

Juli 2009

# **Statistik der geothermischen Nutzung in der Schweiz**

**Ausgabe 2008**

Geowatt AG  
Dohlenweg 28  
8050 Zürich

Autoren:

Sarah Signorelli  
Florian Sonnenfroh  
Sabin Imhasly  
Ladislaus Rybach  
Thomas Kohl

Geowatt AG  
Dohlenweg 28  
8050 Zürich

Tel. +41 (044) 242 14 54  
Fax +41 (044) 242 14 58

info@geowatt.ch  
www.geowatt.ch

GEOOTHERMIE.CH  
Schweizerische Vereinigung für Geothermie SVG  
Société Suisse pour la Géothermie SSG  
Zürcherstrasse 105  
CH-8500 Frauenfeld

Tel. +41 (052) 721 79 02  
Fax +41 (052) 721 79 01

info@geothermie.ch  
www.geothermie.ch

## Zusammenfassung

Jährlich wird im Auftrag des Bundesamtes für Energie durch GEOTHERMIE.CH/SVG eine Statistik zur geothermischen Energieproduktion in der Schweiz erstellt. Sie ist Bestandteil der Statistik der Erneuerbaren Energien zuhanden des Bundesamtes für Energie.

Die vorliegende Statistik beruht auf Betriebsdaten, die von Anlagebetreibern geliefert werden, und der Elektrowärmepumpen-Statistik des Bundesamtes für Energie, welche auf den Verkaufszahlen der Wärmepumpenlieferanten basiert. Die Statistik zeigt, dass die Heizenergie aus geothermischen Quellen 2008 2'040 GWh betrug, wobei der Anteil der geothermische und somit erneuerbaren Energie bei etwa 1'530 GWh liegt. Gegenüber 2007 konnte die Heizenergie um fast 18% gesteigert werden.

Die geothermische Heizenergie stammt hauptsächlich aus Wärmepumpensystemen zu Heizzwecken (1'747 GWh). Davon entfällt 86 % auf Erdwärmesondensysteme. Die weitere geothermische WP-Nutzung teilt sich auf in "Oberflächennahes Grundwasser" (210 GWh), "Geostrukturen" (21.5 GWh), "Tiefe Aquifer"-Nutzung (13.4 GWh), "Tunnelwasser" (4.3 GWh) und "Tiefe EWS" (0.8 GWh). Nicht WP-abhängige Geothermie-Nutzungen sind mehrheitlich "Thermalbad"-Anwendungen (290 GWh). Daneben erfolgt auch ein Anteil der "Tiefen Aquifer"-Nutzung durch die Anlage Riehen direkt ohne Wärmepumpe (2.1 GWh).

## Résumé

Chaque année, une étude mandatée par l'Office Fédéral de l'Énergie au travers de GEOTHERMIE.CH/SSG rassemble des statistiques sur la production d'énergie géothermique en Suisse. Les statistiques données sont intégrées dans les statistiques des énergies renouvelables de l'Office Fédéral de l'Énergie.

L'étude statistique proposée repose sur des données de fonctionnement fournies par le gérant de l'installation et par les statistiques de l'Office Fédéral de l'Énergie sur les pompes à chaleur électriques, sur lesquelles se basent les chiffres de vente des installateurs de pompe à chaleur. Les statistiques montrent que la production de chaleur d'origine géothermique atteint en 2008 2'040 GWh, dont la part d'énergie géothermique renouvelable (source froide) est de environ 1'530 GWh. La production de chaleur d'origine géothermique augmente presque de 18% par rapport à 2007.

Les pompes à chaleur fournissent l'essentiel de la production de chaleur (1'747 GWh). 86% de cette énergie provient de systèmes fonctionnant avec des sondes géothermiques. Le reste de l'utilisation avec pompe à chaleur est partagé entre l'exploitation d'aquifères surfaciques (210 GWh), les géostructures (21.5 GWh), les aquifères profonds (13.4 GWh), l'utilisation d'eau des tunnels (4.3 GWh) et les sondes géothermiques profondes (0.8 GWh). Les systèmes non basés sur les pompes à chaleur sont principalement les bains thermaux (290 GWh). Il faut ajouter à cela la production de l'installation de Riehen (aquifère profond), partiellement réalisée sans pompe à chaleur (2.1 GWh).

## **Abstract**

Every year the geothermal energy production of Switzerland is compiled by GEOTHERMIE.CH/SVG by order of the Swiss federal office of energy. The present statistics is part of the Renewable Energy Statistics of Swiss Federal Office of Energy.

It is based on production data delivered from plant operators and on a calculation scheme for electric heat pump statistics of Swiss Federal Office of Energy. In 2008 the heat production amounted to 2.04 TWh, with a geothermal and thus renewable energy part of 1.53 TWh. This corresponds to an increase in heat production by nearly 18 % relative to 2007.

Geothermal heat pump systems for space heating provide the main part of heat production (1.743 TWh). Of this, 86 % comes from systems with borehole heat exchangers. The remaining heat pump based utilization is made up by groundwater systems (210 GWh), geostructures (21.5 GWh), deep aquifers (13.4 GWh), tunnel waters (4.3 GWh) and deep borehole heat exchangers (0.8 GWh). Utilization without heat pumps is mainly from thermal bathing (290 GWh). Besides, a part of deep aquifer utilization comes from the Riehen doublet system, operating without heat pumps (2.1 GWh).

## Inhalt

1	Einleitung .....	8
1.1	Ausgangslage.....	8
1.2	Geothermische Nutzungstypen .....	8
2	Vorgehen.....	9
3	Geothermische Anlagentypen .....	10
3.1	Wärmepumpen-Anlagen – Allgemein .....	10
3.2	Sole/Wasser Wärmepumpen-Anlagen.....	16
3.2.1	Vorgehen.....	16
3.2.2	Tiefe Erdwärmesonden.....	16
3.2.3	Geostrukturen (Energiepfahlsysteme) .....	17
3.2.4	Erdwärmesonden (inkl. Erdregister und Erdwärmekörbe).....	18
3.3	Wasser/Wasser Wärmepumpen-Anlagen .....	19
3.3.1	Vorgehen.....	19
3.3.2	Oberflächennahes Grundwasser .....	19
3.3.3	Tunnelwasser.....	20
3.3.4	Tiefer Aquifer – Nutzung über Wärmepumpen.....	21
3.4	Direktnutzung (Nicht-Wärmepumpennutzung) .....	22
3.4.1	Tiefer Aquifere – Direktnutzung.....	22
3.4.2	Thermalbäder .....	22
3.5	Geothermisches Kühlen.....	24
4	Überblick Geothermie Nutzung in der Schweiz .....	24
5	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	33
6	Literaturverzeichnis.....	34
7	Beilagen .....	36

## Figuren

Figur 1:	Geothermie-Nutzungsmöglichkeiten des Untergrundes in der Schweiz in unterschiedlichen Tiefen- und Temperaturbereichen.....	9
Figur 2:	Entwicklung des Wärmepumpenbestandes für die SW-WP- und für die auf geothermischer Nutzung basierenden WW-WP-Anlagen (siehe Text). Die gestrichelten Linien beschreiben die rückwirkend Neuberechneten Werte aufgrund der Umstellung des Berechnungssystems ab 2004 (siehe Kapitel 2). Der Bestand an SW-WP hat sich seit 1990 mehr als versechsfacht, derjenige von geothermisch relevanten WW-WP mehr als verdoppelt. ....	12
Figur 3:	Entwicklung der installierten Heizleistung für die SW-WP- und für die auf geothermischer Nutzung basierenden WW-WP-Anlagen. Die gestrichelten Linien beschreiben die rückwirkend Neuberechneten Werte aufgrund der Umstellung des Berechnungssystems ab 2004 (siehe Kapitel 2).....	13
Figur 4:	Entwicklung der Heizenergie für die SW-WP- und für die auf geothermischer Nutzung basierenden WW-WP-Anlagen. Die Schwankungen in der Heizenergie sind auf die unterschiedlichen Heizgradtage pro Jahr zurückzuführen (siehe Text). Die gestrichelten Linien beschreiben die rückwirkend Neuberechneten Werte aufgrund der Umstellung des Berechnungssystems ab 2004 (siehe Kapitel 2). ....	14
Figur 5:	Entwicklung der geförderten geothermischen (erneuerbaren) Energie für die SW-WP und für die auf geothermischer Nutzung basierenden WW-WP-Anlagen. Die Schwankungen in der geothermischen Energie sind auf die unterschiedlichen Heizgradtage pro Jahr zurückzuführen (siehe Text). Die gestrichelten Linien beschreiben die rückwirkend Neuberechneten Werte aufgrund der Umstellung des	

	Berechnungssystems ab 2004 (siehe Kapitel 2).....	15
Figur 6:	Diagramm mit Anteilen der installierten Heizleistung aufgeschlüsselt für WP-Systeme im Jahr 2008. ....	26
Figur 7:	Diagramm mit Anteilen der Heizenergie aller geothermischen Systeme im Jahr 2008. ....	28
Figur 8:	Diagramm mit Anteilen der geförderten geothermischen (erneuerbaren) Energie aller geothermischen Systeme im Jahr 2008. ....	30
Figur 9:	Heizenergie (Wärmeproduktion) aller geothermischen Systeme seit 1990, basierend auf den Daten der Elektro-Wärmepumpen-Statistik und auf Angaben von Anlagebetreibern. Die Werte repräsentieren effektive Betriebsdaten, abhängig von den Heizgradtagen in einem Jahr. Deshalb sind Schwankungen von Jahr zu Jahr möglich. Für die Kategorien "Erdwärmesonden" und "Oberflächennahes Grundwasser" sind die Anteile von Grossanlagen mit einer Heizleistung von >100 kW schraffiert dargestellt. ....	31
Figur 10:	Geothermische (erneuerbare) Energie (vor der WP) aller geothermischen Systeme seit 1990, basierend auf den Daten der Elektro-Wärmepumpen-Statistik und auf Angaben von Anlagebetreibern. Für die Kategorien "Erdwärmesonden" und "Oberflächennahes Grundwasser" sind die Anteile von Grossanlagen mit einer Heizleistung von >100 kW schraffiert dargestellt. ....	32

## Tabellen

Tabelle 1:	Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch "Tiefe EWS" für 2008 gemäss Betreiberangaben. ....	17
Tabelle 2:	Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch "Geostrukturen" für 2008, aktualisiert anhand von ausgerüsteten Pfahlmeter. Die angegebene JAZ ist der Mittelwert für alle betriebenen Anlagen. ....	18
Tabelle 3:	Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch "EWS" (inkl. "Erdwärmekörbe" und "Erdregister") für 2008. Die angegebene JAZ ist der Mittelwert für alle betriebenen Anlagen. ....	18
Tabelle 4:	Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch Oberflächennahe Grundwasseranlagen für 2008. Die Heizenergie wird basierend auf den Heizgradtagen pro Jahr berechnet. Dies kann zu Schwankungen von Jahr zu Jahr führen. Die angegebene JAZ ist der Mittelwert für alle betriebenen Anlagen. ....	20
Tabelle 5:	Kennzahlen der geothermischen "Tunnelwasser"-Nutzung für 2008 (basierend auf Février und Rybach, 2007; aktualisiert gemäss Betreiberangaben). ....	21
Tabelle 6:	Kennzahlen der geothermischen Nutzung aus "Tiefen Aquiferen" für 2008, gemäss Betreiberangaben. ....	22
Tabelle 7:	Kennzahlen der geothermischen Nutzung der Kategorie "Thermalbäder" für 2008. ....	23
Tabelle 8:	Total installierte Heizleistung [MW], aufgeschlüsselt nach WP-Systemen für die Jahre 2000 bis 2008. ....	25
Tabelle 9:	Heizenergie [GWh], aufgeschlüsselt nach geothermischen Systemen für die Jahre 2000 bis 2008. Die Werte repräsentieren effektive Betriebsdaten, abhängig von den Heizgradtagen in einem Jahr. Deshalb sind Schwankungen von Jahr zu Jahr möglich. Der Rückgang bei der Produktion der Thermalbäder ist auf die Einstellung des Betriebes in Saillon und auf die vorübergehende Schliessung des Thermalbades Lostorf zurückzuführen. ....	27
Tabelle 10:	Geförderte geothermische (erneuerbare) Energie [GWh], aufgeschlüsselt nach geothermischen Systemen für die Jahre 2000 bis 2008. Die Werte repräsentieren effektive Betriebsdaten, abhängig von den Heizgradtagen in einem Jahr. Deshalb sind Schwankungen von Jahr zu Jahr möglich. Bei Nicht-WP-Systemen entspricht die	

geothermische Energie der Heizenergie. Der Rückgang bei der Produktion der Thermalbäder ist auf die Einstellung des Betriebes in Saillon und auf die vorübergehende Schliessung des Thermalbades Lostorf zurückzuführen..... 29

## Beilagen

Beilage 1:	Kennzahlen der Sole-Wasser-Wärmepumpen (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.1). Die Energiewerte sind nicht-klimanormiert und repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr. Die angegebenen JAZ sind die Mittelwerte für alle betriebenen Anlagen, unabhängig von der Inbetriebnahme. ....	36
Beilage 2:	Kennzahlen der Wasser-Wasser-Wärmepumpen (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.1). Die Energiewerte sind nicht-klimanormiert und repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr. Die angegebenen JAZ sind die Mittelwerte für alle betriebenen Anlagen, unabhängig von der Inbetriebnahme. ....	37
Beilage 3:	Kennzahlen der Nutzung mit "Tiefen Erdwärmesonden" (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.2.2). Die Angaben repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr, geliefert von Anlagebetreibern.....	38
Beilage 4:	Kennzahlen der Nutzung mit "Geostrukturen" (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.2.3). Die Angaben repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr. Bis 2003 basieren die Zahlen auf der Erhebung von neu erstellten Anlagen. Ab 2004 wird der Zuwachs anhand von mit Wärmetauschern ausgerüsteten Pfahlmetern abgeschätzt. Die angegebenen JAZ sind die Mittelwerte für alle betriebenen Anlagen, unabhängig von der Inbetriebnahme. ....	39
Beilage 5:	Kennzahlen der Nutzung mit "Erdwärmesonden", inkl. "Erdwärmekörbe" und "Erdregister" (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.2.4). Die Energiewerte sind nicht-klimanormiert und repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr. Die angegebenen JAZ sind die Mittelwerte für alle betriebenen Anlagen, unabhängig von der Inbetriebnahme.....	40
Beilage 6:	Kennzahlen der WP-Nutzung von "Oberflächennahem Grundwasser" (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.3.2). Die Energiewerte sind nicht-klimanormiert und repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr. Die angegebenen JAZ sind die Mittelwerte für alle betriebenen Anlagen, unabhängig von der Inbetriebnahme. ....	41
Beilage 7:	Kennzahlen der "Tunnelwasser"-Nutzung (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.3.3). Die Werte repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr abgeschätzt anhand von Betreiberangaben (Février und Rybach, 2007).....	42
Beilage 8:	Kennzahlen der Nutzung von "Tiefen Aquiferen" (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.3.4). Die Werte repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr gemäss Betreiberangaben. Die Schwankungen in der Produktion gehen neben unterschiedlich strengen Winter auf technische Probleme bei den Anlagen Riehen und Kloten zurück. ....	43
Beilage 9:	Kennzahlen der Direktnutzung von "Tiefen Aquiferen" durch die Anlage Riehen (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.4.1). Bei der Nutzung ohne WP entspricht die reine geothermische Energie der Wärmeproduktion.....	44
Beilage 10:	Kennzahlen der Thermalbad-Nutzung (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.4.2). ....	45

## 1 Einleitung

### 1.1 Ausgangslage

Jährlich erhebt die Dachorganisation GEOTHERMIE.CH/Schweizerische Vereinigung für Geothermie (SVG) statistische Daten über die geothermische Nutzung in der Schweiz. In diesem Bericht sind die Produktionsdaten bis 2008 zusammengestellt.

### 1.2 Geothermische Nutzungstypen

Als Geothermie wird allgemein der Wärmeentzug aus dem Untergrund bezeichnet. Wie Figur 1 zeigt, steht für die geothermische Energienutzung eine breite Palette von Technologien zur Verfügung. Deren Einsetzbarkeit richtet sich vor allem nach dem Temperaturniveau der Wärmeressourcen im Untergrund. Da die Temperatur mit der Tiefe generell zunimmt, erfolgt die Unterteilung der Nutzungsbereiche in:

- Untiefe oder oberflächennahe Geothermie
- Tiefe Geothermie

Die Tiefenabgrenzung wird generell bei 400 m unter Terrain angenommen.

In der oberflächennahen Geothermie gibt es folgende Nutzungstypen:

- "Oberflächennahes Grundwasser"
- "Erdwärmesonden (EWS)", als Einzelsysteme und EWS-Felder
- "Erdregister"
- "Energiekörbe"
- "Geostrukturen - Energiepfahlsysteme"
- "Tiefe Erdwärmesonden"
- "Tunnelwasser"

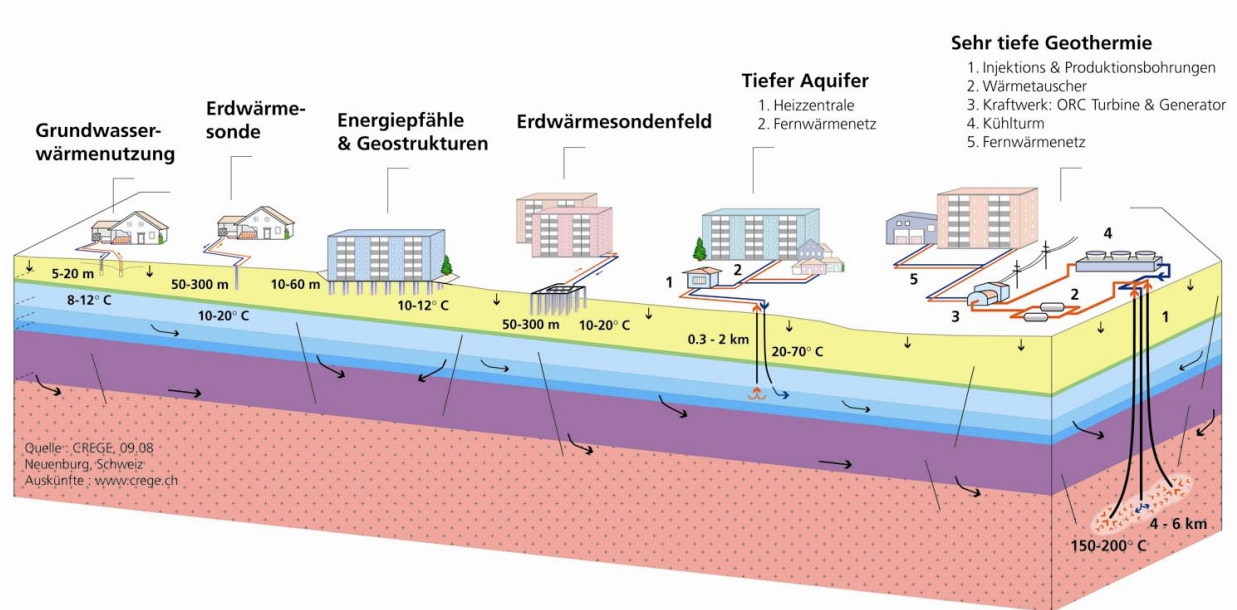
Um das benötigte Temperaturniveau für Heizzwecke zu erreichen, sind diese Systeme meist an eine Wärmepumpe (WP) gekoppelt. Der oberflächennahe Untergrund dient aber nicht nur als Wärmequelle für WP, sondern auch als saisonaler Wärme- und Kältespeicher. Je nach Verbrauchsprofil kann der gesamte Kühlbedarf ohne Einsatz der WP direkt über den Untergrund gedeckt werden (Geocooling oder Direkte Kühlung). Ist der Kühlbedarf zu gross oder sind tiefe Kühlttemperaturen nötig (z.B.: Entfeuchtung), werden WP im Sommer zum Kühlen eingesetzt (Forced Cooling oder Aktive Kühlung). In der Schweiz sind hauptsächlich zwei Anlagentypen als Geothermie-Speicher im Einsatz: EWS-Felder und Geostrukturen. Deren Kühlleistungen und Kühlenergie können bis anhin nicht erfasst werden.

In der tiefen Geothermie gibt es folgende Nutzungskategorien:

- "Tiefe Aquifere"
- "Thermalbad"
- "Enhanced Geothermal System - EGS"

Bisher sind in der Schweiz die Geothermie-Anlagen fast ausschliesslich an WP gekoppelt. Ausnahme sind die Kategorien "Thermalbad" und "Tiefe Aquifere" (Beispiel: Riehen).

Allgemein treten bei geothermischer Nutzung nur vernachlässigbare Umwelteinflüsse auf. Lediglich bei EGS kann es zu gewissen Erschütterungen bei der Erstellung der unterirdischen Reservoirs kommen.



Figur 1: Geothermie-Nutzungsmöglichkeiten des Untergrundes in der Schweiz in unterschiedlichen Tiefen- und Temperaturbereichen.

## 2 Vorgehen

Das Vorgehen zur Bestimmung der geothermischen Nutzung in der Schweiz sieht eine Aufschlüsselung der geothermischen Anlagen in geothermische WP- und Nicht-WP-Nutzung. Die WP-Anlagen werden zusätzlich in Sole/Wasser und Wasser/Wasser-Anlagen unterteilt. Die Aufteilung gliedert sich in folgende Systeme:

### Wärmepumpennutzung Sole/Wasser (SW):

- "Erdwärmesonden inkl. Erdwärmekörbe und Erdregister"
- "Tiefe Erdwärmesonden"
- "Geostrukturen (Energiepfähle)"

### Wärmepumpennutzung Wasser/Wasser (WW):

- "Oberflächennahes Grundwasser"
- "Tunnelwasser"
- "Tiefe Aquifere mit WP-Nutzung"

### Direktnutzung (Nicht-Wärmepumpennutzung):

- "Tiefe Aquifere-Direktnutzung"
- "Thermalbäder"

Diese Statistik erfasst folgende Kennzahlen:

- **Installierte Heizleistung:** [Einheit W].
- **Heizenergie:** Totale Wärmeproduktion über den Zeitraum eines Jahres, die bei WP-Systemen der Energie nach der Wärmepumpe entspricht und somit auch den Stromanteil beinhaltet [Einheit Wh].
- **Geförderte, geothermische (erneuerbare) Energie:** Reine geothermische Energie (= produzierte Erdwärme vor der WP) über den Zeitraum eines Jahres, die bei WP-Systemen unter der Heizenergie liegt. Bei der Nutzung ohne WP entspricht die reine geothermische Energie der Heizenergie [Einheit Wh].

Die Bestimmung der Kennzahlen zur geothermischen WP-Nutzung in der Schweiz beruht auf Betriebsdaten, die von Anlagebetreibern geliefert werden, und der Elektrowärmepumpen-Statistik, welche auf den Verkaufszahlen der Wärmepumpenlieferanten basiert (siehe Kapitel 3.1 bis 3.3). Die Verkaufszahlen werden durch die Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (AWP) und die Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS) erhoben. Das in der Elektrowärmepumpen-Statistik verwendete Berechnungsschema ist in Basics (2007) detailliert beschrieben und wird in Kapitel 3.1 zusammengefasst. Die direkte geothermische Nutzung ohne Wärmepumpen aus "Thermalbädern" und "Tiefe Aquiferen" wird aus Betriebsdaten zusammengestellt (siehe Kapitel 3.4).

### **3 Geothermische Anlagentypen**

#### **3.1 Wärmepumpen-Anlagen – Allgemein**

Das Berechnungsschema aus der Elektrowärmepumpen-Statistik zur Bestimmung der WP-Nutzung erfuhr wiederholt Veränderungen. Die aktuelle Version stammt von 2007 (Basics, 2007). In dieser Version wird neu nach Wärmequellen bzw. Wärmepumpentypen (SW, WW, Luft/Wasser (LW) und Luft/Luft (LL)) unterschieden, wodurch die ausgewiesenen Bestands-, Leistungs- und Produktionszahlen direkt für die Geothermie-Statistik übernommen werden können. So kann eine mit der Elektrowärmepumpen-Statistik kompatible Statistik erstellt und jährlich nachgeführt werden. Beide Statistiken sind einzeln Bestandteil der Statistik der Erneuerbaren Energien des BFE.

Um eine Kompatibilität zu erreichen, wurden 2007 die geothermischen Produktionszahlen rückwirkend bis 1990 neu berechnet (Signorelli et al., 2007). Dies führt dazu, dass sich die neu ausgewiesenen Kennzahlen von denen in den vorhergehenden Geothermie-Statistiken (Signorelli et al., 2004, Kohl et al., 2003, Rybach et al., 2000) unterscheiden können. In den nachfolgenden Figuren sind deshalb jeweils die ursprünglichen und die korrigierten Werte dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der resultierenden Unterschiede ist in Signorelli et al. (2007) zu finden.

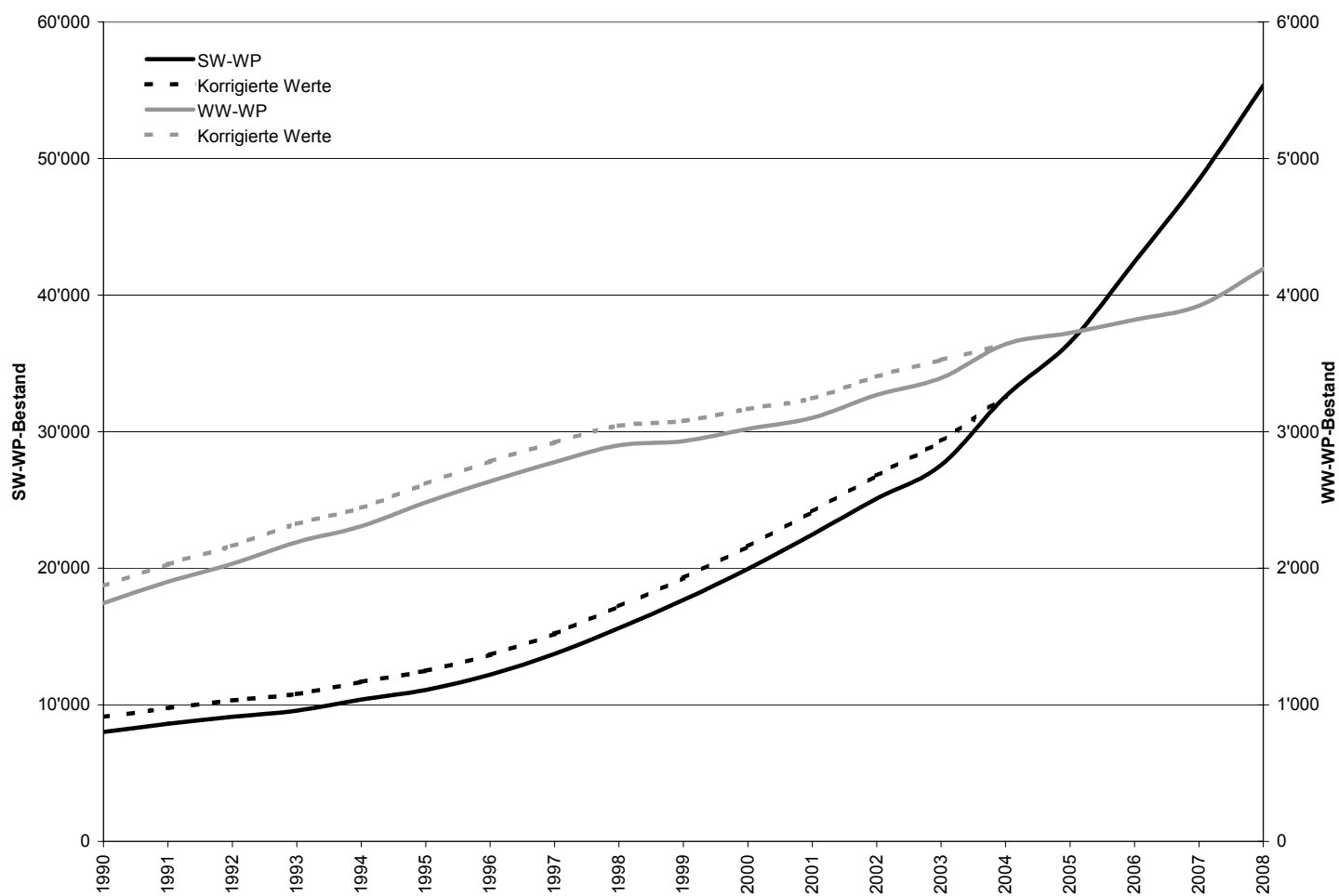
Das verwendete Berechnungsschema sieht die Eingabe der WP-Verkaufszahlen in eine Excel-Maske vor, eingeteilt in verschiedene Leistungskategorien. Die WP sind in Kleinanlagen mit drei Einzelkategorien (<5 kW, 5-10 kW, 10-20 kW), in mittlere Anlagen aufgeschlüsselt in zwei Kategorien (20-50 kW, 50-100 kW) und in grosse WP-Anlagen mit zwei Kategorien (100-300 kW, >300 kW) unterteilt. Dabei wird nach Wärmequellen bzw. WP-Typen (SW, WW, LW, LL) unterschieden. WP-Verkaufszahlenreichen bis 1970 zurück, wobei die frühen Jahre auf Schätzungen basieren. Über die Verkaufszahlen wird von Jahr zu Jahr mit Hilfe von typischen Ausfallverläufen die Zahl der effektiv betriebenen WP berechnet. Die durchschnittliche WP-Lebensdauer wurde anhand neuer Erkenntnisse bestimmt und beträgt aktuell 16.6 Jahre (Basics, 2007).

Für jede Leistungskategorie wurden aufgrund einer detaillierten Analyse in Basics (2007) die mittlere Leistung, typische Normlaufzeiten und die Verbesserung der JAZ über die Jahre bestimmt. Bei den SW-WP der Kategorie "10–20 kW" betragen z.B. die mittlere Leistung 14 kW und die Normlaufzeit 1932 h/Jahr. Für die JAZ wird eine Steigerung von 1990 bis 2008 von 3.0 auf 3.6 angenommen. Bei den WW-WP betragen die mittlere Leistung 14 kW und die Normlaufzeit 1634 h/Jahr. Die Steigerung der JAZ wird von 2.8 auf 3.4 angenommen.

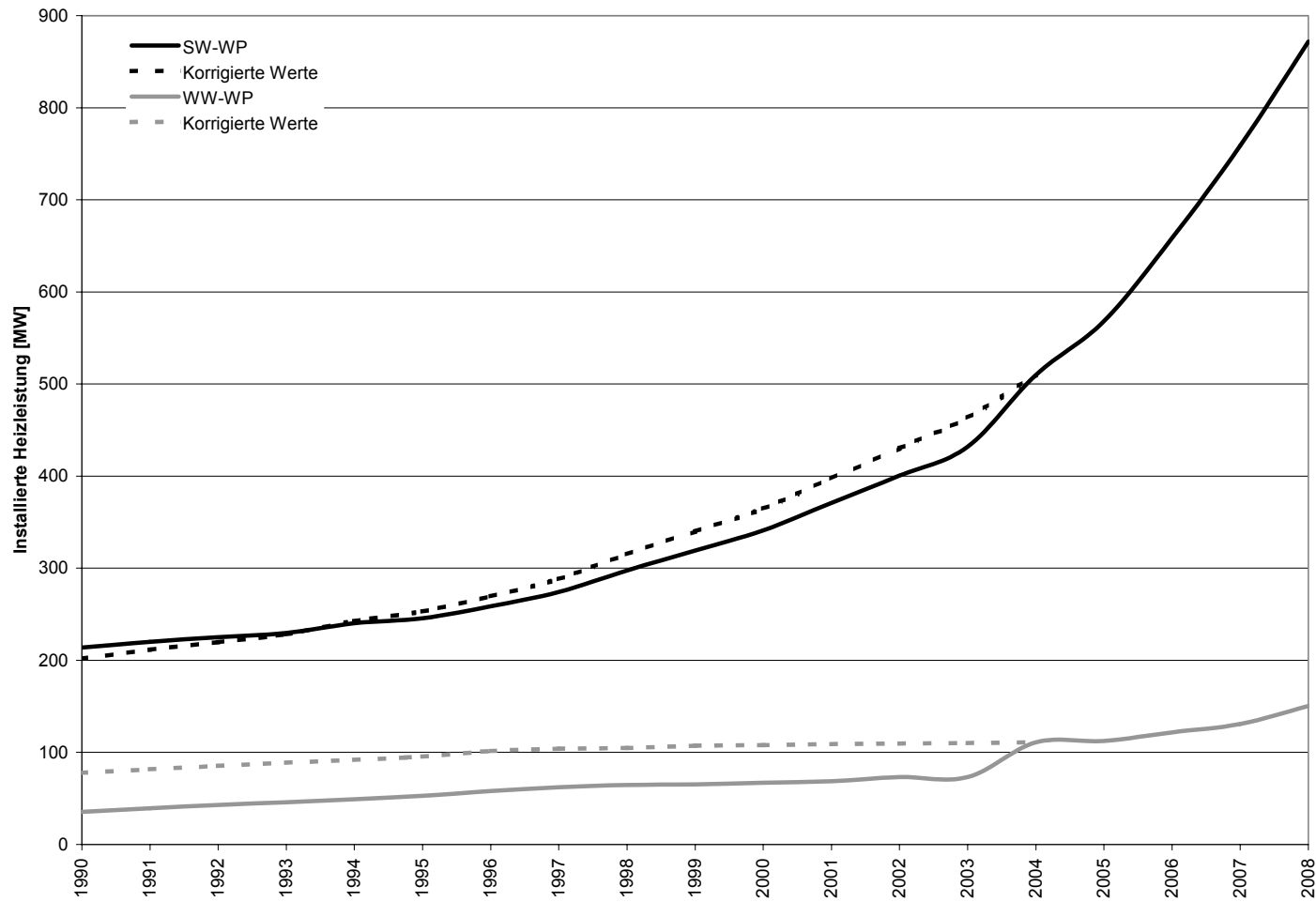
Basierend auf diesen Anlageparametern erfolgt die Berechnung der installierten Heizleistung, der Heizenergie und der geothermischen (erneuerbaren) Energie. Dabei werden die jahreszeitlich bedingten Einflüsse auf die JAZ der WP-Anlagen über die Heizgradtage berücksichtigt. Dies kann dazuführen, dass es von Jahr zu Jahr Schwankungen in der Produktion aufgrund der unterschiedlich strengen Winter gibt. Die hier veröffentlichten Daten sind also als effektive Betriebsdaten zu verstehen. Sie sind nicht klimanormiert und somit nicht auf ein durchschnittliches Jahr genormt.

Die in der Elektrowärmepumpen-Statistik angewendete Unterscheidung nach SW- und WW-WP-Anlagen erlaubt keine einfache Aufteilung in die verschiedenen geothermischen Nutzungstypen. Deshalb müssen für die Bestimmung der geothermischen Nutzung in der Schweiz bestimmte Annahmen getroffen werden, die in den jeweiligen Kapiteln beschrieben sind. So wird aus den Angaben zu SW-WP in der aktuellen Elektrowärmepumpen-Statistik der "EWS"-Anteil durch Erhebung der Betriebsdaten der anderen SW-Nutzungstypen "Tiefe Erdwärmesonden" und "Geostrukturen (Energiepfähle)" bestimmt (siehe Kapitel 3.1). Auch die Nutzung des "Oberflächennahen Grundwassers" ist nicht direkt aus den Angaben über WW-WP ableitbar. Da nicht alle Anlagen dieses Typs die Wärme aus geothermischen Quellen beziehen (z.B. Seewasser, Abwasser), muss der Anteil der Grundwasser-WP abgeschätzt werden (80 % aller WW-WP, siehe Kapitel 3.3). Für die anderen WW-Nutzungstypen stehen Betriebsdaten zur Verfügung.

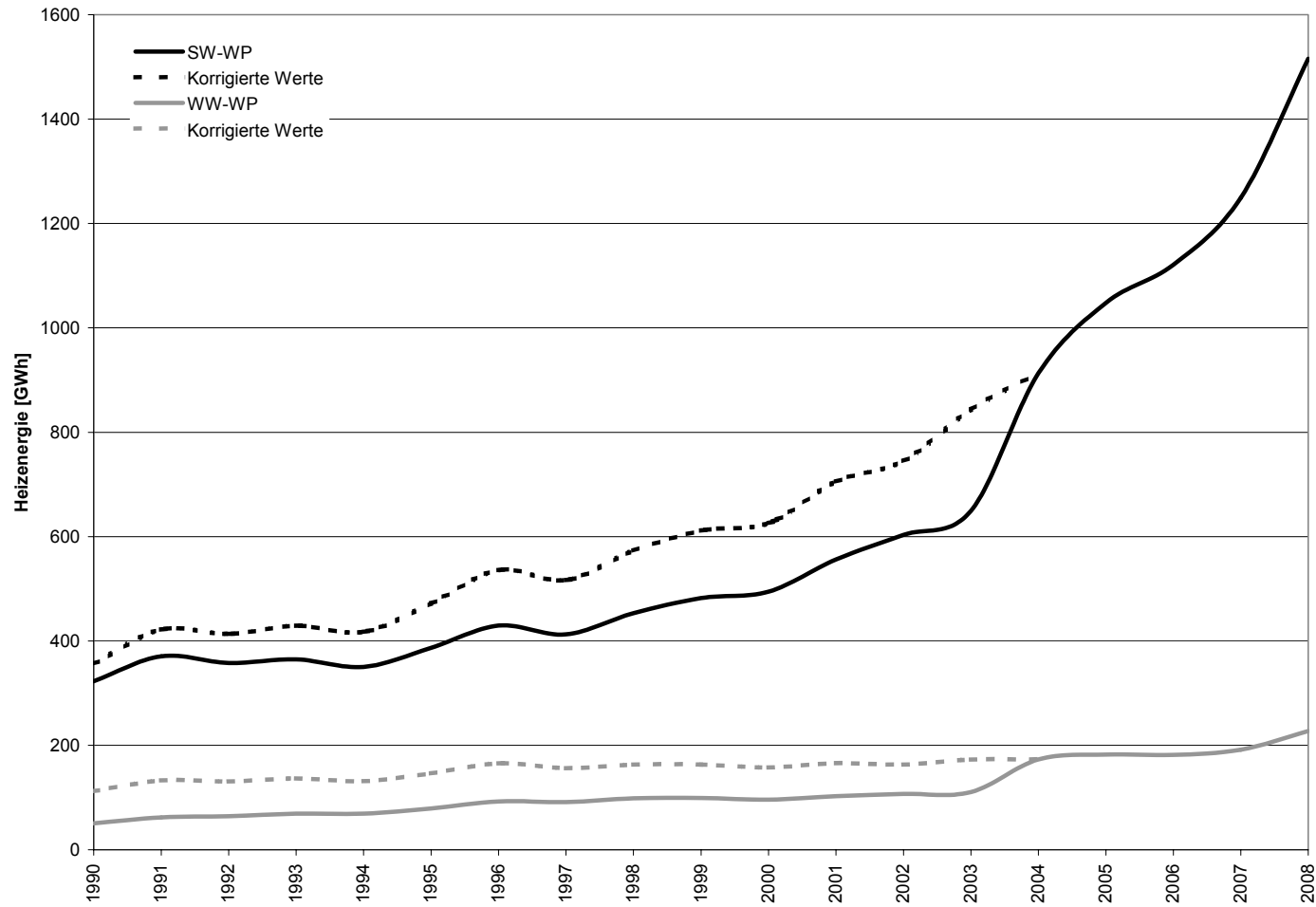
Figur 2 bis 5 zeigen den Anstieg des geothermisch relevanten Wärmepumpenbestandes, der installierten Heizleistung, der Heizenergie und der produzierten, geothermischen Energie seit 1990. In den Figuren sind auch die rückwirkend Neuberechneten Werte aufgrund der Umstellung des Berechnungssystems dargestellt (siehe Kapitel 2). Der Bestand an SW-WP hat sich seit 1990 mehr als versechsfacht, derjenige von geothermisch relevanten WW-WP mehr als verdoppelt. Für 2008 wird die Anzahl der SW-Anlagen auf 55'343 und die der WW-Anlagen auf 4'192 geschätzt (siehe Beilage 1 und Beilage 2). Während die SW-WP-Anzahl seit 2000 jährlich um durchschnittlich 12% anstieg, sind es bei den geothermischen WW-WPs seit 2000 nur etwa 4%. Die WW-WP-Anlagen verzeichnen nach einer leichten Stagnation der letzten paar Jahre wieder einen Anstieg. So lag der Zuwachs an geothermischen WW-WP 2008 gegenüber dem Vorjahr bei 7%. Entsprechend des Bestandeszuwachses zeigen die SW-WP-Anlagen auch einen grossen Zuwachs bei der installierten Heizleistung, bei der Heizenergie und bei der geothermischen Energie. Die Heizenergie der SW-WP-Anlagen betrug 2008 ca. 1'520 GWh, diejenige der WW-WP-Anlagen etwa 230 GWh. Eine detaillierte Zusammenstellung aller Kennzahlen seit 2000 ist in Beilage 1 und Beilage 2 zu finden.



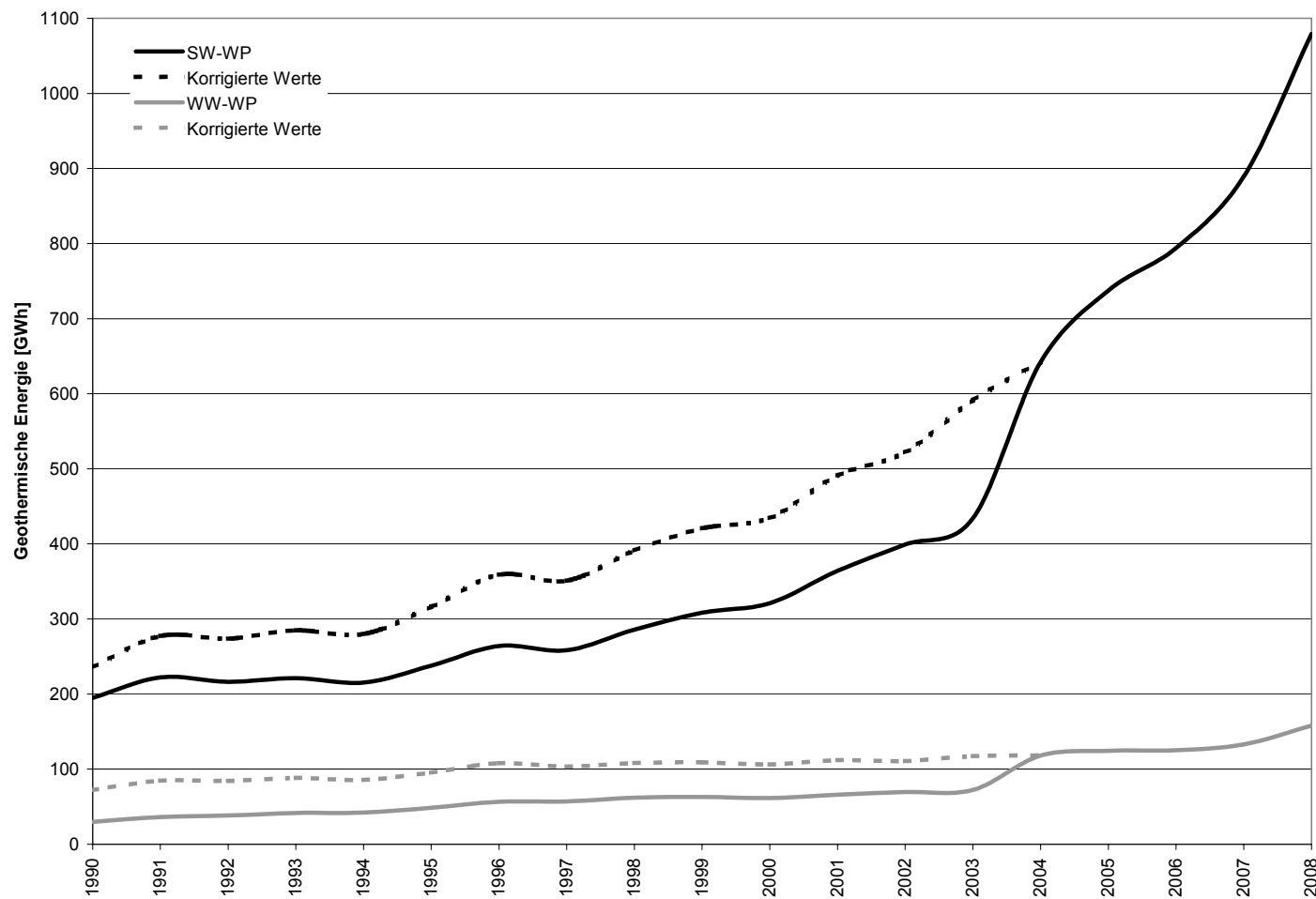
Figur 2: Entwicklung des Wärmepumpenbestandes für die SW-WP- und für die auf geothermischer Nutzung basierenden WW-WP-Anlagen (siehe Text). Die gestrichelten Linien beschreiben die rückwirkend Neuberechneten Werte aufgrund der Umstellung des Berechnungssystems ab 2004 (siehe Kapitel 2). Der Bestand an SW-WP hat sich seit 1990 mehr als versechsfacht, derjenige von geothermisch relevanten WW-WP mehr als verdoppelt.



Figur 3: Entwicklung der installierten Heizleistung für die SW-WP- und für die auf geothermischer Nutzung basierenden WW-WP-Anlagen. Die gestrichelten Linien beschreiben die rückwirkend Neuberechneten Werte aufgrund der Umstellung des Berechnungssystems ab 2004 (siehe Kapitel 2).



Figur 4: Entwicklung der Heizenergie für die SW-WP- und für die auf geothermischer Nutzung basierenden WW-WP-Anlagen. Die Schwankungen in der Heizenergie sind auf die unterschiedlichen Heizgradtage pro Jahr zurückzuführen (siehe Text). Die gestrichelten Linien beschreiben die rückwirkend Neuberechneten Werte aufgrund der Umstellung des Berechnungssystems ab 2004 (siehe Kapitel 2).



Figur 5: Entwicklung der geförderten geothermischen (erneuerbaren) Energie für die SW-WP und für die auf geothermischer Nutzung basierenden WW-WP-Anlagen. Die Schwankungen in der geothermischen Energie sind auf die unterschiedlichen Heizgradtage pro Jahr zurückzuführen (siehe Text). Die gestrichelten Linien beschreiben die rückwirkend Neuberechneten Werte aufgrund der Umstellung des Berechnungssystems ab 2004 (siehe Kapitel 2).

## 3.2 Sole/Wasser Wärmepumpen-Anlagen

### 3.2.1 Vorgehen

Bei SW-WP-Anlagen geht man zu 100% von geothermischer Nutzung aus. Es sind Anlagen, die über "EWS", "Erdwärmekörbe", "Erdregister", "Geostrukturen" und "Tiefe Erdwärmesonden" dem Boden Energie entziehen bzw. über Kühlung Wärme in den Untergrund eintragen.

Seit längerem sind keine grösseren Verlegearbeiten von Erdregistersystemen bekannt. "Erdwärmekörbe" befinden sich erst seit Kurzem auf dem Markt und sind ein Nischenprodukt. Der Beitrag dieser beiden Systeme zur geothermischen Heizenergie wird als marginal betrachtet. Diese Nutzungstypen werden daher bei den "EWS"-Anlagen mitgeführt.

Als erstes werden die Betriebsdaten von "Geostrukturen" und "Tiefe Erdwärmesonden" zusammengestellt. Aus der Differenz zwischen installierter Heizleistung, Heizenergie sowie geothermischen Energie aller SW-WP Anlagen (Kapitel 3.1) und den erfassten Zahlen für "Tiefe EWS" (Kapitel 3.2.2) und "Geostrukturen (Energiepfähle)" (Kapitel 3.2.3) wird der Anteil der "EWS"-Systeme berechnet.

Es gilt:

$$\Rightarrow \text{"EWS (inkl. Erdwärmekörbe und Erdregister)" = Total SW-WP} - \text{"Tiefe Erdwärmesonden"} - \text{"Geostrukturen"}$$

### 3.2.2 Tiefe Erdwärmesonden

Tiefe Erdwärmesonden stellen einen Spezialfall von konventionellen EWS-Systemen dar. Meist handelt es sich hier um fehlgeschlagene Thermalwasserbohrungen, die mit einer Koaxial-Sonde energetisch genutzt werden. Aufgrund der grösseren Tiefe ist die mittlere Entzugsleistung höher als die von konventionellen EWS-Systemen (Kohl et al, 2002).

In der Schweiz gibt es zwei solche Systeme: Weggis und Weissbad. Momentan werden die Betriebsdaten der Anlagen nicht systematisch aufgezeichnet. 2008 wurden bei der Anlage Weissbad Wärme- und Stromzähler installiert. Neu stehen nun die effektiven jährlichen Messwerte zur Verfügung. In den früheren Jahren wurde die Heizenergie und der Stromverbrauch jeweils geschätzt. Die Anlage Weggis wurde bis 2003 durch ein Messprogramm des Bundesamtes für Energie begleitet (Eugster und Füglistler, 2003). An die Anlage wurden in mehreren Etappen neue Wärmeabnehmer angeschlossen. Seit 2001 ist der Ausbau der Anlage abgeschlossen. Für die Jahre nach Beendigung der Messkampagne im Jahr 2003 werden die Betriebsdaten anhand der letzten Messwerte abgeschätzt. Der Besitzer der Anlage hat sich freundlicherweise bereit erklärt, die Daten ab 2009 monatlich von Hand abzulesen. So sollten nächstes Jahr wieder effektive Energiedaten zur Verfügung stehen.

Die Zusammenstellung der Kennzahlen seit 2000 ist in der Beilage 3 zu finden. Seit 2001 und der Beendigung des Ausbaus der Anlage Weggis hat sich die Heizenergie kaum verändert. Leichte Schwankungen sind auf die unterschiedlich strengen Winter zurückzuführen. Aus Tabelle 1 kann die installierte Heizleistung, die Heizenergie und die geförderte geothermische Energie gemäss Betreiberangaben für das Jahr 2008 entnommen werden. Die Heizenergie der beiden Anlagen liegt bei 840 MWh pro Jahr, bei einer geförderten, geothermischen Energie von 590 MWh. Die Anlagen besitzen somit eine mittlere JAZ von 3.3. Die geothermische Energie ist deutlich geringer als in der letztjährigen Statistik geschätzt (Signorelli et al., 2008; 740 MWh). Dies ist darauf zurückzuführen, dass in den früheren Studien bei der Schätzung der Betriebsdaten für die Anlage Weggis von einer höheren JAZ ausgegangen wurde.

	Installierte Heizleistung [MW]	Heizenergie [GWh]	Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]
Weggis (LU) <sup>1)</sup>	0.10	0.54	0.41
Weissbad (AI) <sup>2)</sup>	0.08	0.30	0.18

<sup>1)</sup>pers. Mitteilung: Polydynamics Zürich

<sup>2)</sup>pers. Mitteilung: Hotel Hof Weissbad

#### Total 2008

Installierte Heizleistung [MW]	0.18
Heizenergie [GWh]	0.84
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	0.59
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	71.1%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.3

Tabelle 1: Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch "Tiefe EWS" für 2008 gemäss Betreiberangaben.

### 3.2.3 Geostrukturen (Energiepfahlsysteme)

Da neue Geostrukturanlagen nicht zentral erfasst werden und eine unübersichtliche Anzahl von Firmen in diesem Gebiet tätig ist, ist eine Bestimmung der Heizenergie durch Geostrukturanlagen schwierig. Grundlage zur Ermittlung der geothermischen Energienutzung durch "Gestrukturen" ("Energiepfahlsysteme", "Erdberührte Betonteile") bildet hauptsächlich eine 1998 durchgeführte Erhebung der SVG (Rybach et al., 2000). In den nachfolgenden Jahren wurden Planungsbüros bezüglich neuer grosser Anlagen kontaktiert und die erhaltenen Angaben in die Erhebung einbezogen. Seit 2004 werden für das Update der Statistik für die Erfassung der "Energiepfahl"-Anlagen zwei Marktleader (Rohrhersteller Haka Gerodur und Energiepfahlplaner enercret) nach ausgerüsteten Bohrmetern befragt. Es wird angenommen, dass sie zusammen 60 % des Marktes abdecken. Damit können jedoch nur "Energiepfahlsysteme" erfasst werden. Über die Heizenergie über "Erdberührte Betonteile" können keine Angaben gemacht werden. Der Anteil dieser Systeme an der Gesamtproduktion wird jedoch als vernachlässigbar eingestuft. Die aktuelle Erfassungsart lässt zudem auch keine Aussagen über die Anzahl der Anlagen zu. Aus dem Vergleich der Leistungszahlen mit denen der "Erdwärmesonden" in Kapitel 3.2.4, ist davon auszugehen, dass die Anzahl Anlagen relativ gering ist.

Mit einer durchschnittlichen Leistung ( $48 \text{ W m}^{-1}$ ), einer Normlaufzeit (1800 h) und einem mittleren Wirkungsgrad ( $\text{JAZ} = 3$ ) wird anhand der ausgerüsteten Pfahlmeter der jährliche Zuwachs bei der Heizenergie berechnet und die Daten aufaddiert.

Tabelle 2 fasst die Angaben für 2008 zusammen und in Beilage 4 ist die Entwicklung seit 2000 aufgeführt. Die geschätzte Heizenergie beträgt für 2008 21.5 GWh, bei einer installierten Heizleistung von 10.4 MW. Die geothermischen Energie liegt bei 14.8 GWh.

"Gestrukturenanlagen" werden auch zu Kühlzwecken eingesetzt. Bis ins Jahr 2003 konnten die Anlagen noch einzeln erfasst, dadurch konnte auch die produzierte Kühlenergie erfasst werden. Sie betrug 2003 etwa 2.0 GWh. Durch die neue Erfassung über die geothermisch ausgerüsteten Pfahlmeter kann diese Grösse nicht mehr abgeschätzt werden.

**Total 2008**

Installierte Heizleistung [MW]	10.4
Heizenergie [GWh]	21.5
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	14.8
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	69%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.2

Tabelle 2: Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch "Geostrukturen" für 2008, aktualisiert anhand von ausgerüsteten Pfahlmeter. Die angegebene JAZ ist der Mittelwert für alle betriebenen Anlagen.

**3.2.4 Erdwärmesonden (inkl. Erdregister und Erdwärmekörbe)**

Aus der Differenz der installierten Heizleistung, der Heizenergie und der geothermischen Energie für SW-WP (siehe auch Beilage 1) und den in den Kapiteln 3.2.2 und 3.2.3 erfassten Zahlen für "Tiefe EWS" und "Geostrukturen" werden die Kennwerte für die "EWS"-Systeme (inkl. "Erdwärmekörbe" und "Erdregister") abgeschätzt. Das Vorgehen ist in Kapitel 3.2.1 beschrieben.

Tabelle 3 fasst die installierten Heizleistung, die Heizenergie und die geothermischen Energie für 2008 zusammen. Weiter ist der aus diesen Angaben abgeschätzte geothermische Anteil an der Heizenergie und die JAZ als Mittelwert für alle betriebenen Anlagen aufgeführt. Die Heizenergie betrug 2008 ca. 1493 GWh. Dies entspricht einer Zunahme gegenüber 2007 von 21 % oder rund 264 GWh. Der Anteil der geothermischen Energie an der Energieproduktion liegt bei etwa 71 % und betrug 2008 1064 GWh. Da die Anzahl "Geostruktur"-Anlagen nicht bekannt ist (siehe Kapitel 3.2.3), kann die Anzahl der EWS-Anlagen nur geschätzt werden. Aufgrund der geringen Anzahl von "Geostruktur"-Anlagen und "Tiefen EWS" kann davon ausgegangen werden, dass der überwiegende Teil der SW-WP mit Erdwärmesonden betrieben werden (Anzahl siehe Beilage 1).

**Total 2008**

Anzahl Wärmepumpen	~55'343
Installierte Heizleistung [MW]	861.2
Heizenergie [GWh]	1493.4
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	1063.9
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	71%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.5

Tabelle 3: Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch "EWS" (inkl. "Erdwärmekörbe" und "Erdregister") für 2008. Die angegebene JAZ ist der Mittelwert für alle betriebenen Anlagen.

### **3.3 Wasser/Wasser Wärmepumpen-Anlagen**

#### **3.3.1 Vorgehen**

Die WW-WP lassen sich nicht so einfach in geothermische Nutzungstypen einteilen, wie das bei den SW-WP möglich ist. WW-WP werden nicht nur zur Energiegewinnung aus geothermischen Quellen eingesetzt, sondern beziehen die Energie zum Beispiel auch aus Abwassersystemen, Seen oder Flüssen. Mangels klarer Abgrenzung müssen Annahmen getroffen werden.

Eine 2008 im Auftrag von GEOTHERMIE.CH/SVG durchgeführte Umfrage bei den Kantonen zu geothermischen Grossanlagen zeigt, dass mindestens 80 % der in der Elektrowärmepumpen-Statistik erfassten WW-WP Anlagen aller Leistungskategorien Grundwasseranlagen sind. Bis anhin wurde davon ausgegangen, dass dies nur für die Anlagen mit Leistungen unter <100 kW zutrifft (vergleiche Signorelli et al., 2008). Somit wurde der Beitrag der Kategorie "Oberflächennahes Grundwasser" zur geothermischen Nutzung deutlich unterschätzt. Neu wird angenommen, dass 80 % aller WW-WP Anlagen Grundwasserwärmepumpen sind. Die restlichen 20 % sind Anlagen mit anderen Wärmequellen. Ebenfalls wird die Wärmerückgewinnung komplett nicht-geothermischen Quellen zugeschrieben. Es wird weiter angenommen, dass die Anlagen der Kategorien "Tunnelwasser" und "Tiefe Aquifere" bekannt sind und einzeln erhoben werden können. Zusammengefasst erfolgt die Bestimmung der Kennzahlen für die jeweiligen WW-Anlagentypen nach folgendem Vorgehen, wobei wiederum das Berechnungsschema aus der Elektrowärmepumpen-Statistik (Basics, 2007) verwendet:

- "Oberflächennahes Grundwasser": 80 % WW-WP Anlagen werden den Grundwasserwärmepumpen zugeschrieben.
- "Tunnelwasser": Es gibt 6 Anlagen, die separat erhoben werden. Die Betriebsdaten sind zum Teil nur als Mittelwert für mehrere Jahre vorhanden.
- "Tiefe Aquifere": Es gibt 5 Anlagen, die aktuell in Betrieb sind. Sie werden separat erhoben. Die Betriebsdaten sind teilweise ebenfalls nur als Durchschnitt über mehrere Jahre vorhanden.

#### **3.3.2 Oberflächennahes Grundwasser**

Die Nutzung des "Oberflächennahen Grundwassers" erfolgt mit WW-WP. Wie in Kapitel 2 beschrieben, werden die WW-WP in der Elektrowärmepumpen-Statistik (Basics, 2007) separat ausgewiesen. 80 % der dort ausgewiesenen WW-WP mit Leistungen werden dem Nutzungstyp "Oberflächennahes Grundwasser" zugewiesen (siehe auch Kapitel 3.3.1).

Tabelle 4 listet die Anzahl der WP, die installierten Heizleistungen, die Heizenergie und die geothermische Energie für 2008 auf. Eine detaillierte Zusammenstellung der Kennzahlen zur Kategorie "Oberflächennahes Grundwasser" seit 2000 ist in Beilage 6 zusammengestellt. Die Produktionswerte sind wie in Kapitel 3.1 beschrieben effektive Betriebsdaten, die in Abhängigkeit der Heizgradtage berechnet werden, was zu Schwankungen in der geförderten Wärme von Jahr zu Jahr führen kann (siehe Beilage 1). Die Anzahl Wärmepumpen liegt bei rund 4'200 Stück. Die Heizleistung stieg gegenüber 2007 um 14 % auf ca. 140 kW. Die Heizenergie beträgt 210 GWh. Dabei liegt der Anteil der geothermischen Energie bei knapp 70 % und beträgt 146 GWh.

**Total 2008**

Anzahl Wärmepumpen	4'181
Installierte Heizleistung [MW]	143.0
Heizenergie [GWh]	209.8
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	145.8
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	70%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.3

Tabelle 4: Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch oberflächennahe Grundwasseranlagen für 2008. Die Heizenergie wird basierend auf den Heizgradtagen pro Jahr berechnet. Dies kann zu Schwankungen von Jahr zu Jahr führen. Die angegebene JAZ ist der Mittelwert für alle betriebenen Anlagen.

**3.3.3 Tunnelwasser**

"Tunnelwasser"-Nutzung bezeichnet die energetische Nutzung von Bergwasser, welches aus einem Tunnel fliesst. In der Schweiz wird Wasser aus 6 Tunneln genutzt (siehe Tabelle 5). Aufgrund der relativ niedrigen Ausflusstemperaturen (<20 °C) kann diese geothermische Quelle nur über eine WP genutzt werden.

Die in Tabelle 5 zusammengestellten Betriebsdaten basieren hauptsächlich auf einer von GEOTHERMIE.CH/SVG beauftragten Studie zum Potenzial von Tunnelwasser-Nutzung in der Schweiz (Février und Rybach, 2007). Allgemein wurde dabei festgestellt, dass oft die Energiezähler fehlen. Basierend auf den verfügbaren Daten wurden deshalb "wahrscheinliche Energiebilanzen" aufgestellt. Dabei handelt es sich jeweils um die mittleren Energiewerte seit Inbetriebnahme der Anlagen. Bei den meisten Anlagen wird keine oder keine nennenswerte elektrische Antriebsenergie für eine Umwälzpumpe benötigt, da das vorhandene Gefälle im Tunnel genutzt wird.

Für die vorliegende Statistik wurden die Betreiber der Anlagen kontaktiert und dadurch die Produktionsdaten, wo möglich, für 2008 aktualisiert. Die Heizenergie liegt bei rund 4.3 GWh, bei einem Anteil an geothermischer Energie von rund 2.9 GWh. Die Produktionsdaten seit 2000 sind in Beilage 7 zusammengestellt. Die Angaben zeigen, dass seit der Inbetriebnahme der Anlagen bei den Tunneln Mappa Morettina und Grand-St-Bernard die Produktion etwa gleich geblieben ist. Für den Herbst 2009 ist die Inbetriebnahme des Nahwärmeverbundes "Tropenhaus Frutigen" beim Lötschberg-Basistunnel geplant, was zu einer Steigerung der Produktion führen wird. Die Angaben zu totaler Schüttung und genutzter Schüttung in Tabelle 5 zeigen, dass durch die bestehenden Anlagen noch lange nicht das ganze vorhandene geothermische Potenzial genutzt wird.

Zwei Tunnelwasser-Anlagen werden auch zur Kühlung genutzt. So wird beim Gotthardstrassentunnel im Sommer zur Rückkühlung der Gebäude eine Energie von 1440 MWh umgesetzt. Beim Tunnel Mappo Morettina werden im Kühlbetrieb dem Gebäude 200 MWh pro Jahr durch Tunnelwasser entzogen.

	Schüttung [l/min]	Fördertempe- ratur [°C]	Installierte Heizleistung [MW]	Heizenergie [GWh]	Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]
Furka Eisenbahnunnel Oberwald (VS)	5400	16	0.99	1.70	1.25
Gotthard Strassentunnel Airolo (TI)	6670 (genutzt 2000 – 2400)	12 - 17	0.72	0.86	0.65
Ricken Bahntunnel Kaltbrunn (SG)	690	12.3	0.16	0.25	0.17
Hauenstein Basis-Bahntunnel Trimbach (SO)	2500 (genutzt 1250)	19	0.41	1.20	0.66
Grand-St-Bernard Strassentunnel Bourg St Pierre (VS) <sup>*)</sup>		8	0.04	0.18	0.13
Mappo Morettina, Strassentunnel Minusio/Tenero (TI)	250	16 - 18	0.07	0.12	0.07
<b>Total</b>			<b>2.39</b>	<b>4.31</b>	<b>2.93</b>

<sup>\*)</sup> Nutzung der warmen Tunnelluft (Luft-Wasser WP)

Tabelle 5: Kennzahlen der geothermischen "Tunnelwasser"-Nutzung für 2008 (basierend auf Février und Rybach, 2007; aktualisiert gemäss Betreiberangaben).

### 3.3.4 Tiefer Aquifer – Nutzung über Wärmepumpen

In diesem Kapitel wird die geothermische Nutzung der "Tiefen Aquifere" über WP zusammengestellt. Wegen der hohen Temperatur bei der Grundwasserförderung aus tief liegenden Aquifere wäre die direkte Nutzung oftmals möglich. In der Schweiz wird die geförderte Energie in den meisten Fällen jedoch über eine WP zusätzlich aufgewertet. Bei der Anlage Riehen findet zum Beispiel neben einer WP-Nutzung auch eine Direktnutzung der geothermischen Energie statt (Siehe Kapitel 3.4.1).

Tabelle 6 führt die Betriebsdaten gemäss Betreiberangaben auf. Aktuell sind 5 Anlagen in Betrieb. Eine detaillierte Liste ist in Beilage 8 zu finden. Die Produktion aus "Tiefen Aquifere" hat in den letzten Jahren nur leicht variiert. Jährliche Schwankungen sind neben unterschiedlich strengen Wintern auf technische Probleme bei verschiedenen Anlagen zurückzuführen. 2008 wurde mit "Tiefen Aquifer"-Systemen eine Heizenergie von 13.4 GWh produziert. Der geothermische Anteil liegt dabei bei 9.3 GWh.

	Installierte Heizleistung [MW]	Heizenergie [GWh]	Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]
Bassersdorf	0.24	0.47	0.24
Kloten	0.30	0.85	0.52
Kreuzlingen	0.08	0.16	0.12
Riehen	3.00	9.30	6.62
Seon	1.35	2.59	1.81

**Total 2008**

Installierte Heizleistung [MW]	4.97
Heizenergie [GWh]	13.37
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	9.31
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	70%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.3

Tabelle 6: Kennzahlen der geothermischen Nutzung aus "Tiefen Aquiferen" für 2008, gemäss Betreiberangaben.

**3.4 Direktnutzung (Nicht-Wärmepumpennutzung)****3.4.1 Tiefer Aquifer – Direktnutzung**

Bei genügend hoher Fördertemperatur ist eine geothermische Direktnutzung möglich. Die Anlage in Riehen fördert aus dem Muschelkalk Wasser mit einer Temperaturen von ca. 62 °C. Dies erlaubt eine Direktnutzung ohne WP. 2008 betrug die direkt genutzte Heizenergie 2.1 GWh (siehe Beilage 9).

**3.4.2 Thermalbäder**

Die Energienutzung von Thermalbädern wird nach folgender Formel abgeschätzt:

$$E = Q \cdot \Delta T \cdot \rho_{CP} \cdot t_{\text{JAHR}} \cdot f$$

mit E= Heizenergie [Wh], Q= Schüttungsrate [ $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ],  $\Delta T$ = Temperaturdifferenz vor und nach der Nutzung (Temperatur Quelle minus Vorfluter) [K],  $\rho_{CP}$ = Wärmekapazität von Wasser [i.d.R.  $4.2 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{K}^{-1}$ ], t= Zeit [1 Jahr= 8760 h], f= Betriebsfaktor [i.d.R. 95 %]. Für die Berechnung werden die Betriebspausen auf 5 % geschätzt.

In dieser Studie wurde die 10-Jahre alte Erhebung zur Thermalwassernutzung in der Schweiz (Rybach et al., 2000) überarbeitet. Sämtliche Thermalbäder wurden kontaktiert und um Angaben zur Schüttung pro Jahr und zur Fördertemperatur gebeten. Mehrheitlich konnten die Thermalbäder die gewünschten Daten liefern. Ansonsten wurde auf die frühere Studie zurückgegriffen. Zum Teil sind nur die Badewassertemperaturen vorhanden, die aber nicht zwingend den Quellentemperaturen entsprechen. Bei zu geringer Thermentemperatur erfolgt eine zusätzliche Aufheizung des Badewassers. Bei zu hoher Temperatur wird mit zusätzlichem kaltem Wasser auf die Badetemperatur herunter gekühlt. Häufig wird zudem das "abgebädete" Thermalwasser einer weiteren

energetischen Nutzung zugeführt (z.B.: über Wärmepumpen). Für die Bestimmung der geothermischen Heizenergie wird in dieser Statistik angenommen, dass man die Quelltemperatur soweit abkühlt, bis das Wasser in einen oberflächennahen Vorfluter geleitet werden kann. Dazu wird jeweils die Temperaturdifferenz zwischen Therme und Vorfluter (= 10 °C) verwendet.

In der Kategorie "Thermalbäder" wird nur die Heizenergie der Therme betrachtet. Mögliche weitere energetische Nutzung durch WP-Systemen sind bereits durch die Berechnungen in Kapitel 1.1 und 3.3 berücksichtigt. Verglichen mit der alten Erhebung ergab sich eine um 10 GWh leicht tiefere Heizenergie (vergleiche Signorelli et al., 2008). Tabelle 7 fasst die Heizenergie durch Thermalbäder zusammen. Die Zusammenstellung der Schüttungen und der Referenzen ist in Beilage 10 zu finden.

Im Herbst 2008 wurde eine neue Erschliessungsbohrung beim Thermalbad Vals in Betrieb genommen. Dadurch konnte die Förderrate verdoppelt werden. Dies sollte sich 2009 in einer Erhöhung der Produktion niederschlagen. Weiter sind Erweiterungen in Brigerbad und Lavey-les-Bains geplant.

<b>Thermalbad</b>	<b>Leistung [MW]*)</b>	<b>Heizenergie [GWh]*)</b>
Andeer (GR)	0.04	0.4
Baden (AG)	1.62	13.4
Bad Ragaz (SG)	3.97	33
Bad Schinznach S2 (AG)	0.02	0.2
Bad Schinznach S3 (AG)	1.01	8.4
Brigerbad (VS)	3.81	31.7
Lavey-les-Bains (VD)	7.06	58.7
Leukerbad (VS)	7.18	59.7
Lostorf (SO)	Betrieb 2005 vorübergehend eingestellt, Neueröffnung für 2010 geplant	
Ovronnaz (VS)	0.18	1.5
Saillon (VS)	2.51	20.9
Stabio (TI)	0.01	0.1
Val d'Illicz (VS)	1.49	12.4
Vals (GR)	0.28	2.3
Yverdon-les-Bains (VD)	4.79	39.8
Zurzach (AG)	0.95	7.9
<b>Total</b>	<b>34.9</b>	<b>290.4</b>

\*Bei Abkühlung auf 10 °C

Tabelle 7: Kennzahlen der geothermischen Nutzung der Kategorie "Thermalbäder" für 2008.

### 3.5 Geothermisches Kühlen

Dank seiner geeigneten physikalischen Eigenschaften kann der Untergrund (Gesteine und Wasser) als saisonaler Wärme-/Kältespeicher dienen. Je nach Verbrauchsprofil kann der Geothermiespeicher so gebaut werden, dass der gesamte Kühlbedarf direkt über den Untergrund abgedeckt wird. Damit lassen sich Kühlungssysteme mit sehr hohen COPs realisieren. Diese Art des Kühlens wird als "Geocooling" bezeichnet. Wenn der Kühlbedarf sehr gross ist oder eine tiefe Kühltemperatur notwendig ist (z.B.: Entfeuchtung), muss im Sommer eine WP zum Kühlen eingesetzt werden ("Forced Cooling").

Im Bereich Geothermie gibt es in der Schweiz hauptsächlich zwei Anlagentypen, die man für Kühlzwecke verwendet: "EWS"-Felder und "Geostrukturen". Kühlleistungen und Kühlenergie können bis jetzt nicht erfasst werden. Diese Anwendung liefert jedoch von Jahr zu Jahr einen grösseren Beitrag zur geothermischen Energieproduktion. Es wird empfohlen, dass sie zukünftig separat ausgewiesen wird. Die Kühlenergie, welche mittels "Forced Cooling" über WP erfolgt, könnte über die Kennzahlen der WP-Lieferanten abgeschätzt werden. Der Beitrag des "Geocooling" zur Kühlenergieproduktion wird schwieriger abzuschätzen sein.

Beim Bundesamt für Energie wird abgeklärt, ob und wie die produzierte Kühlenergie erfasst und in die verschiedenen Statistiken integriert werden kann. Bis anhin stehen keine befriedigenden Datengrundlagen zur Verfügung. Die Auswirkung der Elektrowärmepumpen zu Kühlzwecken auf die Elektrowärmepumpen-Statistik soll nach Möglichkeit im Verlaufe des Jahres 2009 geprüft und dargestellt werden.

## 4 Überblick Geothermie Nutzung in der Schweiz

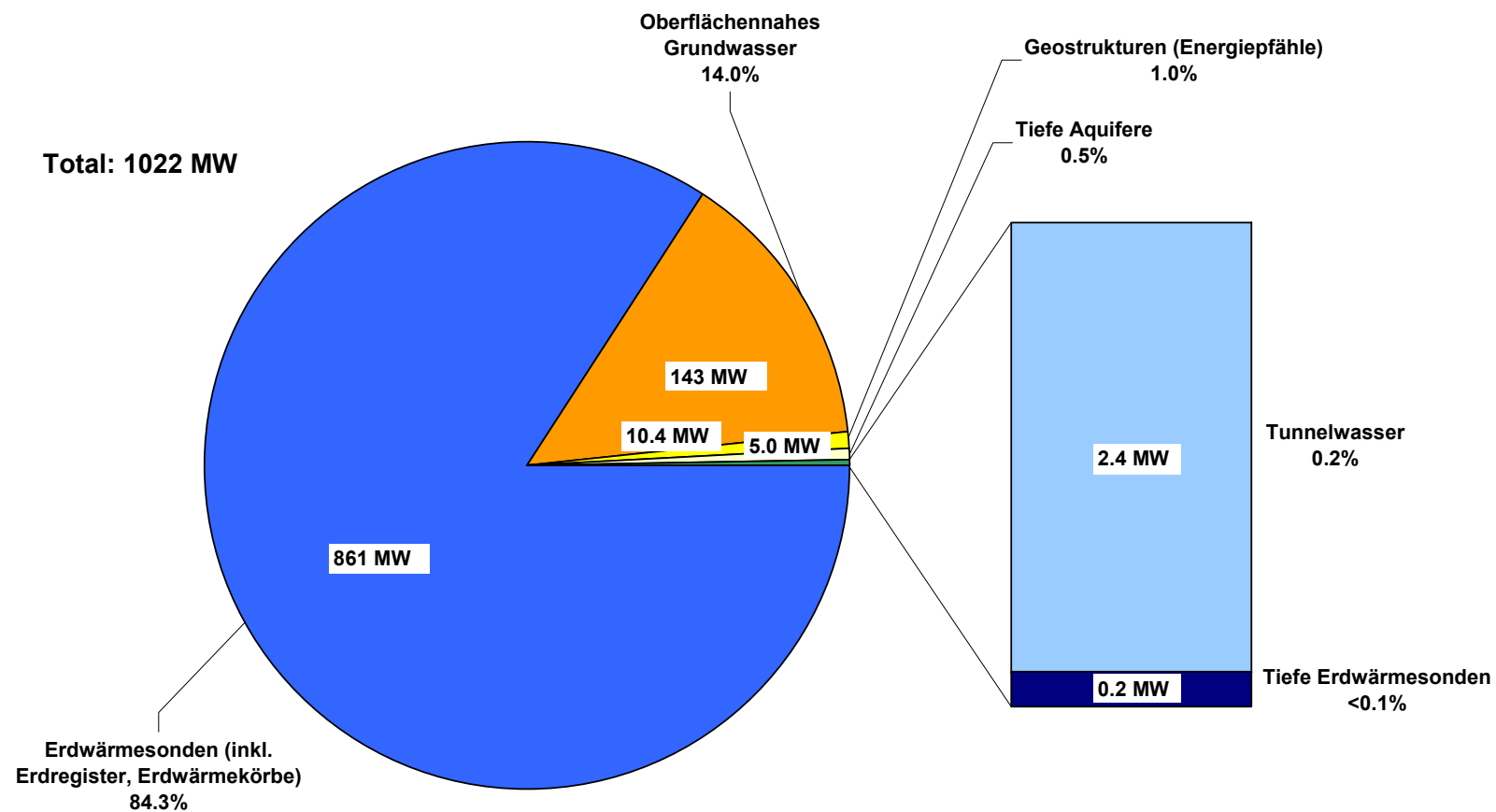
Dieses Kapitel gibt den Überblick über die installierten Heizleistungen von WP-Systemen sowie die Heizenergie und geothermische Energie aller geothermischen Systeme. Tabelle 8 fasst die installierte Heizleistung für die WP-Systeme zusammen. Figur 6 stellt die installierte Heizleistung und die prozentuale Verteilung für das Jahr 2008 dar. Von 2000 bis 2008 konnte die installierte Heizleistung mehr als verdoppelt werden. Sie beträgt neu 1'022 MW. Dieser Anstieg geht fast ausschliesslich auf den Zuwachs bei den EWS-Anlagen zurück. In den letzten 3 Jahren konnte auch bei den "Oberflächennahen Grundwasser"-Systemen ein deutlicher Anstieg der Leistung verzeichnet werden. Hingegen scheint die Nutzung der anderen Systeme zu stagnieren.

Wie Tabelle 9 zeigt, betrug die Heizenergie 2008 rund 2'036 GWh. Die gesamte Produktion konnte sich seit 2000 ebenfalls fast verdoppeln und wurde um 940 GWh gesteigert. Dies sind fast 50 %. Der mit Abstand grösste Anteil von 1493 GWh entfällt dabei auf EWS-Anlagen. Gefolgt werden die EWS-Anlagen von der "Thermalbad-" und "Oberflächennahen Grundwasser"-Nutzung mit 290 bez. 210 GWh Heizenergie. Die Produktion der anderen Kategorien liegt jeweils zwischen 22 GWh und 1 GWh. Figur 7 stellt die gesamte Heizenergie der unterschiedlichen geothermischen Nutzungen für 2008 graphisch dar. Analoges ist für die geförderte geothermische und somit die erneuerbare Energie in Tabelle 10 und Figur 8 zusammengestellt.

Die Entwicklung der Heizenergie seit 1990 ist in Figur 9 dargestellt, die der geförderten geothermischen Energie in Figur 10. Für die Übersichtlichkeit werden die Kategorien "Tiefe EWS", "Geostrukturen", "Tiefe Aquifere" und "Tunnelwasser" zur Kategorie "Restliche geothermische Systeme" zusammengefasst. Es zeigt sich eine deutliche Steigerung der Heizenergie aus geothermischen Quellen seit Mitte der 90er Jahre, die seit 2008 über 2'000 GWh liegt.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	%-Anteil 2008
Erdwärmesonden (inkl. Erdregister, Erdwärmekörbe)	360.8	392.9	424.3	457.2	502.8	560.1	649.7	749.5	861.2	84.3 %
Oberflächennahes Grundwasser	100.5	101.7	102.1	102.8	103.5	105.1	114.4	123.5	143	14.0 %
Geostrukturen (Ener- giepfähle)	3.7	4.4	5.7	6.2	7.0	7.9	8.6	8.9	10.4	1.0 %
Tiefe Aquifer	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	0.5 %
Tunnelwasser	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	0.2 %
Tiefe Erdwärmeson- den	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	<0.1 %
<b>Total</b>	<b>472.5</b>	<b>506.5</b>	<b>539.7</b>	<b>573.7</b>	<b>620.8</b>	<b>680.7</b>	<b>780.3</b>	<b>889.4</b>	<b>1022.1</b>	

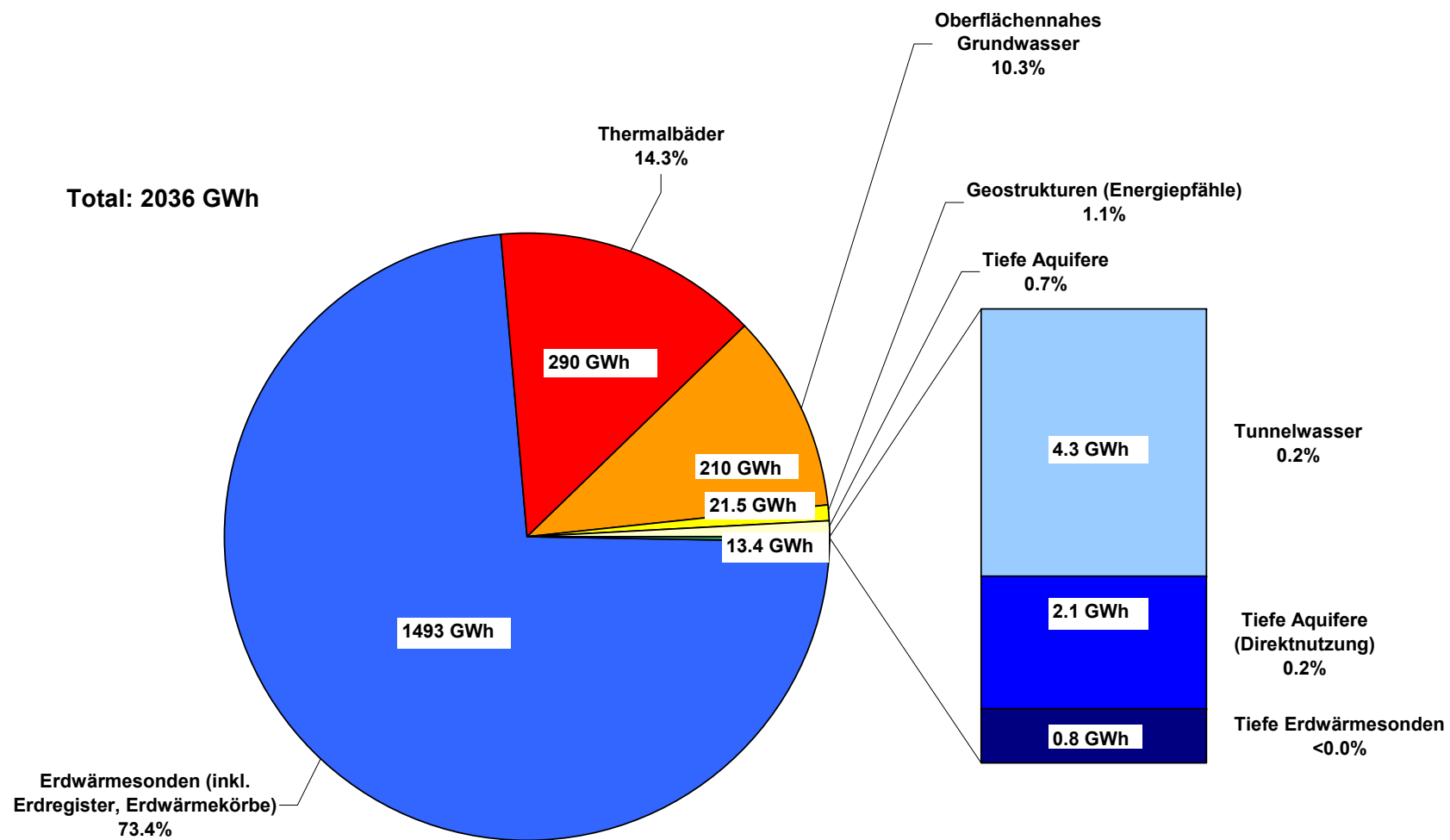
Tabelle 8: Total installierte Heizleistung [MW], aufgeschlüsselt nach WP-Systemen für die Jahre 2000 bis 2008.



Figur 6: Diagramm mit Anteilen der installierten Heizleistung aufgeschlüsselt für WP-Systeme im Jahr 2008.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	%- Anteil 2008
Erdwärmesonden (inkl. Erdregister, Erdwärmekörbe)	617.6	696.0	731.7	829.6	897.5	1030.8	1102.0	1229.8	1493.4	73.4%
Thermalbäder	306.3	297.9	297.9	297.9	297.9	289.7	289.7	289.7	290.4	14.3%
Oberflächennahe Grundwassernutzung	139	150.8	143.4	154.9	154.2	162.9	162.6	175.8	209.8	10.3%
Geostrukturen (Ener- giepfähle)	7.3	8.8	12.6	13.1	14.5	16.3	17.8	18.4	21.5	1.1%
Tiefe Aquifere	15.1	11.7	15.8	13.6	15.1	15.3	14.6	11.5	13.4	0.7%
Tiefe Aquifere (Di- rektnutzung)	3.4	1.3	4.8	3.1	3.3	3.4	3.0	2.7	2.1	0.1%
Tunnelwasser	3.5	3.3	4.0	4.2	4.0	4.2	4.6	4.4	4.3	0.2%
Tiefe Erdwärmeson- den	0.7	0.7	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	<0.1%
<b>Total</b>	<b>1093.0</b>	<b>1170.6</b>	<b>1211.2</b>	<b>1317.4</b>	<b>1387.4</b>	<b>1523.5</b>	<b>1595.2</b>	<b>1733.2</b>	<b>2035.8</b>	

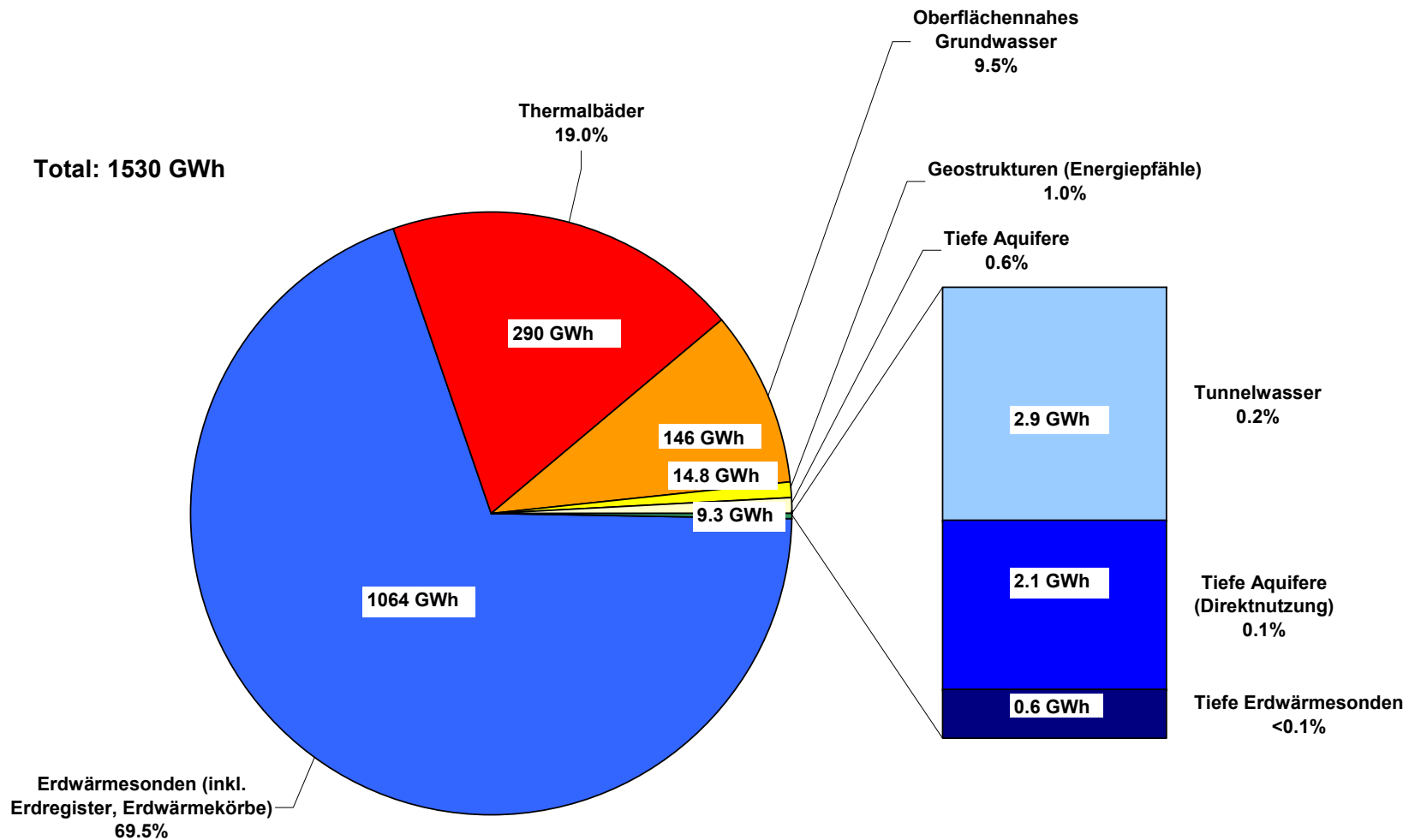
Tabelle 9: Heizenergie [GWh], aufgeschlüsselt nach geothermischen Systemen für die Jahre 2000 bis 2008. Die Werte repräsentieren effektive Betriebsdaten, abhängig von den Heizgradtagen in einem Jahr. Deshalb sind Schwankungen von Jahr zu Jahr möglich. Der Rückgang bei der Produktion der Thermalbäder ist auf die Einstellung des Betriebes in Saillon und auf die vorübergehende Schliessung des Thermalbades Lostorf zurückzuführen.



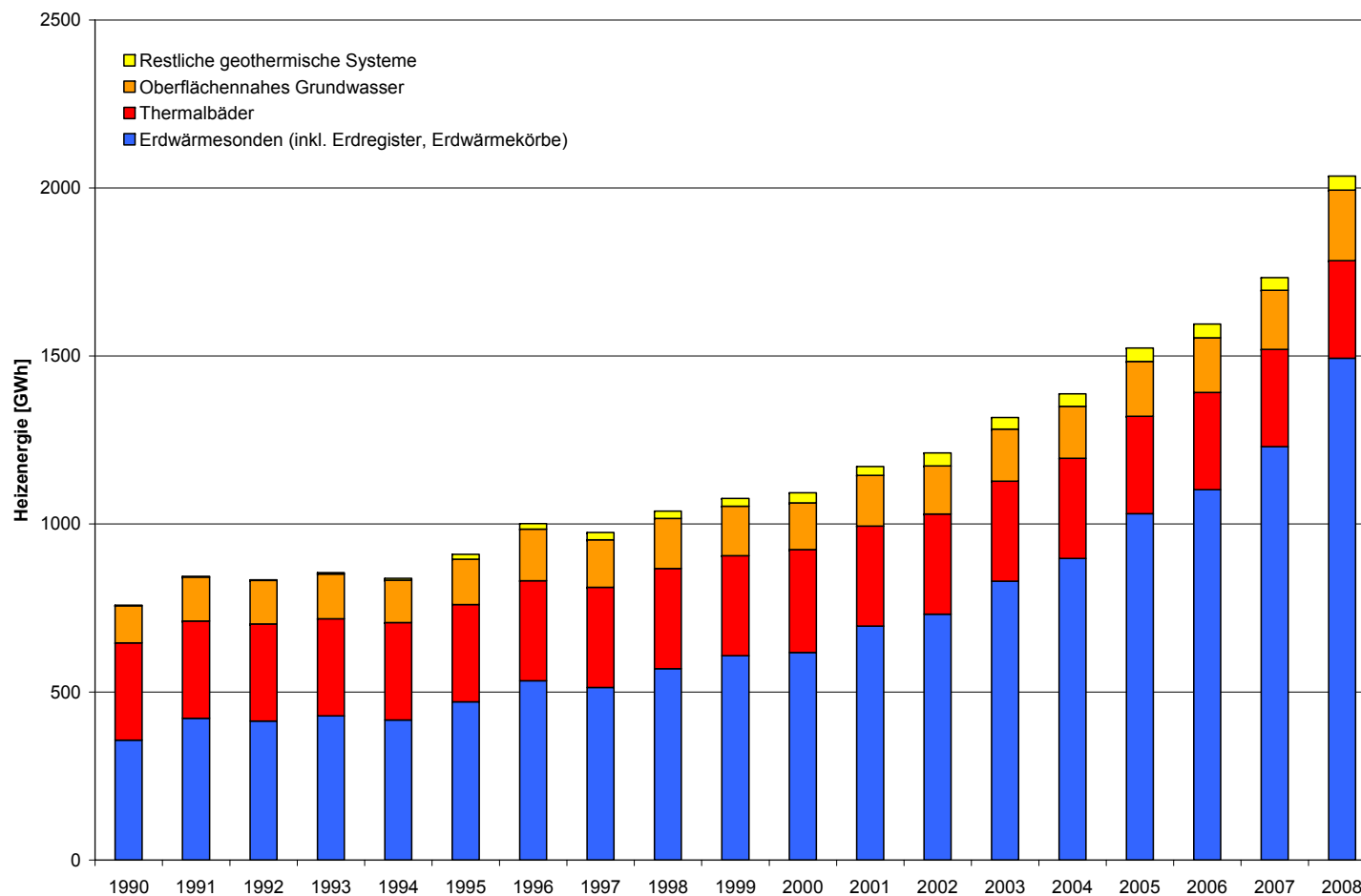
Figur 7: Diagramm mit Anteilen der Heizenergie aller geothermischen Systeme im Jahr 2008.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	%-Anteil 2008
Erdwärmesonden (inkl. Erdregister, Erdwärmekörbe)	428.7	484.5	512.4	581.3	631.2	725.5	781.0	876.0	1063.9	69.5%
Thermalbäder	321.1	312.7	312.7	312.7	312.7	304.6	304.6	304.6	290.4	19.0%
Oberflächennahes Grundwasser	93.4	101.8	97.5	105.4	104.9	110.9	111.7	121.9	145.8	9.5%
Geostrukturen (Energiepfähle)	5.1	6.1	8.8	9.2	10.1	11.3	12.3	12.7	14.8	1.0%
Tiefe Aquifere	10.4	7.8	10.5	9.0	10.6	10.7	10.3	8.0	9.3	0.6%
Tiefe Aquifere (Di- rektnutzung)	3.4	1.3	4.8	3.1	3.3	3.4	3.0	2.7	2.1	0.1%
Tunnelwasser	2.5	2.3	2.8	2.9	2.8	2.9	3.1	3.1	2.9	0.2%
Tiefe Erdwärme- sonden	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	<0.1%
<b>Total</b>	<b>850.3</b>	<b>902.3</b>	<b>935.5</b>	<b>1009.6</b>	<b>1061.4.2</b>	<b>1155.1</b>	<b>1211.9</b>	<b>1314.8</b>	<b>1529.8</b>	

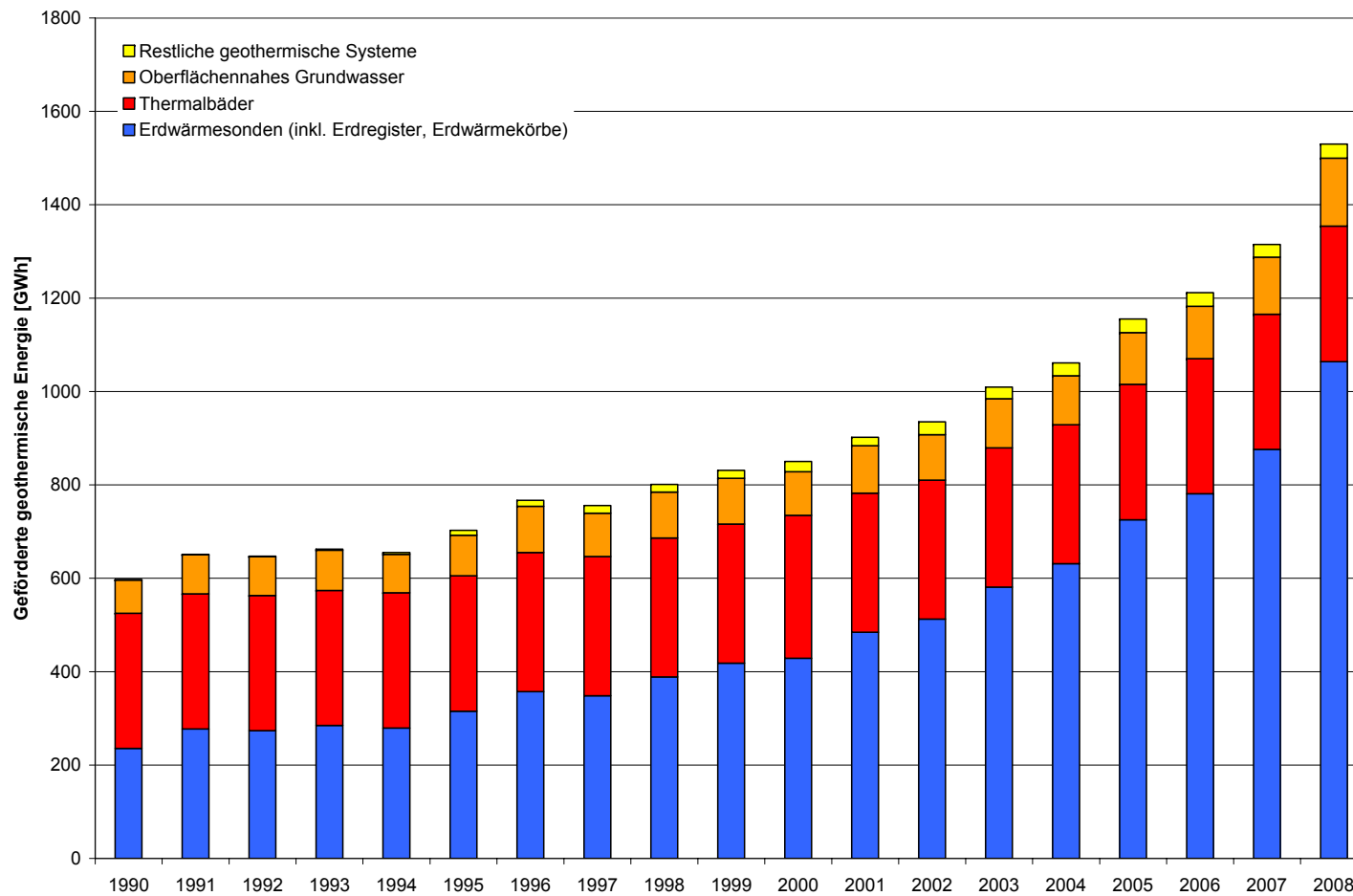
Tabelle 10: Geförderte geothermische (erneuerbare) Energie [GWh], aufgeschlüsselt nach geothermischen Systemen für die Jahre 2000 bis 2008. Die Werte repräsentieren effektive Betriebsdaten, abhängig von den Heizgradtagen in einem Jahr. Deshalb sind Schwankungen von Jahr zu Jahr möglich. Bei Nicht-WP-Systemen entspricht die geothermische Energie der Heizenergie. Der Rückgang bei der Produktion der Thermalbäder ist auf die Einstellung des Betriebes in Saillon und auf die vorübergehende Schliessung des Thermalbades Lostorf zurückzuführen.



Figur 8: Diagramm mit Anteilen der geförderten geothermischen (erneuerbaren) Energie aller geothermischen Systeme im Jahr 2008.



Figur 9: Heizenergie (Wärmeproduktion) aller geothermischen Systeme seit 1990, basierend auf den Daten der Elektro-Wärmepumpen-Statistik und auf Angaben von Anlagebetreibern. Die Werte repräsentieren effektive Betriebsdaten, abhängig von den Heizgradtagen in einem Jahr. Deshalb sind Schwankungen von Jahr zu Jahr möglich.



Figur 10: Geothermische (erneuerbare) Energie (vor der WP) aller geothermischen Systeme seit 1990, basierend auf den Daten der Elektro-Wärmepumpen-Statistik und auf Angaben von Anlagebetreibern.

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorliegende Statistik der geothermischen Nutzung in der Schweiz wurde im Auftrag von GEOTHERMIE.CH/SVG erarbeitet. Sie basiert hauptsächlich auf dem Berechnungsschema für die Elektro-Wärmepumpenstatistik (Basics, 2007) und auf Anlagebetriebsdaten, die von den Betreibern zur Verfügung gestellt wurden. In der Elektro-Wärmepumpenstatistik werden die von der FWS erhobenen Verkaufszahlen für WP verwendet, um die installierte Heizleistung, die Heizenergie und die geothermische (erneuerbare) Energie zu berechnen. Die Geothermie-Statistik ist ihrerseits Bestandteil der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien, die im Auftrag des Bundesamtes für Energie jährlich erstellt wird.

In der vorliegenden Studie wurden die Kennzahlen der geothermischen Nutzung in der Schweiz für 2008 erarbeitet. Die Erfassung der Kennzahlen der geothermischen Produktion erfolgt analog zur letztjährigen Statistik.

Da neue "Geostruktur-Anlagen", wie Energiepfahl-Systeme, an keiner Stelle zentral erfasst werden, ist eine Dokumentation grundsätzlich schwierig. Es werden deshalb verschiedene Firmen nach ausgerüsteten Bohrmetern befragt werden und der jährliche Zuwachs anhand einer Annahme über deren geschätzten Marktanteil bestimmt.

Die Betriebsdaten von "Tiefen Erdwärmesonden" und Anlagen zur Nutzung von "Tiefen Aquiferen" werden von den Anlagebetreibern zur Verfügung gestellt. Nicht alle Anlagen sind gut dokumentiert. Zum Teil sind nur Daten für ein Betriebsjahr vorhanden. In diesen Fällen wird angenommen, dass die Angaben für jedes Betriebsjahr identisch sind.

Die Angaben zur "Tunnelwasser"-Nutzung basieren auf einer Studie von Février und Rybach (2007). Die darin ausgewiesenen Kennzahlen werden jährlich durch persönliche Kontakte zu den Anlagebetreibern aktualisiert. Es zeigte sich eine ähnliche Situation wie bei den anderen Anlagentypen. Oft sind die Anlagen nicht mit Zählern ausgerüstet und die Produktion der Anlage kann nur geschätzt werden.

Die Angaben betreffend der "Thermalbad"-Nutzung beruhen bis anhin auf einer 1999 durchgeführten Umfrage. Diese Erhebung wurde 2009 überarbeitet. Die einzelnen Thermalbäder wurden kontaktiert und die bereits vorhandenen Angaben überprüft. Es ergab sich ein erfreulicher Rücklauf an Daten. Es konnte zudem ein Kontaktnetz aufgebaut werden, wodurch es nun leichter sein sollte, jährlich die aktuellen Produktionsdaten zu erhalten. Die neue Erschliessungsbohrung beim Thermalbad Vals wird 2009 zu einer Erhöhung der Produktion führen.

Aufgrund einer grossen Anzahl an EWS- (inkl. "Erdregister", "Energiekörbe") und Grundwasser-WP-Anlagen können diese Kategorien nicht direkt erfasst werden. Die Kennzahlen der "EWS"-Nutzung werden deshalb aus der Differenz zwischen den aus der WP-Verkaufsstatistik hergeleiteten Produktivitätszahlen für SW-WP und den bekannten Angaben für die anderen SW-WP-Anwendungen "Tiefe Erdwärmesonden" und "Geostrukturen" (Kapitel 3.2.2 und 3.2.3) geschätzt. Für die Abschätzung der Nutzung aus "Oberflächennahem Grundwasser" mussten ebenfalls Annahmen getroffen werden (80 % der WW-WP-Nutzung; siehe Kapitel 3.3.2).

Das Kühlen von Gebäuden stellt eine immer bedeutendere Nutzung des Untergrundes dar und zeigt eine vielversprechende Entwicklung. Eine Einzelerfassung dieser Anlagen ist aufgrund der steigenden Anzahl und der vielen Planungsbüros nicht möglich. Das Bundesamt für Energie prüft, ob und wie die produzierte Kühlenergie erhoben werden kann.

2008 konnte wieder ein Anstieg der Heizenergie auf nun 2'036 GWh verzeichnet werden, wobei der Anteil der geothermische und somit erneuerbaren Energie bei etwa 1530 GWh liegt. Bezüg-

lich 2007 konnte die Heizenergie um fast 18% gesteigert werden. Dieser Zuwachs ist fast nur auf den Anstieg bei den "EWS"-Systemen zurückzuführen. Der Anteil dieser Systeme an der gesamten Heizenergie beträgt 73 %.

Die weitere geothermische WP-Nutzung teilt sich auf in "Oberflächennahes Grundwasser", "Tiefe EWS", "Geostrukturen" und "Tunnelwasser". Nicht WP-abhängige Geothermie-Nutzungen sind mehrheitlich "Thermalbad"-Anwendungen. Ihr Beitrag ist seit Jahren mehr oder weniger konstant (etwa 290 GWh). Daneben erfolgt auch ein Anteil der "Tiefen Aquifer"-Nutzung durch die Anlage Riehen direkt ohne Wärmepumpe (2.1 GWh).

2008 betrug der Stromverbrauch aller geothermischer WP ca. 506 GWh. Im gleichen Zeitraum lag der totale Stromverbrauch der Schweiz gemäss Bundesamt für Energie bei 58'700'000 GWh. Der Anteil der geothermischen Wärmepumpen am gesamten Stromverbrauch ist marginal.

Im internationalen Vergleich steht die Geothermienutzung in der Schweiz gut da. 2007 lag die Schweiz betreffend geothermischer Heizenergie pro 1000 km<sup>2</sup> hinter Island auf dem 2. Platz weltweit (Fridleifsson et al., 2008).

Die positive Bilanz der geothermischen Energienutzung ist auf unterschiedliche Faktoren zurückzuführen, wie hohes Umweltbewusstsein, lokal verbreitetes Wissen über die Systeme sowie hohe Motivation und Innovationsfreudigkeit von Bauherren, Unternehmen und Interessenverbänden. Zudem gibt es ein Förderprogramm für den Ersatz von Elektro-Speicherheizungen ([www.bfe.admin.ch/energie/](http://www.bfe.admin.ch/energie/)). Die Nutzung der geothermischen Ressourcen führt einerseits zur Einsparung beim CO<sub>2</sub>-Ausstosses, andererseits wird hier eine heimische Ressource verwendet. Im Jahr 2008 betrug die Einsparung an fossilem Brennstoffe durch die geothermische Nutzung ~150'000 Tonnen Heizöl, was einer Einsparung beim CO<sub>2</sub>-Ausstoss von ~485'000 Tonnen entspricht.

## 6 Literaturverzeichnis

- Basics, 2007, Erweiterung der schweizerischen Elektrowärmepumpenstatistik. Dokumentation der Arbeiten, Bundesamt für Energie.
- Bianchetti G., 2003, Exploitation du forage géothermique JAFE de Saillon, rapport intermédiaire, OFEN.
- Eugster, W.J., Füglistner, H., 2003, Tiefe Erdwärmesonde Weggis. Messkampagne zur Dokumentierung der neuen Einflüsse beim Ausbau der Abnehmerleistung. Schlussbericht, Bundesamt für Energie.
- Février, S., Rybach, L., 2007. Aktualisierung des Potenzial Tunnelgeothermie. Schlussbericht zuhanden GEO-THERMIE.CH/SVG. Nr. 202 980 001.
- Flury S., 2002, Bad Schinznach: Wärmegewinnung aus Thermalwasser S3, SYTEG AG, Schlussbericht, Bundesamt für Energie.
- Fridleifsson, I.B., Bertani, R., Huenges, E., Lund, J., Rangnarsson, A., Rybach, L., 2008. The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. Proceedings IPCC Climatic Sco-ping Meeting Lübeck (in press).
- Graf O. & Bianchetti G., 2002, Exploitation des forages géothermiques de Lavey-les-Bains (VD) en 2001 et bilan énergétique, Geothermie.CH 33/2002.
- Rybach, L., Signorelli, S., Salton, M., 2000, Geothermie-Statistik Schweiz 1990-1999, ausgearbeitet durch Forschungsgruppe Geothermie und Radiometrie – ETH Institut für Geophysik, 8093 Zürich, Bundesamt für Energie, Projekt Nr. 24843, Bern.
- Kaufmann, U, 2007, Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Ausgabe 2006. Bundesamt für Energie, 23. Oktober 2007.
- Kohl, T., R. Brenni, W.J. Eugster, 2002, System performance of a deep borehole heat exchanger,

- Geothermics, 31, 687–708.
- Kohl, T., Andenmatten, N., Rybach L., 2003, Statistik geothermische Nutzung der Schweiz für die Jahre 2000 und 2001. Schlussbericht, Bundesamt für Energie.
- Signorelli, S., Andenmatten Berthoud, N., Kohl, T., L. Rybach, 2004. Statistik geothermische Nutzung der Schweiz für die Jahre 2002 und 2003. Schlussbericht, Bundesamt für Energie.
- Signorelli, S., Wagner, R., Kohl, T., L. Rybach, 2007. Statistik geothermische Nutzung der Schweiz für die Jahre, Ausgabe 2006 - Überarbeitung der Geothermiestatistik von 1990 bis 2006. Schlussbericht, GEOTHERMIE.CH/SVG.
- Signorelli, S., Sonnenfroh, S., Kohl, T., L. Rybach, 2008. Statistik geothermische Nutzung der Schweiz für die Jahre, Ausgabe 2007 - Überarbeitung der Geothermiestatistik von 1990 bis 2007. Schlussbericht, GEOTHERMIE.CH/SVG.

## 7 Beilagen

Beilage 1: Kennzahlen der Sole-Wasser-Wärmepumpen (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.1). Die Energiewerte sind nicht-klimanormiert und repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr. Die angegebenen JAZ sind die Mittelwerte für alle betriebenen Anlagen, unabhängig von der Inbetriebnahme.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Anzahl Wärmepumpen [-]	21'586	24'129	26'778	29'312	32'593	36'551	42'440	48'460	55'343
Installierte Heizleistung [MW]	364.7	397.5	430.2	463.5	509.9	568.2	658.5	758.6	871.7
Wärmeproduktion [GWh]	625.6	705.5	745.3	843.7	913.0	1'048.1	1'120.8	1'249.2	1'515.8
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	434.3	491.1	521.9	591.3	642.1	737.6	794.0	889.5	1'079.2
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	69%	70%	70%	70%	70%	70%	71%	71%	71%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5

Beilage 2: Kennzahlen der Wasser-Wasser-Wärmepumpen (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.1). Die Energiewerte sind nicht-klimanormiert und repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr. Die angegebenen JAZ sind die Mittelwerte für alle betriebenen Anlagen, unabhängig von der Inbetriebnahme.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Anzahl Wärmepumpen [-]	3'020	3'101	3'269	3'393	3'640	3'723	3'819	3'922	4'192
Installierte Heizleistung [MW]	107.8	109	109.5	110.2	110.9	112.6	121.7	130.8	150.3
Wärmeproduktion [GWh]	157.7	165.9	163.1	172.7	173.2	182.3	181.7	191.6	227.5
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	106.2	111.9	110.8	117.3	118.1	124.4	125.2	132.9	158.1
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	67%	67%	68%	68%	68%	69%	69%	69%	69%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3

Beilage 3: Kennzahlen der Nutzung mit "Tiefen Erdwärmesonden" (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.2.2). Die Angaben repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr, geliefert von Anlagebetreibern.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Anzahl Anlagen [-]	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Installierte Heizleistung [MW]	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Wärmeproduktion [GWh]	0.69	0.74	0.92	0.97	0.95	0.96	0.97	0.96	0.84
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	0.56	0.59	0.72	0.75	0.73	0.74	0.74	0.74	0.59
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	81%	80%	78%	77%	77%	77%	76%	77%	70%
Jahresarbeitszahl JAZ	5.2	5.0	4.6	4.3	4.3	4.2	4.2	4.4	3.4

Beilage 4: Kennzahlen der Nutzung mit "Geostrukturen" (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.2.3). Die Angaben repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr. Bis 2003 basieren die Zahlen auf der Erhebung von neu erstellten Anlagen. Ab 2004 wird der Zuwachs anhand von mit Wärmetauschern ausgerüsteten Pfahlmetern abgeschätzt. Die angegebenen JAZ sind die Mittelwerte für alle betriebenen Anlagen, unabhängig von der Inbetriebnahme.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Anzahl Anlagen [-]	Anzahl der Anlagen unbekannt								
Installierte Heizleistung [MW]	3.7	4.4	5.7	6.2	7.0	7.9	8.6	8.9	10.4
Wärmeproduktion [GWh]	7.3	8.8	12.6	13.1	14.5	16.3	17.8	18.4	21.5
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	5.1	6.1	8.8	9.2	10.1	11.3	12.3	12.7	14.8
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	70%	69%	70%	70%	70%	69%	69%	69%	69%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2

Beilage 5: Kennzahlen der Nutzung mit "Erdwärmesonden", inkl. "Erdwärmekörbe" und "Erdregister" (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.2.4). Die Energiewerte sind nicht-klimanormiert und repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr. Die angegebenen JAZ sind die Mittelwerte für alle betriebenen Anlagen, unabhängig von der Inbetriebnahme.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Anzahl Wärmepumpen [-]	Da die Anzahl "Geostruktur"-Anlagen nicht bekannt ist, kann die Anzahl nur geschätzt werden. Die Anzahl liegt in der Grössenordnung von Beilage 1.								
Installierte Heizleistung [MW]	360.8	392.9	424.3	457.2	502.8	560.1	649.7	749.5	861.2
Wärmeproduktion [GWh]	617.6	696.0	731.7	829.6	897.5	1030.8	1102.0	1229.8	1493.4
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	428.7	484.5	512.4	581.3	631.2	725.5	781.0	876.0	1063.9
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	69%	70%	70%	70%	70%	70%	71%	71%	71%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5

Beilage 6: Kennzahlen der WP-Nutzung von "Oberflächennahem Grundwasser" (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.3.2). Die Energiewerte sind nicht-klimanormiert und repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr. Die angegebenen JAZ sind die Mittelwerte für alle betriebenen Anlagen, unabhängig von der Inbetriebnahme.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Anzahl Wärmepumpen [-]	3'155	3'234	3'391	3'513	3'628	3'711	3'808	3'911	4'181
Installierte Heizleistung [MW]	100.5	101.7	102.1	102.8	103.5	105.1	114.4	123.5	143.0
Wärmeproduktion [GWh]	139.0	150.8	143.4	154.9	154.2	162.9	162.6	175.8	209.8
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	93.4	101.8	97.5	105.4	104.9	110.9	111.7	121.9	145.8
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	67%	67%	68%	68%	68%	68%	69%	69%	70%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.0	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.3

Beilage 7: Kennzahlen der "Tunnelwasser"-Nutzung (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.3.3). Die Werte repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr abgeschätzt anhand von Betreiberangaben (Février und Rybach, 2007).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Anzahl Wärmepumpen [-]	4 <sup>1)</sup>	4	6 <sup>2,3)</sup>	6	6	6	6	6	6
Installierte Heizleistung [MW]	2.3 <sup>4)</sup>	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Wärmeproduktion [GWh]	3.5	3.3	3.9	4.2	3.9	4.1	4.5	4.4	4.3
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	2.5	2.3	2.7	2.9	2.7	2.9	3.1	3.0	2.9
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	70%	70%	70%	69%	69%	69%	69%	69%	68%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.1

<sup>1)</sup>In Betriebnahme Hauenstein Basistunnel, Trimbach (SO)

<sup>2)</sup>In Betriebnahme Grand-St-Bernard, Bourg St Pierre (VS), Nutzung der warmen Tunnelluft über Luft-Wasser WP

<sup>3)</sup>In Betriebnahme Mappo Morettina, Minusio/Tenero (TI)

<sup>4)</sup>Sanierung Gotthard Strassentunnel, Airolo (TI), Reduktion der installierten Heizleistung

Beilage 8: Kennzahlen der Nutzung von "Tiefen Aquiferen" (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.3.4). Die Werte repräsentieren die effektiven Produktionsdaten pro Jahr gemäss Betreiberangaben. Die Schwankungen in der Produktion gehen neben unterschiedlich strengen Winter auf technische Probleme bei den Anlagen Riehen und Kloten zurück.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Anzahl Wärmepumpen [-]	6 <sup>1)</sup>	6	6	6	6	6	5 <sup>2)</sup>	5	5
Installierte Heizleistung [MW]	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05	4.97	4.97	4.97
Wärmeproduktion [GWh]	15.12	11.74 <sup>3)</sup>	15.84	13.56 <sup>3)</sup>	15.08 <sup>4)</sup>	15.26	14.59 <sup>5)</sup>	11.50 <sup>3,5)</sup>	13.37
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	10.37	7.82	10.52	9.00	10.56	10.66	10.33	8.02	9.30
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	69%	67%	66%	66%	70%	70%	71%	70%	70%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.2	3.0	3.0	3.0	3.3	3.3	3.4	3.3	3.3

<sup>1)</sup>In Betriebnahme Anlage Itingen

<sup>2)</sup>Vorübergehende Einstellung des Betriebes Anlage Itingen

<sup>3)</sup>Technische Probleme bei der Anlage Riehen

<sup>4)</sup>Erhöhung der Produktion Anlage Kloten durch Ersatz der WP

<sup>5)</sup>Technische Probleme bei der Anlage Kloten

Beilage 9: Kennzahlen der Direktnutzung von "Tiefen Aquiferen" durch die Anlage Riehen (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.4.1). Bei der Nutzung ohne WP entspricht die reine geothermische Energie der Wärmeproduktion.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Anzahl Wärmepumpen [-]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Installierte Heizleistung [MW]	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Wärmeproduktion [GWh]	3.43	1.34	4.84	3.08	3.26	3.40	2.96	2.67	2.13

Beilage 10: Kennzahlen der Thermalbad-Nutzung (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.4.2).

Thermalbad	Referenz	Schüttung [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Temperatur [°C]	Leistung [MW] <sup>*)</sup>	Wärme- produktion [GWh] <sup>*)</sup>
Andeer (GR)	Schamser Heilbad Andeer AG/2009	1.16·10 <sup>-3</sup>	19	0.04	0.4
Baden (AG)	Baudepartement Aargau (pers. Mitteilg, 1998)	1.05·10 <sup>-2</sup>	46.5	1.62	13.4
Bad Ragaz (SG)	Therme (pers. Mit- teilg, 2005/2007)	3.57·10 <sup>-2</sup>	36.5	3.97	33
Bad Schinznach (AG)	Bad Schinznach AG/Schori	7.64·10 <sup>-3</sup>	28.9/42.6	1.03	8.6
Brigerbad (VS)	Hans Kalbermatten Thermalbad AG/Schnidrig	2.83·10 <sup>-2</sup>	42	3.81	31.7
Lavey-les-Bains (VD)	Bianchetti 2009	3.25·10 <sup>-2</sup>	61.7	7.06	58.7
Leukerbad (VS)	Zumofen+Glenz 1999	4.62·10 <sup>-2</sup>	47	7.18	59.7
Lostorf (SO)	Bauverwaltung Lostorf (pers. Mitteilg, 2008)	-Betrieb 2005 vorübergehend eingestellt Neueröffnung ist für 2010 geplant			
Ovronnaz (VS)	Thermalp les Bains d'Ovronnaz	3.17·10 <sup>-3</sup>	23.4	0.18	1.5
Saillon (VS)	Bianchetti 2009	7.83·10 <sup>-2</sup>	20/22	2.51	20.9
Stabio (TI)	Terme (pers. Mit- teilg, 2000)	6.67·10 <sup>-4</sup>	13	0.01	0.1
Val d'Illiez (VS)	Bianchetti 2009	2.02·10 <sup>-3</sup>	27.5	1.49	12.4
Vals (GR)	Valsler Mineralquel- len/Laenzlinger	7.33·10 <sup>-3</sup>	24/29	0.28	2.3
Yverdon-les-Bains (VD)	web	6.00·10 <sup>-2</sup>	29	4.79	39.8
Zurzach (AG)	web	7.61·10 <sup>-3</sup>	39.7	0.95	7.9
<b>Total</b>				<b>34.9</b>	<b>290.4</b>

\*)Bei Abkühlung auf 10 °C