdichtung (z.B. Bentonit, Schwerspat, Antisol usw.) und ist im Grundwasser nur zugelassen, wenn mittels Gewebepackern oder permanenten Verrohrungen ein Wegfliessen der Suspension verhindert werden kann. Ausnahmen werden ausschliesslich durch das Amt für Umweltschutz und nur in begründeten Fällen erteilt. Über dem Grundwasserspiegel dürfen Tonmineralgemische (z.B. Bentonit) ohne Gewebepacker oder permanenten Verrohrungen eingesetzt werden. Allfällige weitere Hilfsmittel wie mobile Schmier- und Dichtungsmittel dürfen nur nach vorgängiger Rücksprache und mit Genehmigung des Amtes für Umweltschutz verwendet werden. *Einsatz von Bentonit*

17. Es gelten die allgemeinen Auflagen gemäss Gewässerschutz-Anhang 1.2 «Allgemeine Vorschriften Gewässerschutz».
- Allgemeine Voraussetzungen*
- Dokumentation**
18. Sämtliche Daten und Ergebnisse aus den Bohrarbeiten, aus den Pump- und Schluckversuchen, aus Grundwasseranalysen sowie allfälligen weiteren Untersuchungen sind spätestens zwei Monate nach Abschluss der Arbeiten dem Amt für Umweltschutz unentgeltlich und unaufgefordert in Berichtsform zur Verfügung zu stellen. Dabei gelten die Pflichtenhefter für die Bohrunternehmung sowie für das Geologiebüro gemäss Gewässerschutz-Anhänge 5.4 und 5.5 als verbindlich.
- Berichtserstattung*
- Betriebsphase und Stilllegung**
19. Die Gewässerschutzbewilligung zur Nutzung von Grundwasser für den Betrieb einer Wärmepumpenanlage ist über das Amt für Energie zusammen mit der Konzession für die Nutzung von Grundwasser zum Betrieb von Wärmepumpen zu beantragen.
- Nutzung der Grundwasserwärmepumpe*
20. Jede Wasserentnahme ist mittels einer nicht rückstellbaren und plombierten Wasseruhr zu registrieren
- Kontrolleinrichtungen*
21. Die Entnahme- und Rückgabebauwerke sind so zu gestalten, dass Wasserstandsmessungen und Probenahmen jederzeit möglich sind. Über diese dürfen keine Schmutzstoffe ins Grundwasser gelangen (dichte und verschraubbare Abdeckungen).
22. Es sind Kontrolleinrichtungen zu installieren, die allfällige Kältemittelverluste sofort anzeigen. Nach Möglichkeit sind nicht wassergefährdete Kältemittel zu wählen.
23. Besondere Vorkommnisse, z. B. Verlust von Kältemittel, sind dem Amt für Umweltschutz sofort zu melden.
- Meldepflicht*
24. Betriebsstunden, Wasser- und Wärmeentnahmemengen müssen periodisch protokolliert und auf Verlangen dem Amt für Umweltschutz mitgeteilt werden.
- Protokollierung*
25. Werden Bohrungen oder Schächte nicht zur Wärmegewinnung oder zu späteren Wasserstandsmessungen und Probenahmen genutzt, sind sie nach Anweisung des Amtes für Umweltschutz mit sauberem und geeignetem Material aufzufüllen oder zu sichern.
- Stilllegung*

Abteilung Gewässerschutz

Lorenz Jaun, Abteilungsleiter

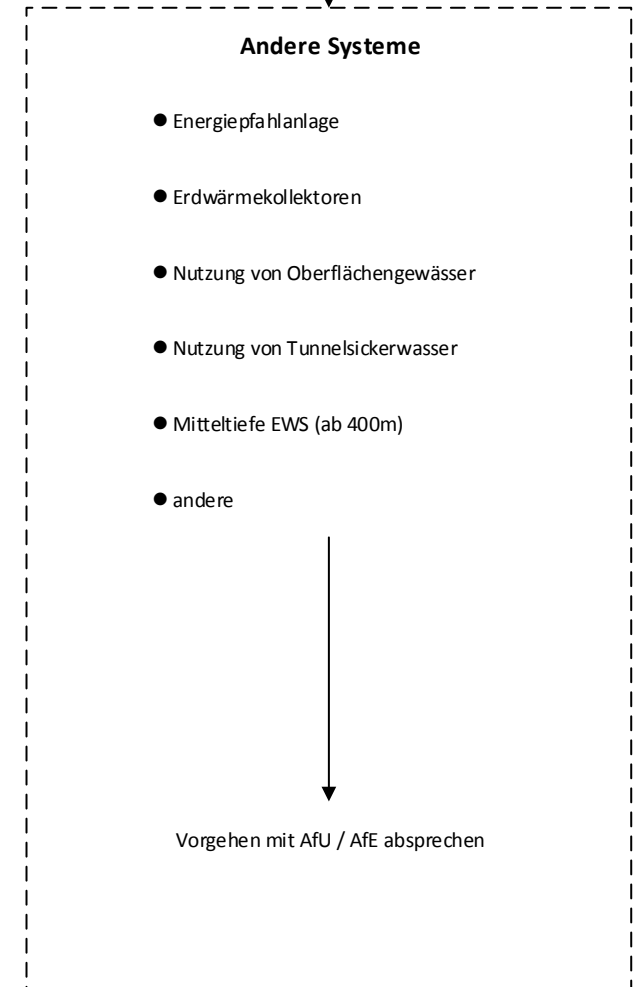
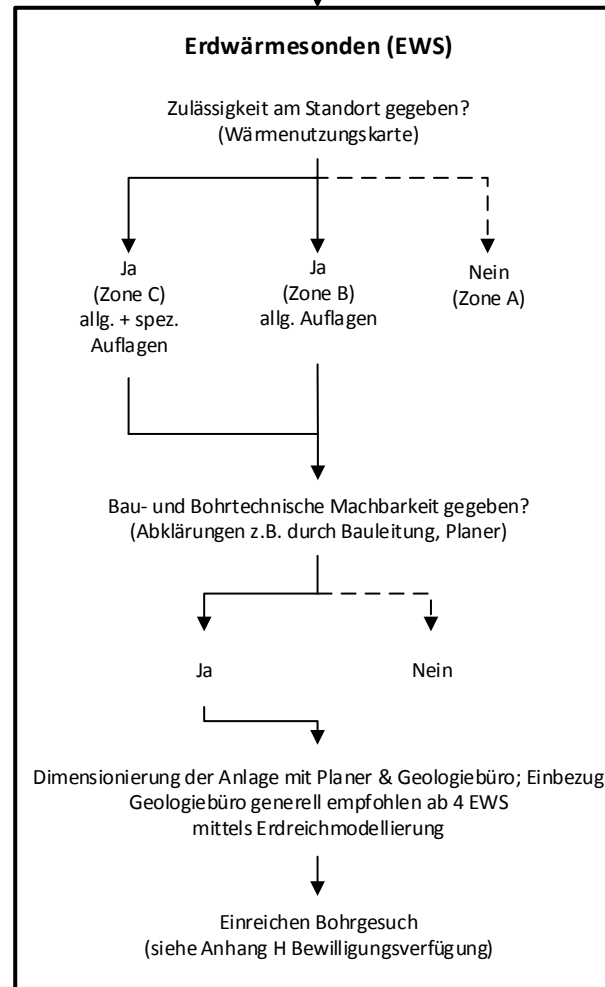
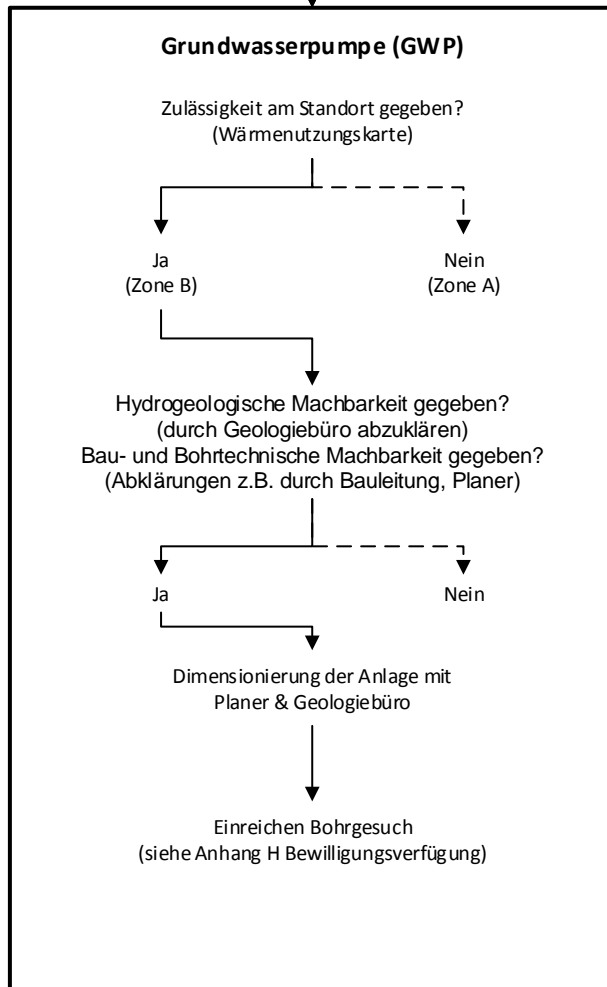
Altdorf, 4. Mai 2017 alu-sbu/GS499

ANHANG G

ENTSCHEIDUNGSBAUM WÄRMENUTZUNGSSYSTEM

Entscheid Wärmenutzung aus dem Untergrund

Welches System kommt heizungstechnisch in Frage?



Legende

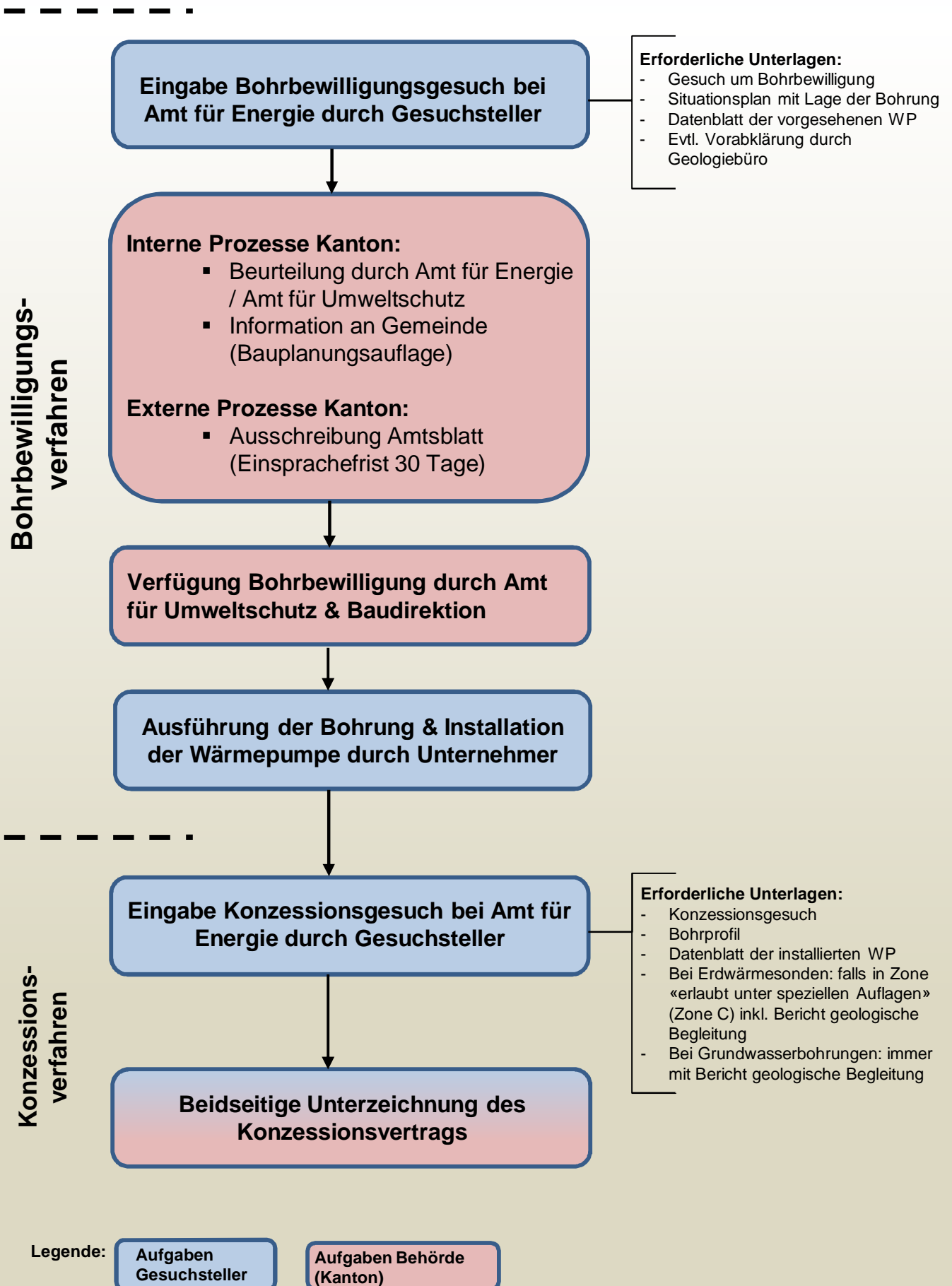
- Zone A: Grundwasserpumpe bzw. Erdwärmesonde generell nicht erlaubt
- Zone B: unter allgemeinen Auflagen erlaubt
- Zone C: unter allgemeinen und speziellen Auflagen erlaubt

Stand: 23.05.2017

ANHANG H

SCHEMA BEWILLIGUNGSVERFAHREN

Anhang H: Ablauf Bohrbewilligung- & Konzessionsverfahren (siehe Dokument «Planungshilfe für die Bauherrschaft»)



ANHANG I

PFLICHTENHEFT BOHRUNTERNEHMUNG

Gewässerschutz-Anhang 5.4

Pflichtenheft für die Bohrunternehmungen

1. Die Bohrunternehmung ist im Besitz des FWS-Gütesiegels für Erdwärmesondenbohrungen oder eines gleichwertigen Zertifikats und hält sich neben den Vorgaben des Gewässerschutz-Anhangs 1.1 an mindestens folgende Normen und Richtlinien:
 - SIA 384/6, Erdwärmesonden (2010)
 - SIA 384/7, Grundwasserwärmenutzung (2015)
 - BAFU-Praxishilfe, Wärmenutzung aus Boden und Untergrund (2009)

Bedingungen

2. Vor Beginn der Bohrarbeiten hat der Bohrmeister Kenntnis der Bohrbewilligung und den entsprechenden Auflagen sowie allen weiteren für die Baustelle relevanten Verfügungen.

Information des Bohrmeisters

3. Wird für die Bohrarbeiten eine hydrogeologische Begleitung verfügt, meldet sich die Bohrunternehmung frühzeitig beim beauftragten Geologiebüro.

Information des Geologiebüros

4. Die Bohrunternehmung kümmert sich frühzeitig um eine fachgerechte Entsorgung von Bohrschlamm und Abwasser gemäss Gewässerschutz-Anhang 5.1 respektive 5.3.

Bohrschlamm und Abwasser

5. Die Bohrunternehmung kümmert sich frühzeitig um eine Baustellenzufahrt und -installation die sämtlichen Umweltvorschriften genügt.

Zufahrt und Installation

6. Meldepflichtige Ereignisse wie z. B. gespanntes Grundwasser, verschiedene Grundwasserstockwerke, Hohlräume, Gaszutritte, verschmutzte Schichten, ölhaltige Gesteine sind durch die Bohrunternehmung umgehend telefonisch dem Amt für Umweltschutz mitzuteilen.

Meldepflicht

7. Die Bohrunternehmung führt mindestens ein Bohr- und Ausbauprotokoll.

Allg. Dokumentation

8. Die Bohrunternehmung führt bei Erdwärmesondenbohrungen zusätzlich eine Dichtheits- und Durchflussprüfung nach SIA 384/6 durch und dokumentiert diese mittels Datenlogger oder mit einem entsprechenden Formular gemäss oder in Anlehnung an die SIA Norm 384/6. Dichtheits- und Durchflussprüfung sowie Art und Menge der verwendeten Hinterfüllung muss darin ersichtlich sein.

Druck- und Durchflussprüfung nach SIA 384/6

- | | | |
|-----|---|---|
| 9. | Die Bohrunternehmung führt bei Grundwasserwärmepumpenbohrungen zusätzlich ein Entsandungsprotokoll sowie ein Protokoll für Pump- und Schluckversuche. | <i>Entsanden, Pump- und Schluckversuche</i> |
| 10. | Wird für die Bohrarbeiten eine hydrogeologische Begleitung verfügt, spricht die Bohrunternehmung die Übergabe der Bohrproben mit dem Geologiebüro frühzeitig ab. Grundsätzlich sind für Erdwärmesondenbohrungen alle 2 m Proben des Bohrkleins zu nehmen, während für Grundwasserwärmepumpenbohrungen eine durchgehende Aufbewahrung des Bohrguts in Kernkisten vorzusehen ist. | <i>Bohrproben</i> |
| 11. | Sämtliche durch die Bohrunternehmung erstellten Dokumente werden dem Amt für Umweltschutz unentgeltlich zugestellt, beziehungsweise, falls eine hydrogeologische Begleitung beauftragt wurde, dem entsprechenden Geologiebüro. | <i>Zustellung der Daten an AfU</i> |
| 12. | Sämtliche für den Ausbau von Erdwärmesonden- und Grundwasserbohrungen verwendeten Rohre respektive Sonden müssen werkgefertigt sein. Entsprechende Fabrikationsnummern sind aufzubewahren. | <i>Rohre und Sonden</i> |
| 13. | Die Bohrunternehmung führt vorsorglich ein eingeschaltetes Gaswarngerät auf der Baustelle mit sich. | <i>Gaswarngerät</i> |
| 14. | Die Bohrunternehmung führt vorsorglich bohrtechnische Hilfsmittel zur Abdichtung des Bohrlochs und zur Vermeidung eines Wegfliessens der Suspension mit und wendet diese bei Bedarf an (z. B. Gewebepacker). | <i>Hilfsmittel zur Abdichtung des Bohrlochs</i> |
| 15. | Die Bohrunternehmung führt vorsorglich bohrtechnische Hilfsmittel zur Intervention bei artesisch gespanntem Grundwasser oder bei Gaszutritt mit. | |
| 16. | Bezüglich Ausrüstung der Bohrunternehmung gilt die SIA Norm 384/6 (insbesondere Anhang E) bei Erdwärmesondenbohrungen sowie die SIA Norm 384/7 bei Bohrungen für Grundwasserwärmepumpen. | <i>Allg. Ausrüstung</i> |

Abteilung Gewässerschutz

Lorenz Jaun, Abteilungsleiter

Altdorf, 4. Mai 2017 alu-sbu/GS500

ANHANG J

PFLICHTENHEFT GEOLOGIEBÜRO

Gewässerschutz-Anhang 5.5

Pflichtenheft für das Geologiebüro

Bei Bohrungen für Erdwärmesonden

Hydrogeologisches Gutachten / Machbarkeitsabklärung

Wird ein vorgängiges hydrogeologisches Gutachten verfügt, sind im Mindesten folgende Unterlagen einzureichen:

1. Einleitung mit Standort (Adresse und Parzellen-Nr.), Auftraggeber, Anzahl und Tiefe der Bohrungen, Energiebedarfsdaten, Angaben über standortspezifische Besonderheiten (z. B. erwartete Karstphänomene, Zuströmbereich Quellen, belastete Standorte usw.). *Einleitung*
2. Dimensionierungsnachweis für Erdwärmesondenfelder (mehr als 4 Sonden) oder komplexe Anlagen (z. B. mit Heiz- und Kühlbetrieb oder anderweitigen Wärmeeinspeisung in den Untergrund) im Grundwasser. *Dimensionierung*
3. Allgemeine Beschreibung der erwarteten geologischen und hydrogeologischen Bedingungen sowie Hinweise auf allfällige bohrtechnische oder gewässerschutztechnische Risiken. *Prognose*
4. Empfehlungen zum allgemeinen Vorgehen, Empfehlungen zur Vermeidung möglicher Gefahren und Aufzeigen möglicher Alternativen. *Empfehlungen*

Hydrogeologische Begleitung

Im Rahmen der hydrogeologischen Begleitung hat das Geologiebüro folgende Pflichten zu erfüllen:

5. Erarbeiten der generellen zu erwartenden hydrogeologischen Verhältnisse. *Prognose*
6. Kommunikation der generellen hydrogeologischen Verhältnisse an die Bohrfirma, Hinweise auf mögliche Gefahren und Instruktionen. *Instruktion*
7. Mindestens eine Begehung zur Begutachtung der generellen Verhältnisse vor Ort, der bisher angetroffenen hydrogeologischen Bedingungen und der Entsorgung des Bohrabwassers. *Begehungen*
8. Telefonische Absprachen mit Bohrunternehmung und Amt für Umweltschutz, Beratung zum Vorgehen. *Kommunikation*
9. Chronologische Protokollierung der Ereignisse. *Protokoll*

Kurzbericht als Konzessionsbeilage bei hydrogeologischer Begleitung

Falls eine hydrogeologische Begleitung erforderlich ist, ist durch das Geologiebüro ein Bericht zu verfassen, der als Beilage für das Konzessionsgesuch dient. Er kann in Kurzberichtsform verfasst werden, muss jedoch im Mindesten folgende Informationen beinhalten:

- | | | |
|-----|--|---------------------------------|
| 10. | Bauherrschaft, Standort (Adresse und Parzellen-Nr.), Auftraggeber, Anzahl und Tiefe der Bohrung(-en), begleitender Geologe, ausführende Bohrfirma und Bohrmeister. | <i>Einleitung</i> |
| 11. | Angaben über allgemeine geologische und hydrogeologische Verhältnisse sowie gewässerschutzrechtliche Aspekte. | <i>Allg. Verhältnisse</i> |
| 12. | Situationsplan mit vermassten und nummerierten Sondenstandorten. | <i>Situationsplan</i> |
| 13. | Bohr- und Ausbauprotokoll der Bohrunternehmung. | <i>Protokolle der Bohrfirma</i> |
| 14. | Prüf- und Abnahmeprotokoll der Bohrunternehmung mit einem entsprechenden Formular gemäss oder in Anlehnung an die SIA Norm 384/6. | |
| 15. | Chronologische Protokollierung der Ereignisse, Aufführen allenfalls aufgetretener Probleme. | <i>Protokoll</i> |
| 16. | Hydrogeologisches Profil aufgrund der Bohrgutproben der Bohrunternehmung. | <i>Profil</i> |
| 17. | Empfehlung zur Konzessionserteilung. | <i>Konzession</i> |

Bei Bohrungen für Grundwasserwärmepumpen

Hydrogeologisches Gutachten / Machbarkeitsabklärung

Wird ein vorgängiges hydrogeologisches Gutachten verfügt, sind im Mindesten folgende Unterlagen zu liefern:

- | | | |
|----|--|------------------------|
| 1. | Einleitung mit Standort (Adresse und Parzellen-Nr.), Auftraggeber, Anzahl und Tiefe der Bohrungen beziehungsweise Schächte, Energiebedarfsdaten, Angaben über standortspezifische Besonderheiten (z. B. gespanntes Grundwasser, Zuströmbereich Grundwasserfassungen, belastete Standorte usw.) | <i>Einleitung</i> |
| 2. | Dimensionierung und generelles Konzept der vorgesehenen Entnahme- und Rückgabebauwerke. | <i>Dimensionierung</i> |
| 3. | Darstellung bestehender Anlagen zur Grundwassernutzung innerhalb des möglichen Wirkungsfelds. | <i>Modellierungen</i> |

- | | | |
|----|--|------------------------------|
| 4. | Mittels thermischer Modellierung aufzeigen, dass die Grundwassertemperatur bei bestehenden Anlagen um jeweils nicht mehr als 1 °C verändert wird, sowie dass die Grundwassertemperatur in 100 m Distanz um nicht mehr als 3 °C verändert wird. | <i>Temperaturveränderung</i> |
| 5. | Allgemeine Beschreibung der erwarteten geologischen und hydrogeologischen Bedingungen inklusive Prognoseprofil sowie Hinweise auf allfällige bohrtechnische oder gewässerschutztechnische Risiken. | <i>Prognose</i> |
| 6. | Empfehlungen zum allgemeinen Vorgehen, Empfehlungen zur Vermeidung möglicher Gefahren und Aufzeigen möglicher Alternativen. | <i>Empfehlungen</i> |

Hydrogeologische Begleitung

Im Rahmen der hydrogeologischen Begleitung hat das Geologiebüro folgende Pflichten zu erfüllen:

- | | | |
|-----|---|----------------------------|
| 7. | Erarbeiten der generellen zu erwartenden hydrogeologischen Verhältnisse. | <i>Prognose</i> |
| 8. | Kommunikation der generellen hydrogeologischen Verhältnisse an die Bohrfirma, Hinweise auf mögliche Gefahren und Instruktionen. | <i>Instruktion</i> |
| 9. | Mindestens eine Begehung zur Begutachtung der generellen Verhältnisse vor Ort, der bisher angetroffenen hydrogeologischen Bedingungen und der Entsorgung des allfälligen Bohrabwassers. | <i>Begehungen</i> |
| 10. | Bestimmung des definitiven Ausbaus der Bohrungen. | <i>Ausbau</i> |
| 11. | Grundwasserqualitätsmessungen (als Profilmessungen wie auch Pumpwasseranalysen möglich). | <i>Grundwasserqualität</i> |
| 12. | Planung, Überwachung und Auswertung von Pump- und Schluckversuchen. | <i>Versuche</i> |
| 13. | Telefonische Absprachen mit Bohrunternehmung und Amt für Umweltschutz, Beratung zum Vorgehen. | <i>Kommunikation</i> |

Kurzbericht als Konzessionsbeilage bei hydrogeologischer Begleitung

Durch das begleitende Geologiebüro ist ein Bericht zu erfassen, der als Beilage für das Konzessionsgesuch dient. Er kann in Kurzberichtsform verfasst werden, muss jedoch im Mindesten folgende Informationen beinhalten:

- | | | |
|-----|--|-------------------|
| 14. | Bauherrschaft, Standort (Adresse und Parzellen-Nr.), Auftraggeber, Anzahl und Tiefe der Bohrung(-en), begleitender Geologe, ausführende Bohrfirma und Bohrmeister. | <i>Einleitung</i> |
|-----|--|-------------------|

- | | | |
|-----|--|---------------------------------|
| 15. | Angaben über allgemeine geologische und hydrogeologische Verhältnisse sowie gewässerschutzrechtliche Aspekte. | <i>Allg. Verhältnisse</i> |
| 16. | Situationsplan mit vermassten und nummerierten Standorten der Entnahme- und Rückgabebauwerken. | <i>Situationsplan</i> |
| 17. | Darstellung bestehender Anlagen zur Grundwassernutzung innerhalb des möglichen Wirkungsfelds. | <i>Modellierungen</i> |
| 18. | Mittels thermischer Modellierung aufzeigen, dass die Grundwassertemperatur bei bestehenden Anlagen um jeweils nicht mehr als 1 °C verändert wird, sowie dass die Grundwassertemperatur in 100 m Distanz um nicht mehr als 3 °C verändert wird. | <i>Temperaturveränderung</i> |
| 19. | Beschreibung der ausgeführten Entnahme- und Rückgabebauwerke (angetroffene Verhältnisse, Ausbau, Dimension usw.). | <i>Ausbau</i> |
| 20. | Auswertungen der Wasserqualitätsmessungen. | <i>Grundwasserqualitäten</i> |
| 21. | Auswertung von Pump- und Schluckversuchen inklusive Berechnung von Durchlässigkeitsbeiwerten und Dimensionierungsnachweis. | <i>Versuche</i> |
| 22. | Bohr- und Ausbauprotokoll der Bohrunternehmung. | <i>Protokolle der Bohrfirma</i> |
| 23. | Protokolle zum Entsandern sowie zu Pump- und Schluckversuchen. | |
| 24. | Aufführen allenfalls aufgetretener Probleme. | <i>Protokoll</i> |
| 25. | Hydrogeologisches Profil aufgrund des Bohrkerns der Bohrunternehmung. | <i>Profil</i> |
| 26. | Empfehlung zur Konzessionserteilung. | <i>Konzession</i> |

Abteilung Gewässerschutz

Lorenz Jaun, Abteilungsleiter

Altdorf, 4. Mai 2017 alu-sbu/GS501