

Schlussbericht, 28. Juli 2016

Statistik der geothermischen Nutzung in der Schweiz

Ausgabe 2015

Mit Unterstützung von



Autoren

Dr. Katharina Link, Dr. Roland Wyss GmbH

Andreas Blum, Dr. Roland Wyss GmbH

Dr. Roland Wyss, Dr. Roland Wyss GmbH

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: 3003 Bern
Infoline 0848 444 444. www.energieschweiz.ch/beratung
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch

Zusammenfassung

Jährlich wird im Auftrag des Bundesamtes für Energie durch Geothermie-Schweiz 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 Anlagenbetreibern 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 2015 3'408 GWh betrug, wobei der Anteil der geothermischen und somit erneuerbaren Energie bei 2'536 GWh liegt. Aufgrund des weniger milden Winters 2015 hat die produzierte Heizenergie gegenüber 2014 wieder um gut 12% zugenommen.

Die geothermische Heizenergie stammt hauptsächlich aus Wärmepumpensystemen zu Heizzwecken (3'192.4 GWh). Davon entfallen 85% auf Erdwärmesondensysteme (2'723.0 GWh). Die weitere geothermische WP-Nutzung teilt sich auf in Oberflächennahes Grundwasser (405.9 GWh), Geostrukturen (42.2 GWh), Tiefe Aquifer-Nutzung (13.9 GWh), Tunnelwasser (5.8 GWh) und Tiefe Erdwärmesonden (1.5 GWh). Nicht WP-abhängige Geothermie-Nutzungen sind mehrheitlich Thermalbad-Anwendungen (209.7 GWh). Daneben erfolgt auch ein Anteil der Tiefen Aquifer-Nutzung durch die Anlage Riehen direkt ohne Wärmepumpe (4.2 GWh). Beim Lötschbergtunnel wird ein grosser Teil (2.0 GWh) der geothermischen Wärme direkt ohne Wärmepumpe für die Fischzucht verwendet.

Résumé

Chaque année, une étude mandatée par l'Office Fédéral de l'Énergie à travers de Geothermie-Suisse, Société suisse pour la Géothermie, 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 les gérants d'installations ainsi que sur 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 atteinte en 2015 est de 3'408 GWh, dont la part d'énergie géothermique renouvelable (source froide) est d'environ 2'536 GWh. La production de chaleur d'origine géothermique a été augmentée presque de 12% par rapport à 2014.

Les pompes à chaleur fournissent l'essentiel de la production de chaleur (3'192.4 GWh). 85% de cette énergie provient de systèmes fonctionnant avec des sondes géothermiques (2'723.0 GWh). Le reste de l'utilisation avec pompe à chaleur est partagé entre l'exploitation d'aquifères superficiels (405.9 GWh), les géostructures (42.2 GWh), les aquifères profonds (13.9 GWh), l'utilisation d'eau des tunnels (5.8 GWh) et les sondes géothermiques profondes (1.5 GWh). Les systèmes non basés sur les pompes à chaleur sont principalement les bains thermaux (209.7 GWh). Il faut

ajouter à cela la production de l'installation de Riehen (aquifère profond), partiellement réalisée sans pompe à chaleur (4.2 GWh). Pour le tunnel du Lötschberg, une part importante de la chaleur géothermique (2.0 GWh) est utilisée directement sans pompe à chaleur pour la pisciculture.

Abstract

Every year the geothermal energy production of Switzerland is compiled by Geothermie-Schweiz, the Swiss Geothermal Society, by order of the Swiss Federal Office of Energy. The present statistics is part of the Renewable Energy Statistics of the 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 the Swiss Federal Office of Energy. In 2015 the heat production amounted to 3'408 GWh, with a geothermal and thus renewable energy part of 2'536 GWh. This corresponds to an increase in heat production by 12% relative to 2014 due to a less mild winter in 2015.

Geothermal heat pump systems for space heating provide the main part of heat production (3'192.4 GWh). Of this, 85% comes from systems with borehole heat exchangers (2'723.0 GWh). The remaining heat pump based utilization is made up by groundwater systems (405.9 GWh), geostuctures (42.2 GWh), deep aquifers (13.9 GWh), tunnel waters (5.8 GWh) and deep borehole heat exchangers (1.5 GWh). Utilization without heat pumps is mainly from thermal bathing (209.7 GWh). Besides, a part of deep aquifer utilization comes from the Riehen doublet system, operating without heat pumps (4.2 GWh). At the tunnel of Lötschberg a big part of the geothermal heat (2.0 GWh) is used directly for fish breeding (Tropenhaus Frutigen).

Inhalt

1	Einleitung.....	9
1.1	Ausgangslage	9
1.2	Geothermische Nutzungstypen.....	9
2	Vorgehen	11
3	Geothermische Anlagentypen	12
3.1	Wärmepumpen-Anlagen – Allgemein	12
3.2	Sole/Wasser Wärmepumpen-Anlagen.....	16
3.2.1	Vorgehen	16
3.2.2	Tiefe Erdwärmesonden	17
3.2.3	Geostrukturen (Energiepfahlsysteme).....	18
3.2.4	Erdwärmesonden (inkl. Erdregister und Erdwärmekörbe)	19
3.3	Wasser/Wasser Wärmepumpen-Anlagen	20
3.3.1	Vorgehen	20
3.3.2	Oberflächennahes Grundwasser	21
3.3.3	Tunnelwasser.....	22
3.3.4	Tiefer Aquifer – Nutzung über Wärmepumpen.....	23
3.4	Direktnutzung (Nicht-Wärmepumpennutzung)	25
3.4.1	Tunnelwassernutzung – Direktnutzung.....	25
3.4.2	Tiefer Aquifer – Direktnutzung.....	25
3.4.3	Thermalbäder.....	25
3.5	Geothermisches Kühlen	26
4	Überblick Geothermie Nutzung in der Schweiz	27
5	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	36
6	Literaturverzeichnis	38
7	Beilagen.....	39

Figuren

Figur 1:	Geothermische Nutzungsmöglichkeiten des Untergrundes in der Schweiz in unterschiedlichen Tiefen- und Temperaturbereichen (modifiziert nach CREGE, 2008).	10
Figur 2:	Entwicklung des Wärmepumpenbestandes für die SW-WP- und für die auf geothermischer Nutzung basierenden WW-WP-Anlagen.	14
Figur 3:	Entwicklung der installierten Heizleistung für die SW-WP- und für die auf geothermischer Nutzung basierenden WW-WP-Anlagen.	15
Figur 4:	Entwicklung der Heizenergie für die SW-WP- und für die auf geothermischer Nutzung basierenden WW-WP-Anlagen.	15
Figur 5:	Entwicklung der geförderten geothermischen (erneuerbaren) Energie für die SW-WP und für die auf geothermischer Nutzung basierenden WW-WP-Anlagen.	16
Figur 6:	Diagramm mit Anteilen der installierten Heizleistung aufgeschlüsselt für WP-Systeme im Jahr 2015.	29
Figur 7:	Diagramm mit Anteilen der Heizenergie aller geothermischen Systeme im Jahr 2015.	31
Figur 8:	Diagramm mit Anteilen der geförderten geothermischen (erneuerbaren) Energie aller geothermischen Systeme im Jahr 2015.	33
Figur 9:	Heizenergie (Wärmeproduktion) aller geothermischen Systeme seit 1990, basierend auf den Daten der Elektro-Wärmepumpen-Statistik und auf Angaben von Anlagebetreibern.	34
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.	35

Tabellen

Tabelle 1:	Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch Tiefe Erdwärmesonden für 2015 gemäss Betreiberangaben.	18
Tabelle 2:	Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch Geostrukturen für 2015, aktualisiert anhand von ausgerüsteten Pfahlmetern.	19
Tabelle 3:	Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch EWS (inkl. Erdwärmekörbe und Erdregister) für 2015.	20
Tabelle 4:	Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch Oberflächennahe Grundwasseranlagen für 2015.	21
Tabelle 5:	Kennzahlen der geothermischen Tunnelwasser-Nutzung für 2015 (basierend auf Février und Rybach, 2007; aktualisiert gemäss Betreiberangaben).	23
Tabelle 6:	Kennzahlen der geothermischen Nutzung aus Tiefen Aquiferen für 2015, gemäss Betreiberangaben.	24
Tabelle 7:	Kennzahlen der geothermischen Nutzung der Thermalbäder für 2015.	26
Tabelle 8:	Total installierte Heizleistung [MW], aufgeschlüsselt nach WP-Systemen für die Jahre 2005 bis 2015.	28
Tabelle 9:	Heizenergie [GWh], aufgeschlüsselt nach geothermischen Systemen für die Jahre 2005 bis 2015.	30
Tabelle 10:	Geförderte geothermische (erneuerbare) Energie [GWh], aufgeschlüsselt nach geothermischen Systemen für die Jahre 2005 bis 2015.	32

Beilagen

Beilage 1:	Kennzahlen der Sole-Wasser-Wärmepumpen.	39
Beilage 2:	Kennzahlen der Wasser-Wasser-Wärmepumpen	40
Beilage 3:	Kennzahlen der Nutzung mit Tiefen Erdwärmesonden	41
Beilage 4:	Kennzahlen der Nutzung mit Geostrukturen	42
Beilage 5:	Kennzahlen der Nutzung mit EWS, inkl. Erdwärmekörbe und Erdregister	43
Beilage 6:	Kennzahlen der WP-Nutzung von Oberflächennahem Grundwasser	44

Beilage 7: Kennzahlen der Tunnelwasser-Nutzung	45
Beilage 8: Kennzahlen der Nutzung von Tiefen Aquiferen	46
Beilage 9: Kennzahlen der Direktnutzung von Tiefen Aquiferen durch die Anlage Riehen	47
Beilage 10: Kennzahlen der Thermalbad-Nutzung	48

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Jährlich erhebt Geothermie-Schweiz, die Schweizerische Vereinigung für Geothermie, statistische Daten über die geothermische Nutzung in der Schweiz. In diesem Bericht sind die Produktionsdaten bis 2015 zusammengestellt.

1.2 Geothermische Nutzungstypen

Als Geothermie wird allgemein der Wärmeentzug aus dem Untergrund bezeichnet. Für die geothermische Energienutzung steht eine breite Palette von Technologien zur Verfügung (Figur 1). 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

Weitere Nutzungen:

- 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 (Energiepfähle).

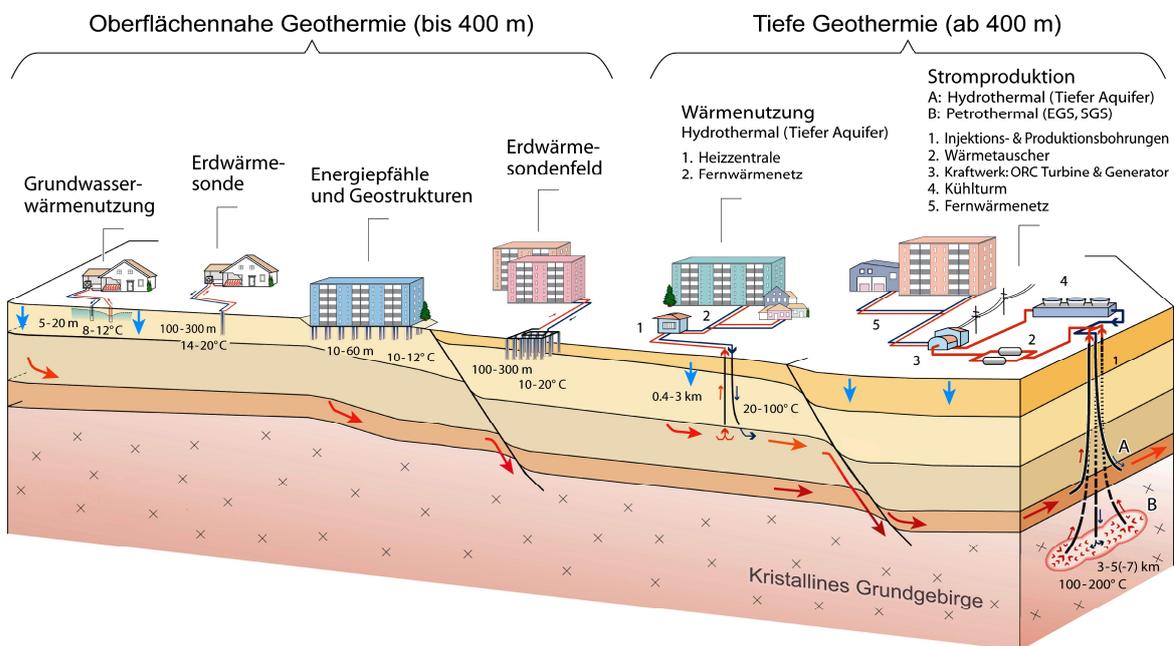
Der jährlich grösser werdende Beitrag, den die Geothermie an die benötigte Kühlenergie in der Schweiz liefert, kann bis anhin noch nicht erfasst werden.

In der Tiefen Geothermie gibt es folgende Nutzungskategorien:

- Tiefe Aquifere
- Thermalbäder
- Enhanced Geothermal System (EGS)

Bisher sind in der Schweiz die Geothermie-Anlagen fast ausschliesslich an WP gekoppelt.

Ausnahmen sind Thermalbäder, ein Teil in der Anlage Riehen bei den Tiefen Aquifere und die Fischzucht beim Tropenhaus Frutigen bei den Tunnelwassernutzungen.



Figur 1: Geothermische Nutzungsmöglichkeiten des Untergrundes in der Schweiz in unterschiedlichen Tiefen- und Temperaturbereichen (modifiziert nach CREGE, 2008).

2 Vorgehen

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

Wärmepumpennutzung Sole/Wasser (SW):

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

Wärmepumpennutzung Wasser/Wasser (WW):

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

Direktnutzung (Nicht-Wärmepumpennutzung):

- Tunnelwasser
- 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 Anlagenbetreibern 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, Tiefen Aquiferen und Tunnelwasser 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). Diese unterscheidet nach Wärmequellen bzw. Wärmepumpentypen (Sole/Wasser (SW), Wasser/Wasser (WW), Luft/Wasser (LW) und Luft/Luft (LL)), 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 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, 5–13 kW, 13–20 kW), in mittlere Anlagen mit zwei Kategorien (20–50 kW, 50–100 kW) und in grosse WP-Anlagen mit ebenfalls zwei Kategorien (100–350 kW, > 350 kW) unterteilt. Dabei wird nach Wärmequellen bzw. WP-Typen (SW, WW, LW, LL) unterschieden. Die WP-Verkaufszahlen reichen 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). Wie die Studie «Langzeiterfahrung mit Erdwärmesonden-Systemen in der Schweiz» (Geowatt, 2010)

zeigt, ist allgemein von einer höheren Lebensdauer auszugehen. Die hier getroffenen Annahmen sind als konservativ zu betrachten.

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 «13-20 kW» beträgt z.B. die mittlere Leistung 15.5 kW. Für die JAZ wird eine Steigerung von 1990 bis 2015 von 3.0 auf 3.8 angenommen. Bei den WW-WP beträgt die mittlere Leistung 15.5 kW. Die Steigerung der JAZ wird von 2.8 auf 3.7 angenommen.

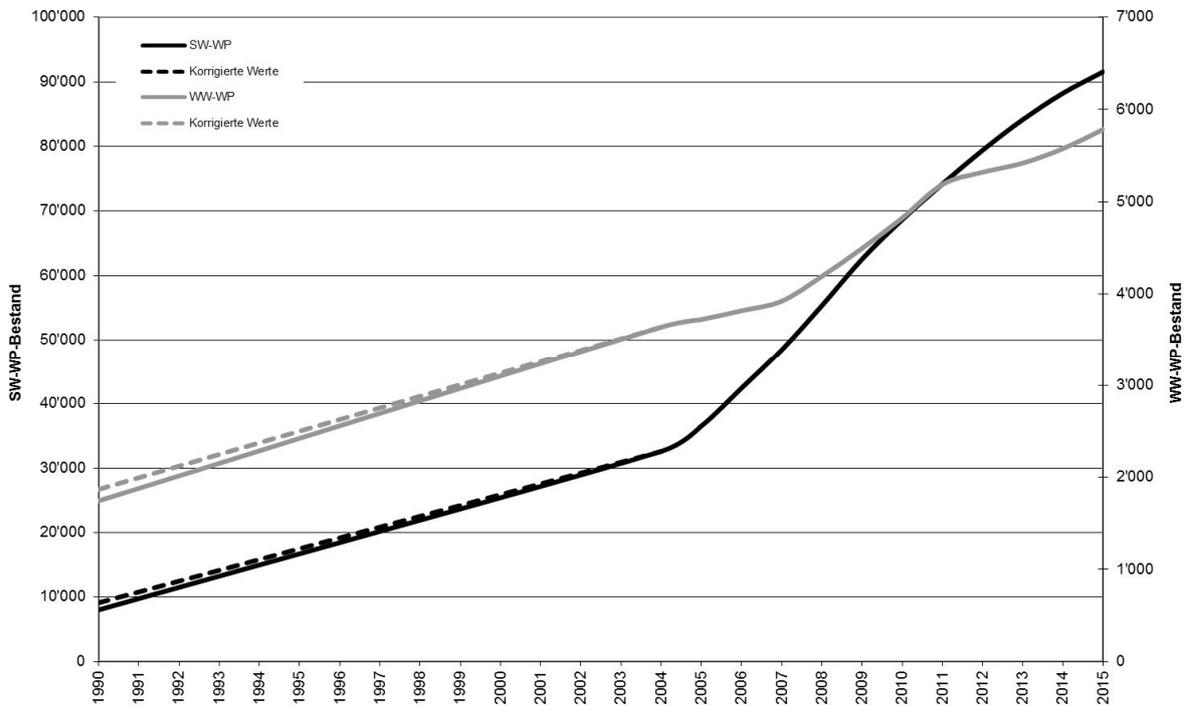
Basierend auf diesen Anlageparametern erfolgt die Berechnung der installierten Heizleistung, der Heizenergie und der geothermischen (erneuerbaren) Energie. Dabei werden die jahreszeitlich bedingten Einflüsse auf die JAZ der WP-Anlagen über die Heizgradtage berücksichtigt. Dies kann dazu führen, dass 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.

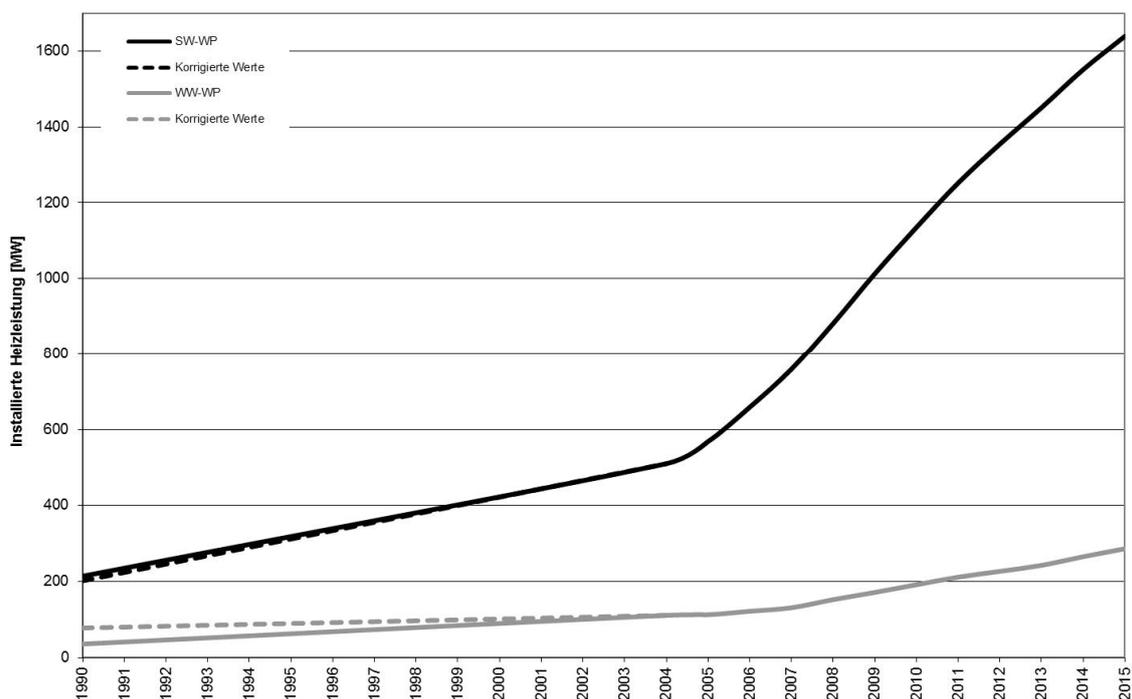
Figur 2 bis Figur 5 zeigen den Anstieg des geothermisch relevanten Wärmepumpenbestandes, der installierten Heizleistung, der Heizenergie und der produzierten geothermischen Energie seit 1990. In den Figuren sind auch die rückwirkend berechneten Werte aufgrund der 2007 erfolgten Umstellung des Berechnungssystems dargestellt (siehe Kapitel 2). Der Bestand an SW-WP hat sich seit 1990 verzehnfacht, derjenige von geothermisch relevanten WW-WP mehr als verdreifacht. Für 2015 wird die Anzahl der SW-Anlagen auf 91'542 und die der WW-Anlagen auf 5'783 geschätzt (siehe Beilage 1 und Beilage 2). Während die SW-WP-Anzahl seit 2000 zunächst jährlich um durchschnittlich 10 % anstieg, lag der Wert 2015 bei knapp 4 %. Bei den geothermischen WW-WPs liegt der jährliche Zuwachs seit 2000 etwa bei 4 %. Entsprechend dem Bestandszuwachs zeigen die SW- und die WW-WP-Anlagen auch einen Zuwachs bei der installierten Heizleistung. 2015 (d. h. Winter 2014/2015) war ein milder Winter mit 3'075 Heizgradtagen (im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt von 3'588 Heizgradtagen), jedoch nicht so mild wie das Vorjahr 2014. Die Heizenergie der SW-WP-Anlagen hat deshalb im Vergleich zum Vorjahr zugenommen und be-

trug 2015 ca. 2'766.72 GWh, diejenige der WW-WP-Anlagen etwa 425.70 GWh. Eine detaillierte Zusammenstellung aller Kennzahlen seit 2004 ist in Beilage 1 und Beilage 2 zu finden.



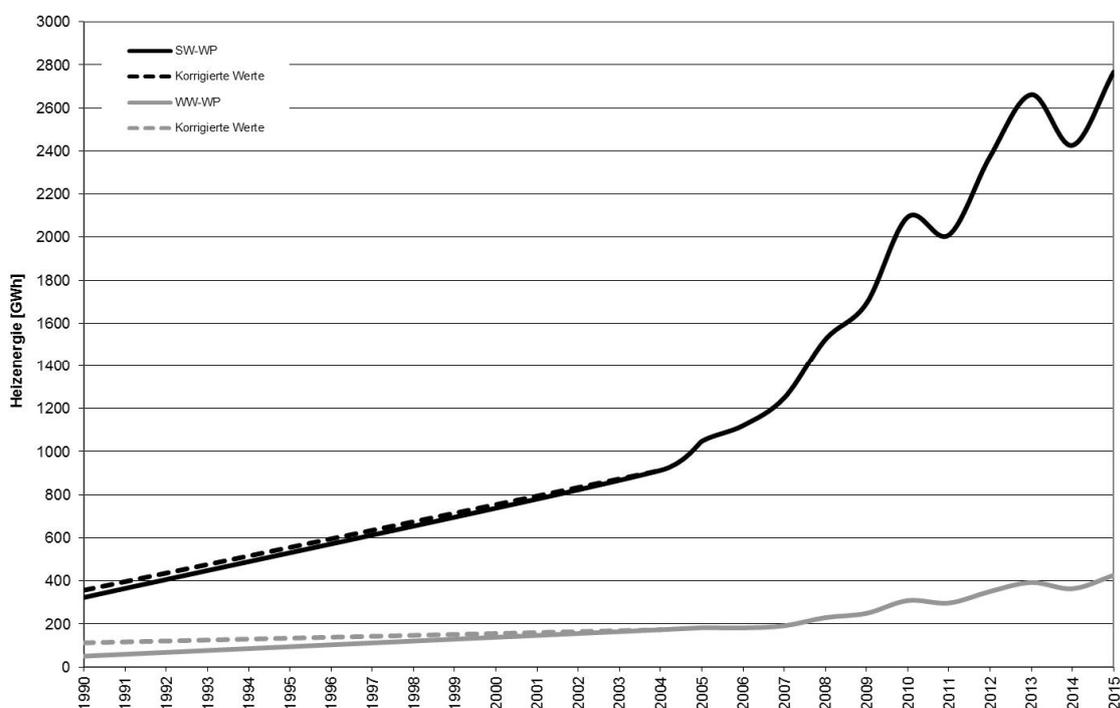
Figur 2: Entwicklung des Wärmepumpenbestandes für die SW-WP- und für die auf geothermischer Nutzung basierenden WW-WP-Anlagen.

Details 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 verzehnfacht, derjenige von geothermisch relevanten WW-WP mehr als verdreifacht.



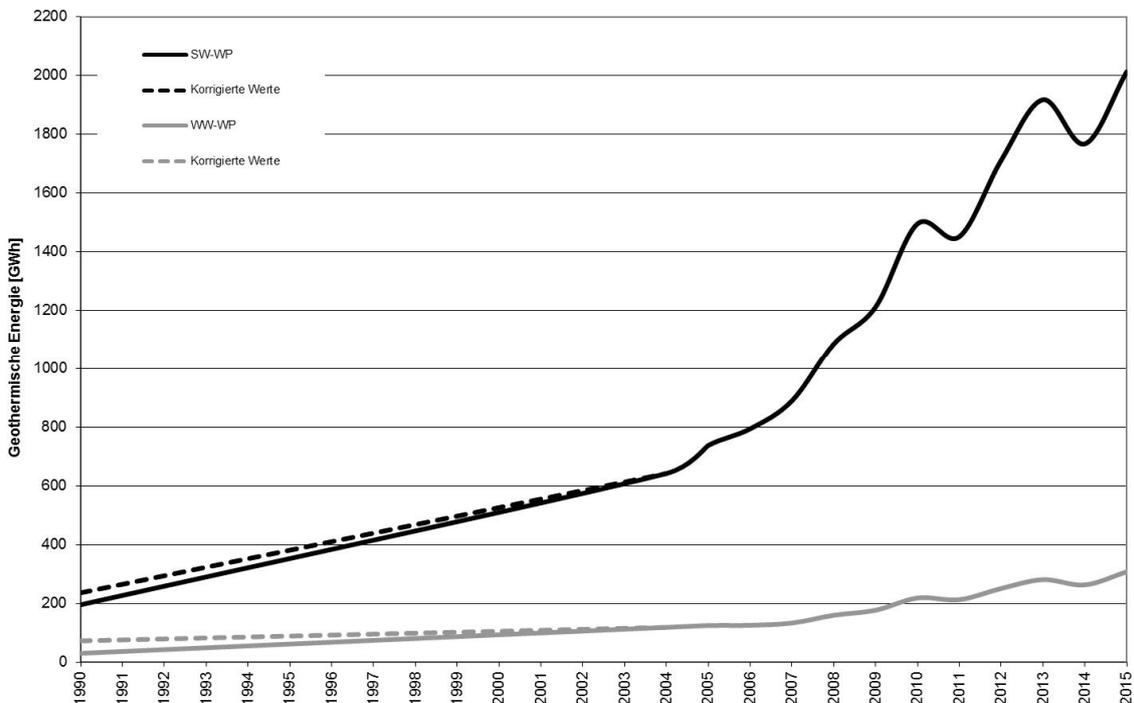
Figur 3: Entwicklung der installierten Heizleistung für die SW-WP- und für die auf geothermischer Nutzung basierenden WW-WP-Anlagen.

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 seit 2001 auf dem Markt und sind nach wie vor 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 geo-thermischer Energie aller SW-WP Anlagen (Kapitel 3.1) und den erfassten Zahlen für Tiefe Erdwärmesonden (Kapiteln 3.2.2) und Geostrukturen (Energiepfähle) (Kapitel 3.2.3) wird der Anteil der EWS-Systeme berechnet.

Es gilt:

⇒ «EWS (inkl. Erdwärmekörbe und Erdregister)» = Total SW-WP – «Tiefe Erdwärmesonden» – «Geostrukturen»

3.2.2 Tiefe Erdwärmesonden

Tiefe Erdwärmesonden stellen einen Spezialfall von konventionellen EWS-Systemen dar. Meist handelt es sich 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 drei solcher Systeme: Weggis, Weissbad und Triemli. Momentan werden die Betriebsdaten der Anlage Weggis nicht mehr systematisch aufgezeichnet. 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. Die Anlage in Weissbad ist, nach der Revision im Jahr 2011, seit 2012 wieder in Betrieb. Daten für die tiefe EWS «Sonnengarten» im Triemli-Quartier in Zürich sind seit 2011 vorhanden. Diese war im Sommer 2015 teilweise wegen Umbauarbeiten ausser Betrieb.

Die Zusammenstellung der Kennzahlen seit 2004 ist in der Beilage 3 zu finden. Seit 2001 und der Beendigung des Ausbaus der Anlage Weggis hat sich die Heizenergie bis 2011 kaum verändert. Leichte Schwankungen waren auf die unterschiedlich strengen Winter zurückzuführen. Mit dem Bau der Anlage im Triemli ist die Heizenergie aus tiefen Erdwärmesonden markant gestiegen. Die Heizenergie der drei Anlagen liegt bei 1.53 GWh, bei einer geförderten geothermischen Energie von 1.05 GWh (Tabelle 1). Die Anlagen besitzen somit eine mittlere JAZ von 3.2. Die seit Herbst 2015 in Betrieb befindliche tiefe Erdwärmesonde in Pontresina wird ab 2016 in der Geothermiestatistik erfasst.

	Installierte Heizleistung [MW]	Heizenergie [GWh]	Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]
Weggis (LU)1)	0.10	0.54	0.41
Weissbad (AI)2)	0.08	0.16	0.07
Triemli (ZH) 3)	0.6	0.83	0.57
Pontresina (GR) 4)	Ab 2016	Ab 2016	Ab 2016

1) pers. Mitteilung: Polydynamics Zürich

2) pers. Mitteilung: Hotel Hof Weissbad

3) pers. Mitteilung: EWZ

4) pers. Mitteilung: Hotel Saratz

Total 2015

Installierte Heizleistung [MW]	0.78
Heizenergie [GWh]	1.53
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	1.05
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	69%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.2

Tabelle 1: Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch Tiefe Erdwärmesonden für 2015 gemäss Betreiberangaben.

3.2.3 Geostrukturen (Energiepfahlsysteme)

Da neue Geostrukturprojekte 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 Geostrukturen (Energiepfahlsysteme, erdberührte Betonteile) bildet hauptsächlich eine 1998 durchgeführte Erhebung von Geothermie-Schweiz (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 Bohrmern befragt. Es wird angenommen, dass sie zusammen 60 % des Marktes abdecken. Damit können jedoch nur Energiepfahlsysteme erfasst werden. Hinsichtlich der Heizenergie über erdberührte Betonteile können keine Angaben gemacht werden. Der Anteil die-

ser 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 EWS in Kapitel 3.2.4, ist davon auszugehen, dass die Anzahl Anlagen verhältnismässig gering ist.

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

Die geschätzte Heizenergie beträgt für 2015 42.17 GWh, bei einer installierten Heizleistung von 20.3 MW. Die geothermische Energie liegt bei 28.6 GWh (Tabelle 2, Beilage 4).

Geostrukturanlagen werden auch zu Kühlzwecken eingesetzt. Bis ins Jahr 2003 wurden die Anlagen noch einzeln erfasst, dadurch konnte auch die produzierte Kühlenergie bestimmt 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 2015

Installierte Heizleistung [MW]	20.3
Heizenergie [GWh]	42.17
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	28.6
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	68%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.1

Tabelle 2: Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch Geostrukturen für 2015, aktualisiert anhand von ausgerüsteten Pfahlmetern.

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 Erdwärmesonden und Geostrukturen werden die Kennwerte für die EWS-Systeme (inkl. Erdwärmekörbe und Erdregister) abgeschätzt. Das Vorgehen ist in Kapitel 3.2.1 beschrieben.

Die Anzahl Wärmepumpen hat gegenüber dem Vorjahr um etwa 3.8 % zugenommen und betrug 2015 91'539 Anlagen (Tabelle 3). Die Heizenergie betrug 2015 ca. 2'723.02 GWh. Der Anteil der geothermischen Energie an der Energieproduktion liegt bei etwa 73% und betrug 2015 1'983.06 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 Geostruk-

tur-Anlagen und Tiefen Erdwärmesonden kann davon ausgegangen werden, dass der überwiegende Teil der SW-WP mit Erdwärmesonden betrieben werden (Anzahl siehe Beilage 1).

Total 2015

Anzahl Wärmepumpen	91'539
Installierte Heizleistung [MW]	1'618.23
Heizenergie [GWh]	2'723.02
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	1'983.06
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	73%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.7

Tabelle 3: Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch EWS (inkl. Erdwärmekörbe und Erdregister) für 2015.

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-Schweiz 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. Seit 2008 wird deshalb angenommen, dass 80 % aller WW-WP Anlagen Grundwasserwärmepumpen sind, was bereits für die Kleinanlagen < 100 kW galt (vergleiche auch Signorelli et al., 2009). Für die Jahre vor 2008 wird für Grossanlagen ein linearer Zuwachs von 0 % im Jahr 1970 bis auf 80 % im Jahr 2008 angenommen. 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-Anlantentypen nach folgendem Vorgehen, wobei wiederum das Berechnungsschema aus der Elektrowärmepumpen-Statistik (Basics, 2007) verwendet wird:

- Oberflächennahes Grundwasser: 80 % WW-WP Anlagen werden den Grundwasserwärmepumpen zugeschrieben.
- Tunnelwasser: Es gibt 7 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 werden dem Nutzungstyp Oberflächennahes Grundwasser zugewiesen (siehe auch Kapitel 3.3.1).

Tabelle 4 listet die Anzahl der WP, die installierte Heizleistung, die Heizenergie und die geothermische Energie für 2015 auf. Eine detaillierte Zusammenstellung der Kennzahlen zur Kategorie Oberflächennahes Grundwasser seit 2004 ist in Beilage 6 zusammengestellt. Die Produktionswerte sind effektive Betriebsdaten (vgl. Kapitel 3.1), 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 5'771 Stück. Die Heizleistung stieg gegenüber 2015 um rund 8% auf ca. 276.97 MW. Die Heizenergie beträgt 405.93 GWh. Dabei liegt der Anteil der geothermischen Energie bei 72% und beträgt 293.23 GWh.

Total 2015

Anzahl Wärmepumpen	5'771
Installierte Heizleistung [MW]	276.97
Heizenergie [GWh]	405.93
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	293.23
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	72%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.6

Tabelle 4: Kennzahlen der geothermischen Nutzung durch Oberflächennahe Grundwasseranlagen für 2015.

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. In einem siebten Tunnel dient heisse Tunnelluft als Energiequelle (siehe Tabelle 5). Aufgrund der relativ niedrigen Ausflusstemperaturen (< 20 °C) kann diese geothermische Quelle nur über eine WP genutzt werden.

Die zusammengestellten Betriebsdaten basieren hauptsächlich auf einer von Geothermie-Schweiz beauftragten Studie zum Potenzial von Tunnelwasser-Nutzungen in der Schweiz (Février und Rybach, 2007; Tabelle 5). 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 2015 aktualisiert. Die Heizenergie liegt bei rund 5.84 GWh, bei einem Anteil an geothermischer Energie von rund 4.09 GWh. Die Produktionsdaten seit 2004 sind in Beilage 7 zusammengestellt. Die Angaben zur totalen Schüttung und genutzter Schüttung in Tabelle 5 zeigen, dass durch die bestehenden Anlagen noch lange nicht das ganze vorhandene geothermische Potenzial genutzt wird. Seit der Inbetriebnahme der Anlagen bei den Tunnels Mappa Morettina und Grand St Bernard ist die Produktion bis 2010 etwas gleich geblieben. Seit dem Jahr 2011 wurde neu der Nahwärmeverbund beim Lötschbergbasistunnel in Frutigen (Nordportal) in der vorliegenden Statistik aufgenommen, der im Herbst 2010 vollständig in Betrieb genommen wurde.

Zwei Tunnelwasser-Anlagen dienen auch zur Kühlung. 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 250 MWh pro Jahr durch Tunnelwasser entzogen.

	Schüttung [l/min]	Förder- tempera- tur [C]	Installierte Heizleis- tung [MW]	Heizener- gie [GWh]	Geothermi- sche (erneuerbare) Energie [GWh]
Furka Eisenbahntunnel Oberwald (VS)	5400	16	1.37	2.74	2.02
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
Nahwärmeverbund Lötschbergbasis- tunnel, Nordportal	1380	16 - 18	1.08	1.44	0.98
Hauenstein Basis-Bahntunnel Trimbach (SO)	2500 (genutzt 1300)	19	0.37	0.34	0.14
Grand-St-Bernard Strassentunnel Bourg St Pierre (VS) ¹⁾		8	0.04	0.1	0.07
Mappo Morettina, Strassentunnel Minusio/Tenero (TI)	250	16 - 18	0.07	0.12	0.07
Total			3.80	5.84	4.1

¹⁾ Nutzung der warmen Tunnelluft (Luft-Wasser WP)

Tabelle 5: Kennzahlen der geothermischen Tunnelwasser-Nutzung für 2015 (basierend auf Février und Rybach, 2007; aktualisiert gemäss Betreiberangaben).

Rundungsabweichungen beim Total durch Berücksichtigung weiterer Nachkommastellen.

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, da die hier aufgeführten Aquifere (mit der Ausnahme der Anlage in Riehen) in weniger als 400 m Tiefe liegen. Bei der Anlage Riehen findet,

aufgrund der grösseren Tiefenlage und damit höheren Temperaturen, neben einer WP-Nutzung auch eine Direktnutzung der geothermischen Energie statt (Siehe Kapitel 3.4.1).

Aktuell sind 5 Anlagen in Betrieb (Tabelle 6). Die Anlage Itingen hat 2014 neu den Betrieb wieder aufgenommen. Die Anlage in Kreuzlingen wird neu ab 2015 unter Thermalbädern geführt. Eine detaillierte Liste ist in Beilage 8 zu finden. Die Produktion aus Tiefen Aquiferen hat in den letzten Jahren nur leicht variiert. Jährliche Schwankungen sind neben unterschiedlich strengen Wintern auf technische Probleme bei verschiedenen Anlagen zurückzuführen. 2015 wurde mit Tiefen Aquifer-Systemen eine Heizenergie von 13.93 GWh produziert. Der geothermische Anteil liegt dabei bei 10.23 GWh.

	Installierte Heizleistung [MW]	Heizenergie [GWh]	Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]
Bassersdorf (ZH)	0.24	0.47	0.24
Itingen (BL)	0.08	0.18	0.13
Kloten (ZH)	0.24	0.74	0.47
Riehen (BS)	3.50	10.08	7.69
Seon (AG)	1.35	2.47	1.70

Total 2015

Installierte Heizleistung [MW]	5.41
Heizenergie [GWh]	13.93
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	10.23
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	73%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.8

Tabelle 6: Kennzahlen der geothermischen Nutzung aus Tiefen Aquiferen für 2015, gemäss Betreiberangaben.

Rundungsabweichungen beim Total durch Berücksichtigung weiterer Nachkommastellen.

3.4 Direktnutzung (Nicht-Wärmepumpennutzung)

3.4.1 Tunnelwassernutzung – Direktnutzung

Seit dem Jahr 2011 wurde neu der Nahwärmeverbund beim Lötschbergbasistunnel in Frutigen (Nordportal) in der vorliegenden Statistik aufgenommen, der im Herbst 2010 vollständig in Betrieb genommen wurde. Ein grosser Teil (2 GWh) der geothermischen Wärme beim Lötschbergstunnel wird jährlich direkt ohne Wärmepumpe für die Fischzucht verwendet.

3.4.2 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. 65 °C. Dies erlaubt eine Direktnutzung ohne WP. Nach dem Umbau 2011 steigt die produzierte Heizenergie seit 2012 wieder. 2015 betrug die direkt genutzte Heizenergie 4.18 GWh (siehe Beilage 9).

3.4.3 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 [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$], ΔT = Temperaturdifferenz vor und nach der Nutzung (Temperatur Quelle minus Vorfluter) [K], ρ_{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 Kreuzlingen ist die Fördermenge per kantonale Konzession begrenzt, in diesem Fall wird die vom Betreiber geförderte Wassermenge genau erfasst und auch für die statistischen Berechnungen genutzt.

Allgemein erfolgt bei zu geringer Thermentemperatur eine zusätzliche Aufheizung des Badewassers. Bei zu hoher Temperatur wird mit zusätzlichem kaltem Wasser auf die Badetemperatur herunter gekühlt. Häufig wird zudem das «abgebadete» Thermalwasser einer weiteren energetischen Nutzung zugeführt (z.B. Heizzwecke mittels WP).

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. Tabelle 7 fasst die Heizenergie und die geothermische Leistung der Thermalbäder zusammen. Die Zusammenstellung der Schüttungen und der Referenzen ist in Beilage 10 zu finden.

Das Thermalbad Baden befindet sich zurzeit im Umbau. Neu ergänzt ist ab 2015 das Thermalbad Egelsee in Kreuzlingen, welches bislang unter den Tiefen Aquiferen geführt wurde.

Thermalbad	Leistung [MW] ^{*)}	Heizenergie [GWh] ^{*)}
Andeer (GR)	0.04	0.37
Baden (AG)	Zurzeit im Umbau	
Bad Ragaz (SG)	2.65	22.03
Bad Schinznach S3 (AG)	1.01	8.43
Brigerbad (VS)	4.67	38.88
Kreuzlingen	0.05	0.38
Lavey-les-Bains (VD)	3.94	32.76
Leukerbad (VS)	7.18	59.74
Lostorf (SO)	Betrieb 2005 vorübergehend eingestellt	
Ovronnaz (VS)	0.18	1.49
Saillon (VS)	2.51	20.85
Stabio (TI)	0.01	0.07
Val d'Illiez (VS)	1.84	15.29
Vals (GR)	Betrieb ab 2015 vorübergehend eingestellt	
Yverdon-les-Bains (VD)	0.23	1.90
Zurzach (AG)	0.91	7.54
Total	25.22	209.73

^{*)}Bei Abkühlung auf 10 °C

Tabelle 7: Kennzahlen der geothermischen Nutzung der Thermalbäder für 2015.

3.5 Geothermisches Kühlen

Dank seiner geeigneten physikalischen Eigenschaften kann der Untergrund (Gesteine und Wasser) als saisonaler Wärme-/Kältespeicher dienen. Je nach Verbrauchsprofil wird der Geothermiespeicher so gebaut, dass der gesamte Kühlbedarf direkt über den Untergrund abgedeckt werden kann. 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 aus-

gewiesen 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.

4 Überblick Geothermie Nutzung in der Schweiz

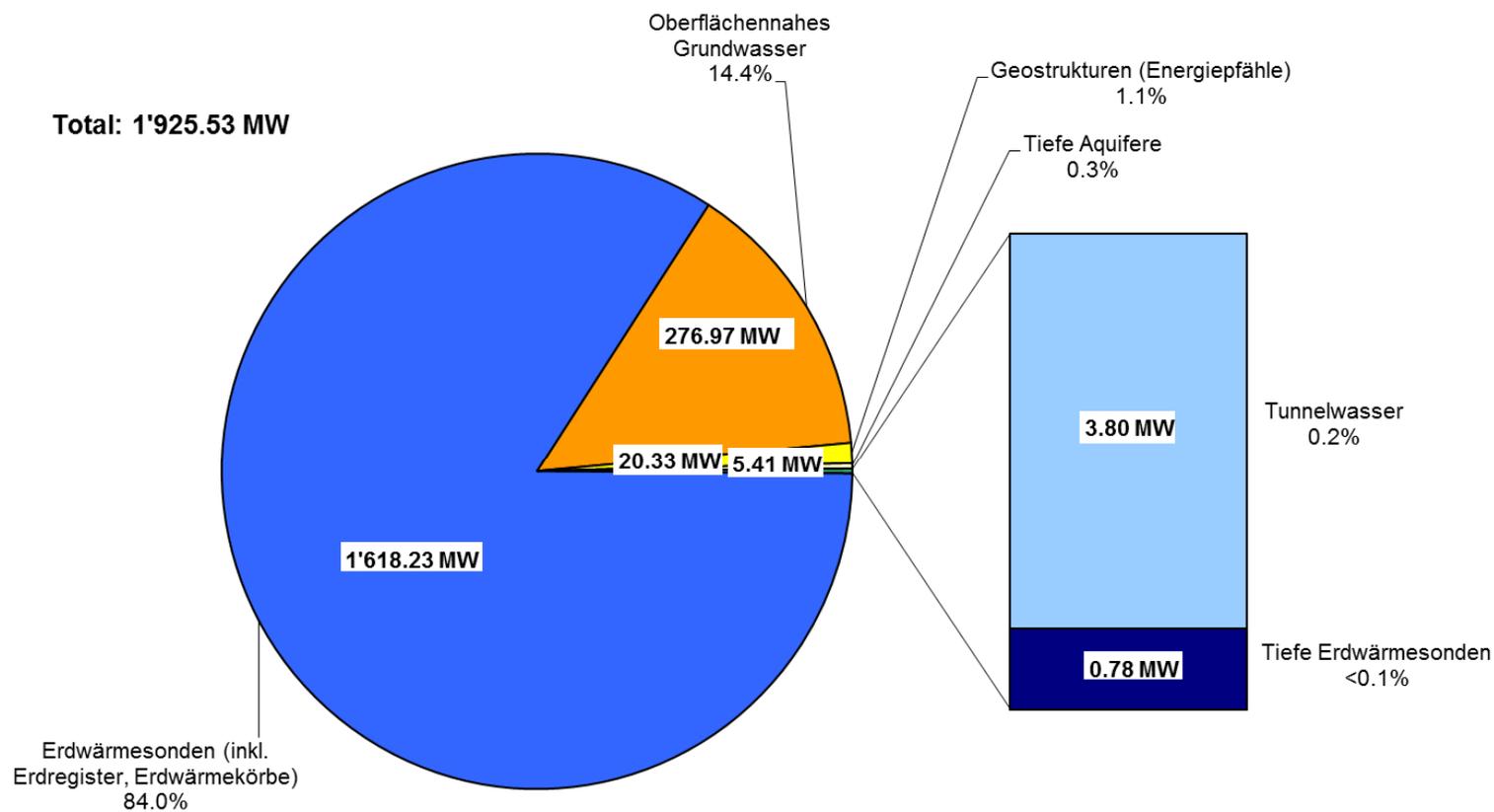
Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die installierten Heizleistungen von WP-Systemen sowie die Heizenergie und geothermische Energie aller geothermischen Systeme. Tabelle 8 fasst die installierte Heizleistung für die WP-Systeme zusammen. Figur 6 stellt die installierte Heizleistung und die prozentuale Verteilung für das Jahr 2015 dar. Von 2005 bis 2015 konnte die installierte Heizleistung fast verdreifacht werden. Sie beträgt neu 1'925.53 MW. Dieser Anstieg geht zu einem Teil auf den Zuwachs bei den EWS-Anlagen zurück. In den letzten 5 Jahren konnte auch bei den oberflächennahen Grundwasser-Systemen, den Geostrukturen (Energiepfahlanlagen) und bei den tiefen Erdwärmesonden ein deutlicher Anstieg der Leistung verzeichnet werden.

Die Heizenergie betrug 2015 rund 3'408.33 GWh (Tabelle 9, Figur 7). Die gesamte Produktion konnte sich seit 2005 mehr als verdoppeln. Der mit Abstand grösste Anteil von 2'723.02 GWh entfällt dabei auf EWS-Anlagen. Gefolgt werden die EWS-Anlagen von den oberflächennahen Grundwasser-Nutzungen und den Thermalbädern mit 405.93 beziehungsweise 209.73 GWh Heizenergie. Die Produktion der anderen Kategorien liegt jeweils zwischen 1.53 GWh und 42.17 GWh. Analoges ist für die geförderte geothermische und somit die erneuerbare Energie in zusammengestellt (Tabelle 10, Figur 8).

Die Heizenergie als auch die geförderte geothermische Energie zeigen seit 1990 – abhängig von den Heizgradtagen eines Jahres – eine positive Entwicklungstendenz (Figur 9, Figur 10). Für die Übersichtlichkeit werden die Kategorien Tiefe Erdwärmesonden, 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 2010 über 2'500 GWh liegt.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	%-Anteil 2015
Erdwärmesonden (inkl. Erdregister, Erdwärmekörbe)	560.1	649.7	749.5	861.2	981.2	1'122.8	1'237.3	1'338.9	1'433.9	1'531.7	1'618.23	84.0
Oberflächennahes Grundwasser	105.1	114.4	123.5	143	159.7	183.2	203.1	218.1	233.9	256.5	276.97	14.4
Geostrukturen (Energiepfähle)	7.9	8.6	8.9	10.4	11.9	12.2	14.8	15.1	16.2	19.0	20.33	1.1
Tiefe Aquifer	5.0	5.0	5.0	5.0	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	5.0	5.41	0.3
Tunnelwasser	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	3.5	3.5	3.6	3.7	3.8	3.80	0.2
Tiefe Erdwärmesonden	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.8	0.8	0.8	0.78	< 0.1
Total	680.7	780.3	889.4	1'022.1	1'160.3	1'326.8	1'463.8	1'581.4	1'694.0	1'816.8	1'925.53	

Tabelle 8: Total installierte Heizleistung [MW], aufgeschlüsselt nach WP-Systemen für die Jahre 2005 bis 2015.

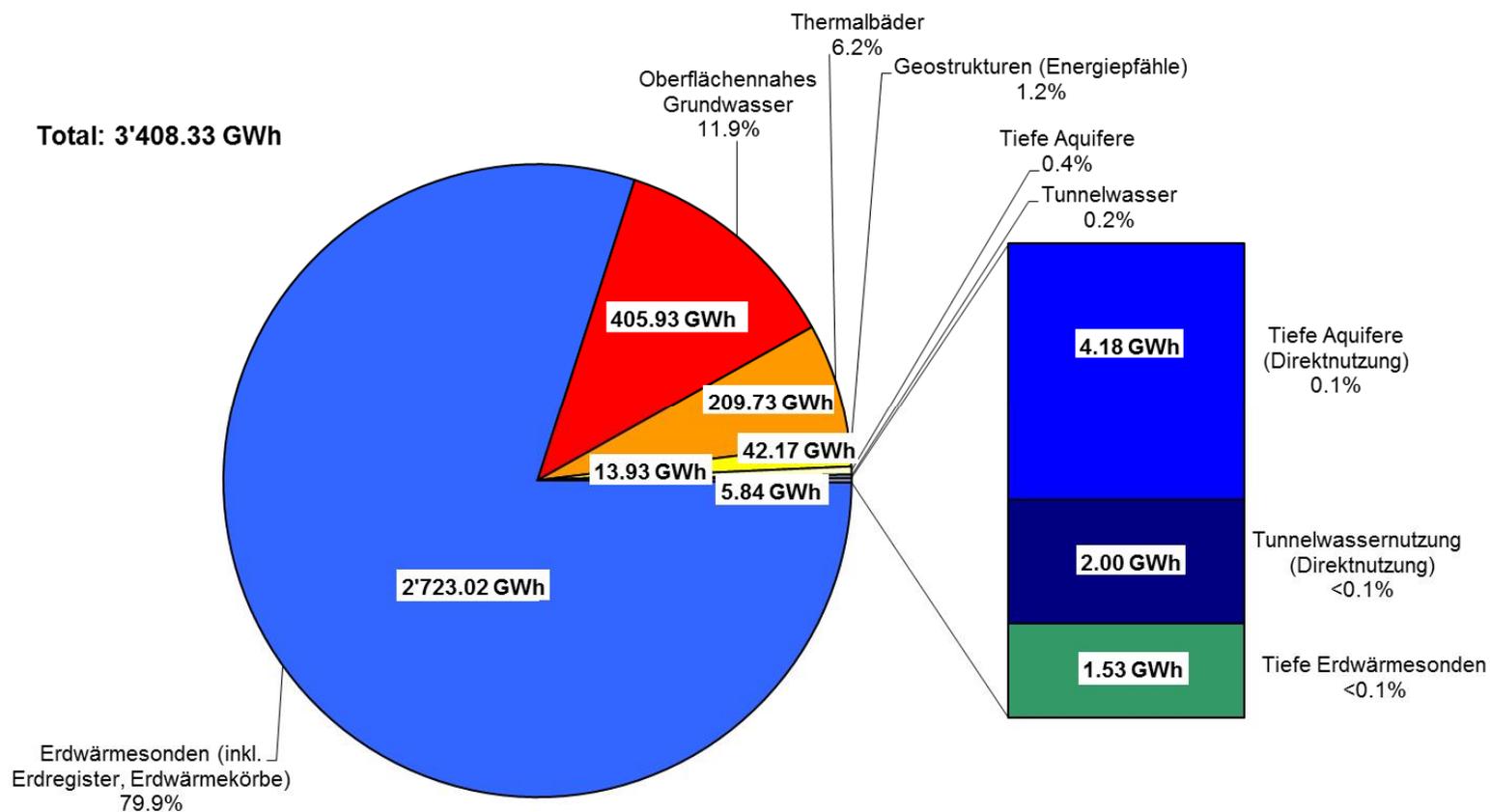


Figur 6: Diagramm mit Anteilen der installierten Heizleistung aufgeschlüsselt für WP-Systeme im Jahr 2015.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	%-Anteil 2015
Erdwärmesonden (inkl. Erdregister, Erdwärmekörbe)	1'030.8	1'102.0	1'229.8	1'493.4	1'642.2	2'068.1	1'979.1	2'341.5	2'626.1	2'385.3	2'723.02	79.9
Oberflächen- nahe Grund- wassernutzung	162.9	162.6	175.8	209.8	224.1	290.7	285.4	328.8	367.3	344.3	405.93	11.9
Thermalbäder	289.7	289.7	289.7	290.4	238.3	240.2	240.2	225.5	228.7	242.1	209.73	6.2
Geostrukturen (Energiepfähle)	16.3	17.8	18.4	21.5	24.7	25.3	30.7	31.4	33.6	39.5	42.17	1.2
Tiefe Aquifere	15.3	14.6	11.5	13.4	15.5	13.3	6.1	16.4	18.9	13.5	13.93	0.4
Tunnelwasser	4.2	4.6	4.4	4.3	4.1	4.6	5.7	5.6	6.5	5.8	5.84	0.2
Tiefe Aquifere (Direktnutzung)	3.4	3.0	2.7	2.1	1.8	0.7	0.3	1.8	2.4	3.1	4.18	0.1
Tunnelwasser (Direktnutzung)								2.0	2.0	2.0	2.00	< 0.1
Tiefe Erdwärmesonden	1.0	1.0	1.0	0.8	0.7	0.7	0.5	2.1	2.2	1.7	1.53	< 0.1
Total	1'523.5	1'595.2	1'733.2	2'035.8	2'151.5	2'643.1	2'548	2'955.0	3'287.6	3'037.3	3'408.33	

Tabelle 9: Heizenergie [GWh], aufgeschlüsselt nach geothermischen Systemen für die Jahre 2005 bis 2015.

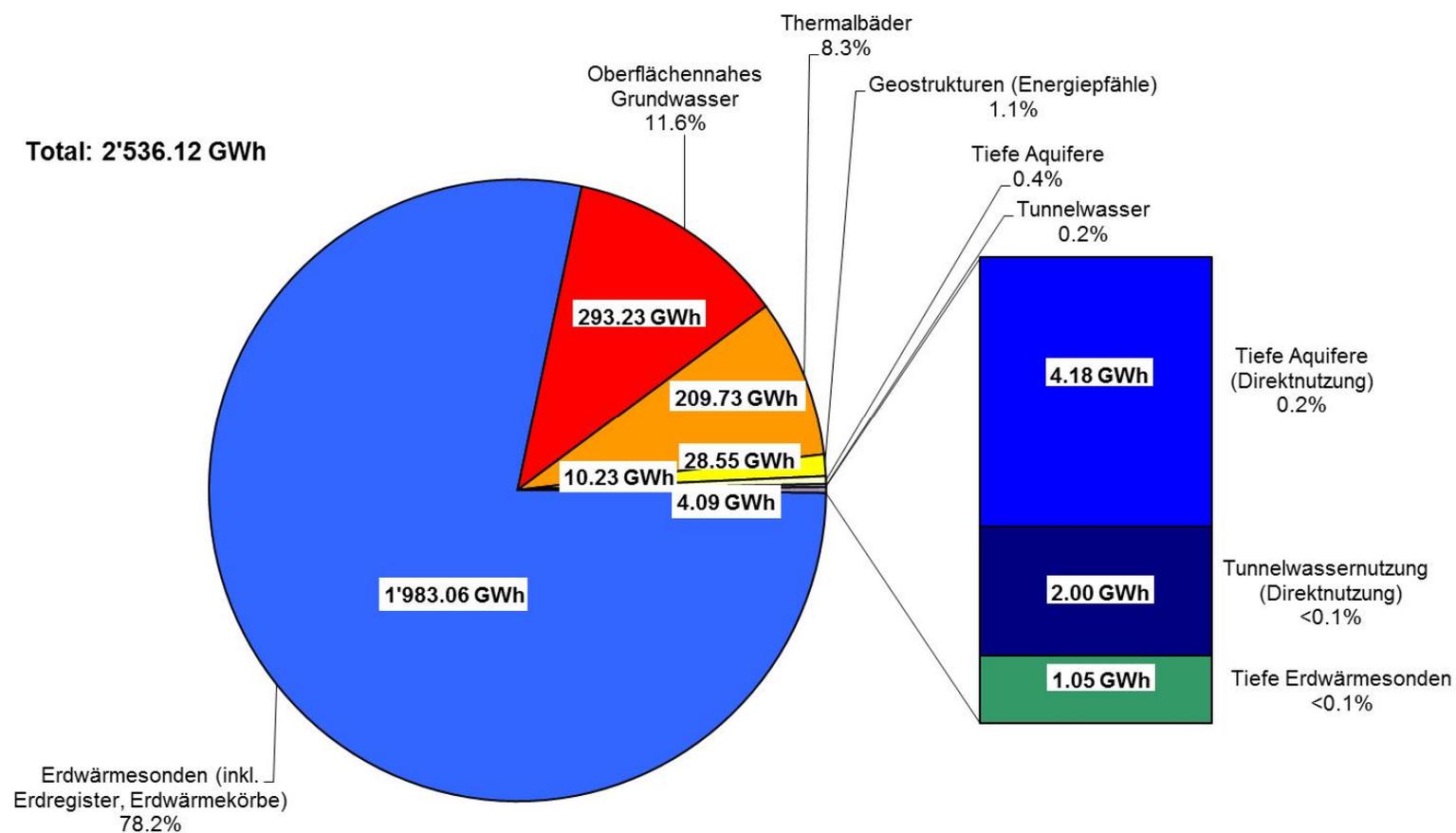
Die Werte repräsentieren effektive Betriebsdaten, abhängig von den Heizgradtagen in einem Jahr. Deshalb sind Schwankungen von Jahr zu Jahr möglich. 2015 war ein milder Winter mit nur 3'075 Heizgradtagen (im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt von 3'588 Heizgradtagen), jedoch nicht so mild wie das Vorjahr 2014.



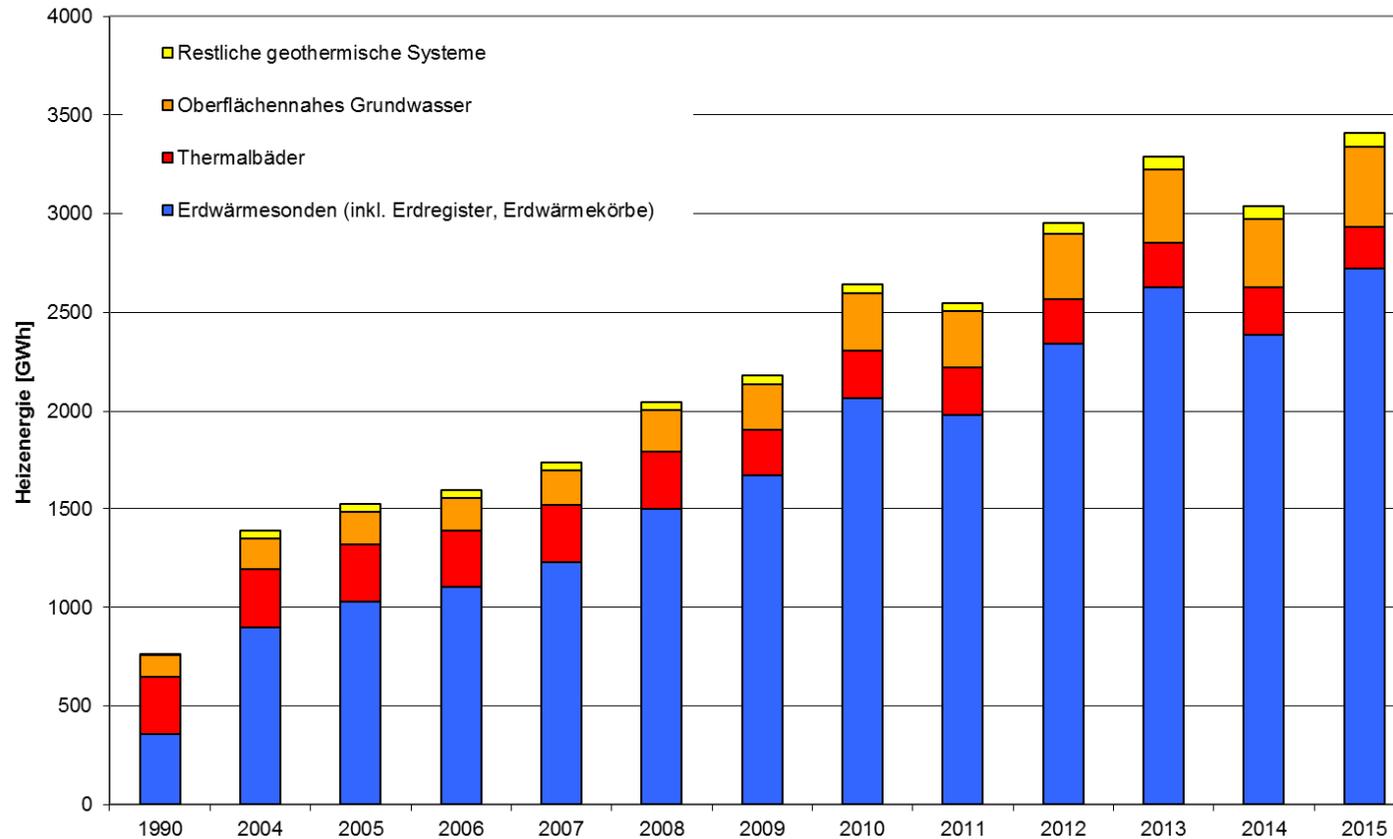
Figur 7: Diagramm mit Anteilen der Heizenergie aller geothermischen Systeme im Jahr 2015.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	%-Anteil 2015
Erdwärmesonden (inkl. Erdregister, Erdwärmekörbe)	725.5	781.0	876.0	1'063.9	1'176.1	1'477.6	1'430.1	1'688.5	1'893.5	1'739.5	1'983.06	78.2
Oberflächen- nahes Grund- wasser	110.9	111.7	121.9	145.8	158.9	206	204	234.4	261.4	248.8	293.23	11.6
Thermalbäder	304.6	304.6	304.6	290.4	238.3	240.2	240.2	225.5	228.7	242.1	209.73	8.3
Geostrukturen (Energiepfähle)	11.3	12.3	12.7	14.8	16.9	17.3	20.9	21.4	22.9	26.8	28.55	1.1
Tiefe Aquifere	10.7	10.3	8.0	9.3	10.8	9.1	4.2	12.1	14.7	9.9	10.23	0.4
Tunnelwasser	2.9	3.1	3.1	2.9	2.8	3.1	4.2	4	4.5	4.1	4.09	0.2
Tiefe Aquifere (Direktnutzung)	3.4	3.0	2.7	2.1	1.8	0.7	0.3	1.8	2.4	3.1	4.18	0.2
Tunnelwasser (Direktnutzung)								2.0	2.0	2.0	2.00	< 0.1
Tiefe Erd- wärmesonden	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	1.5	1.5	1.2	1.05	< 0.1
Total	1'155.1	1'211.9	1'314.8	1'529.8	1'606.1	1'954.5	1'904.4	2'191.1	2'431.5	2'277.5	2'536.12	

Tabelle 10: Geförderte geothermische (erneuerbare) Energie [GWh], aufgeschlüsselt nach geothermischen Systemen für die Jahre 2005 bis 2015. 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. 2015 war ein milder Winter mit nur 3'075 Heizgradtagen (im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt von 3'588 Heizgradtagen), jedoch nicht so mild wie das Vorjahr 2014.

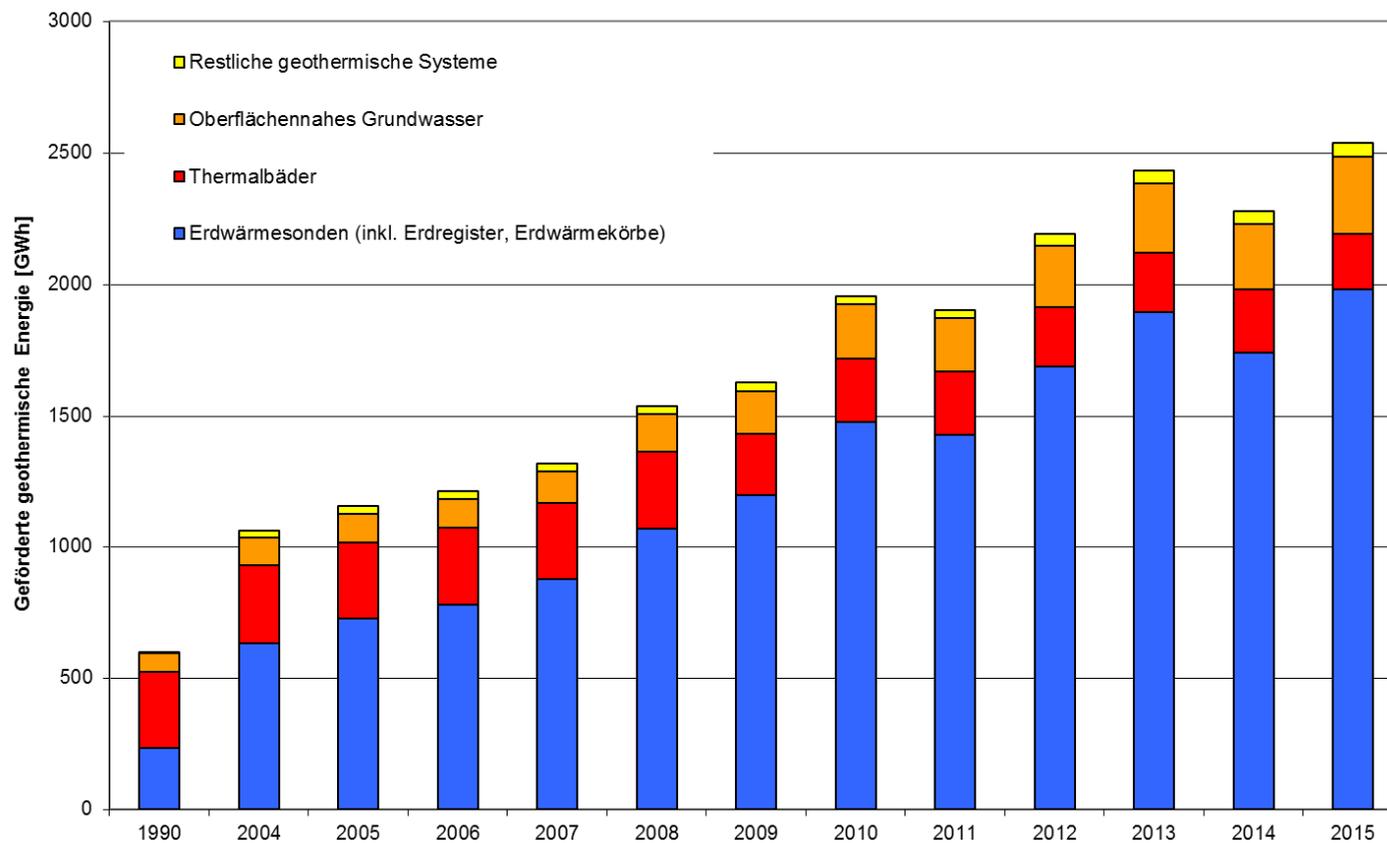


Figur 8: Diagramm mit Anteilen der geförderten geothermischen (erneuerbaren) Energie aller geothermischen Systeme im Jahr 2015.



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. 2015 war ein milder Winter mit nur 3'075 Heizgradtagen (im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt von 3'588 Heizgradtagen), jedoch nicht so mild wie das Vorjahr 2014.



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.

2015 war ein milder Winter mit nur 3'075 Heizgradtagen (im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt von 3'588 Heizgradtagen), jedoch nicht so mild wie das Vorjahr 2014.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorliegende Statistik der geothermischen Nutzung in der Schweiz wurde im Auftrag des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Sie basiert auf dem Berechnungsschema für die Elektro-Wärmepumpenstatistik (Basics, 2007) und auf Anlagenbetriebsdaten, 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 (Kaufmann, U., 2015). Ebenfalls benötigt wird diese Statistik für die Datenerhebungen der IEA-GIA (IEA Geothermal Implementing Agreement), des ERA-NET der EU und anderen mehr.

In der vorliegenden Studie wurden die Kennzahlen der geothermischen Nutzung in der Schweiz für 2015 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 Bohrm Metern 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 Anlagenbetreibern 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 die Thermalbäder-Nutzungen beruhen auf einer Erhebung von Geothermie-Schweiz von 2010, welche für 2015 weiter aktualisiert wurde. Die einzelnen Thermalbäder wurden kontaktiert und die bereits vorhandenen Angaben überprüft.

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 beiden SW-WP- Anwendungen Tiefe Erdwärmesonden und Geostrukturen (Kapitel 3.2.2 und 3.2.3) geschätzt. Für

die Nutzung aus Oberflächennahem Grundwasser mussten ebenfalls Annahmen getroffen werden. Hier wird davon ausgegangen, dass 80% der WW-WP-Anlagen auf Nutzungen des Grundwassers zurückgehen (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.

Die Anzahl der EWS-Systeme wächst stetig von Jahr zu Jahr. 2015 konnte wieder eine Zunahme an Erdwärmesondenanlagen von knapp 4% verzeichnet werden. Aufgrund des weniger milden Winters ist die durch EWS-Systeme produzierte Heizenergie im Vergleich zum Vorjahr um 337.7 GWh auf insgesamt 2'723.0 GWh gestiegen. Der Anteil der EWS-Systeme an der gesamten Heizenergie beträgt knapp 80%. Der Anteil der geothermischen und somit erneuerbaren Energie der EWS-Systeme liegt bei etwa 1'983.1 GWh.

Die weitere geothermische WP-Nutzung teilt sich auf in Oberflächennahes Grundwasser (405.93 resp. 293.23 GWh), Tiefe Erdwärmesonden (1.53 resp. 1.05 GWh), Geostrukturen (42.17 resp. 28.55 GWh), Tiefe Aquifere (13.93 resp. 10.23 GWh) und Tunnelwasser (5.84 resp. 4.09 GWh). Angegeben sind die Heizenergie resp. der geothermische (=erneuerbarer) Anteil. Nicht WP-abhängige Geothermie-Nutzungen sind mehrheitlich Thermalbäder-Anwendungen. Neben der Thermalbad-Nutzung erfolgt auch ein Anteil der Tiefen Aquifer-Nutzung in der Anlage Riehen (4.18 GWh) sowie bei der Tunnelwassernutzung am Lötschbergbasistunnel (Fischzucht) direkt ohne Wärmepumpe (2.0 GWh).

2015 betrug der Stromverbrauch aller geothermischer WP ca. 876 GWh. 2015 lag der totale Stromverbrauch der Schweiz gemäss Bundesamt für Energie bei 58'200 GWh. Der Anteil der geothermischen Wärmepumpen am gesamten Stromverbrauch ist mit 1.5% gering.

Im internationalen Vergleich steht die Geothermienutzung in der Schweiz gut da: Die Schweiz hat die höchste Flächendichte von Geothermie-Anlagen (Anzahl Anlagen pro km²) weltweit (Lund and Boyd, 2015).

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. Viele Kantone unterstützen geothermische Wärmepumpenanlagen durch finanzielle Zuschüsse für die Wärmepumpen, insbesondere beim Ersatz konventioneller Heizsysteme. Zusätzliche Fördermassnahmen durch z.B. Gemeinden oder Energieanbieter sind ergänzend möglich.

Die Nutzung der geothermischen Ressourcen führt einerseits zur Einsparung beim CO₂-Ausstoss, andererseits wird hier eine heimische Ressource verwendet. Im Jahr 2015 betrug die Einsparung an fossilen Brennstoffen durch die geothermische Nutzung ~299'100 Tonnen Heizöl, was einer Einsparung beim CO₂-Ausstoss von ~945'150 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 GEOTHERMIE.CH. Nr. 202 980 001.

Geowatt, 2010. Langzeiterfahrung mit Erdwärmesonden-Systemen in der Schweiz, Schlussbericht Bundesamt für Energie.

Kaufmann, U., 2014, Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Ausgabe 2013. Bundesamt für Energie, September 2014.

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.

Lund, J.W., Boyd, T.L., 2015. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review, *Proceedings of World Geothermal Congress 2015*, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.

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.

Signorelli, S., Andenmatten Berthoud, N., Kohl, T., Rybach, L., 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.

Signorelli, S., Sonnenfroh, F., Imhasly, S., Kohl, T., Rybach, L., 2009. Statistik der geothermischen Nutzung in der Schweiz, Ausgabe 2008 - Überarbeitung der Geothermiestatistik von 1990 bis 2008. Schlussbericht, GEOTHERMIE.CH.

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.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anzahl Wärmepumpen	36'551	42'440	48'460	55'343	62'535	68'663	74'178	79'403	84'141	88'218	91'542
Installierte Heizleistung [MW]	568.2	658.5	758.6	871.7	993.3	1'135.2	1'252.3	1'354.8	1'450.9	1'551.5	1'639.34
Wärmeproduktion [GWh]	1'048.1	1'120.8	1'249.2	1'515.8	1'667.6	2'094.1	2'010.4	2'375	2'661.9	2'426.5	2'766.72
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	737.6	794.0	889.5	1'079.2	1'193.5	1'495.4	1'451.5	1'711.4	1'917.9	1'767.5	2'012.66
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	70 %	71 %	71 %	71 %	72 %	71 %	72 %	72 %	72%	73%	72.7%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7

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.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anzahl Wärmepumpen	3'723	3'819	3'922	4'192	4'494	4'825	5'187	5'319	5'418	5'575	5'783
Installierte Heizleistung [MW]	112.6	121.7	130.8	150.3	167.0	191.5	211.5	226.6	242.5	265.3	286.18
Wärmeproduktion [GWh]	182.3	181.7	191.6	227.5	243.7	308.5	297.1	350.7	392.6	363.7	425.70
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	124.4	125.2	132.9	158.1	172.4	218.2	212.5	250.5	280.6	262.8	377.55
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	69 %	69 %	69 %	69 %	71 %	71 %	72 %	71 %	71 %	72%	72.2%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6

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.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anzahl Anlagen	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Installierte Heizleistung [MW]	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.78	0.78	0.78	0.78
Wärmeproduktion [GWh]	0.96	0.97	0.96	0.84	0.72	0.72	0.54	2.12	2.19	1.69	1.53
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	0.74	0.74	0.74	0.59	0.52	0.51	0.41	1.5	1.5	1.15	1.05
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	77 %	76 %	77 %	70 %	72 %	71 %	76 %	71 %	68%	68%	69%
Jahresarbeitszahl JAZ	4.2	4.4	4.4	3.3	3.6	3.5	4.2	3.4	3.1	3.1	3.2

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.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anzahl Anlagen	Anzahl der Anlagen unbekannt										
Installierte Heizleistung [MW]	7.9	8.6	8.9	10.4	11.9	12.2	14.8	15.1	16.2	19.0	20.33
Wärmeproduktion [GWh]	16.3	17.8	18.4	21.5	24.7	25.3	30.7	31.4	33.6	39.5	42.17
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	11.3	12.3	12.7	14.8	16.9	17.3	20.9	21.4	22.9	26.8	28.55
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	69 %	69 %	69 %	69 %	69 %	68 %	68 %	68 %	68 %	68%	68%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1

Beilage 5: Kennzahlen der Nutzung mit EWS, 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.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
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]	560.1	649.7	749.5	861.2	981.2	1'122.8	1'237.3	1'339.5	1'434.5	1'531.7	1'618.23
Wärmeproduktion [GWh]	1'030.8	1'102.0	1'229.8	1'493.4	1'642.2	2'068.1	1'979.1	2'341.5	2'626.1	2'385.3	2'723.02
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	725.5	781.0	876.0	1'063.9	1'176.1	1'477.6	1'430.1	1'688.5	1'893.5	1'739.5	1'983.06
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	70 %	71 %	71 %	71 %	72 %	71 %	72 %	72 %	72 %	73%	73%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7

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.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anzahl Wärmepumpen	3'711	3'808	3'911	4'181	4'483	4'814	5'175	5'307	5'406	5'562	5'771
Installierte Heizleistung [MW]	105.1	114.4	123.5	143.0	159.7	183.2	203.1	218.1	232.9	256.5	276.97
Wärmeproduktion [GWh]	162.9	162.6	175.8	209.8	224.1	290.7	285.4	328.8	367.3	344.3	405.93
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	110.9	111.7	121.9	145.8	158.9	206	204.1	234.4	261.4	248.8	293.23
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	68 %	69 %	69 %	69 %	71 %	71 %	71 %	71 %	71 %	72%	72%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6

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).

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anzahl Wärmepumpen	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7 ²⁾
Installierte Heizleistung [MW]	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	3.48 ¹⁾	3.54	3.6	3.7	3.8	3.8
Wärmeproduktion [GWh]	4.1	4.5	4.4	4.3	4.1	4.6	5.7	5.6	6.48	5.8	5.84
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	2.9	3.1	3.0	2.9	2.8	3.1	4.2	3.9	4.45	4.1	4.09
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	69 %	69 %	69 %	68 %	68 %	68 %	75 %	71 %	69%	70%	70%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.9	3.4	3.2	3.3	3.3

¹⁾ Inbetriebnahme Nahwärmeverbund Lötschbergbasistunnel,

²⁾ Davon nutzt eine Anlage Tunnelluft.

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.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anzahl Wärmepumpen	6	5 ²⁾	5	5	5	5	5	5	5	6	5 ⁷⁾
Installierte Heizleistung [MW]	5.05	4.95	4.95	4.95	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89	4.97 ¹⁾	5.4 ⁸⁾
Wärmeproduktion [GWh]	15.26	14.59 ⁵⁾	11.50 ^{3,5)}	13.37	15.52	13.28 ⁶⁾	6.06 ⁶⁾	16.4	18.85	13.47	13.93
Geothermische (erneuerbare) Energie [GWh]	10.66	10.33	8.02	9.30	10.78	9.12	4.19	12.13	14.69	9.92	10.23
Geothermischer (erneuerbarer) Wärmeanteil	70 %	71 %	70 %	70 %	69 %	69 %	69 %	74 %	78%	74%	73%
Jahresarbeitszahl JAZ	3.3	3.4	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.8	4.5	3.8	3.8

¹⁾ Wieder Inbetriebnahme Anlage Itingen

²⁾ Vorübergehende Einstellung des Betriebes Anlage Itingen

³⁾ Technische Probleme bei der Anlage Riehen

⁴⁾ Erhöhung der Produktion Anlage Kloten durch Ersatz der WP

⁵⁾ Technische Probleme bei der Anlage Kloten

⁶⁾ Revision der Anlage Riehen

⁷⁾ Die Anlage in Kreuzlingen wird ab 2015 unter den Thermalbädern erfasst

⁸⁾ Die installierte Leistung in Riehen wurde vom Betreiber nach oben korrigiert (3.5 anstatt 3.0 MW_{th})

Beilage 9: Kennzahlen der Direktnutzung von Tiefen Aquiferen durch die Anlage Riehen

Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.4.2. Bei der Nutzung ohne WP entspricht die reine geothermische Energie der Wärmeproduktion.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Anzahl Wärmepumpen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wärmetauscher genutzt ²⁾	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Installierte Heizleistung [MW]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Wärmeproduktion [GWh]	3.40	2.96	2.67	2.13	1.81	0.7 1)	0.3 1)	1.76	2.43	3.1	4.18

¹⁾ Revision der Anlage Riehen

²⁾ Ein weiterer dritter Wärmetauscher mit 0.750 MW ist als Redundanz vorhanden

Beilage 10: Kennzahlen der Thermalbad-Nutzung

Bei Abkühlung auf 10 °C. Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 3.4.3.

Thermalbad	Referenz	Schüttung [m ³ s ⁻¹]	Temperatur [°C]	Leistung [MW] ^{*)}	Wärme- produktion [GWh] ^{*)}
Adeer (GR)	Schamser Heilbad Adeer AG / Barandun 2015	1.17·10 ⁻³	19	0.04	0.37
Baden (AG)	Stäuble (Dr. Heinrich Jäckli AG) 2015	Betrieb vorübergehend eingestellt. Bad befindet sich in Revision.			
Bad Ragaz (SG)	Technische Betriebe / Schwengeler 2015	2.38·10 ⁻²	36.5	2.65	22.03
Bad Schinznach (AG)	Bad Schinznach AG / Karras 2015	7.78·10 ⁻³	41	1.01	8.43
Brigerbad (VS)	Geothermie Brigerbad AG / Schnidrig 2014	4.17·10 ⁻²	32-40	4.67	38.88
Kreuzlingen (TG)	Thermalbad Egelsee / Ehrbar 2015	5.87·10 ⁻⁴	28.5	0.05	0.38
Lavey-les-Bains (VD)	Bianchetti 2015	1.80·10 ⁻²	54/65	3.94	32.76
Leukerbad (VS)	Zumofen+Glenz 1999; Lindner Hotels & Alpentherme 2013	4.62·10 ⁻²	42/51.8	7.18	59.74
Lostorf (SO)	Bauverwaltung Lostorf (pers. Mitteilg, 2008)	Betrieb 2005 vorübergehend eingestellt.			
Ovronnaz (VS)	Thermalp les Bains d'Ovronnaz/Foro 2013	3.17·10 ⁻³	23.4	0.18	1.49
Saillon (VS)	Bains de Saillon/ Holenweg 2015	5.83·10 ⁻²	18-24	2.51	20.85
Stabio (TI)	Terme (pers. Mitteilung, 2000)	6.67·10 ⁻⁴	13	0.01	0.07
Val d'Illiez (VS)	Bianchetti 2015	2.50·10 ⁻²	25-30	1.84	15.29

Vals (GR)	Valsler Mineral- quellen/Hanimann 2015	Betrieb 2015 vorübergehend eingestellt.			
Yverdon- les-Bains (VD)	Centre Thermal Yverdon les Bains/Wyss 2014	$3.01 \cdot 10^{-3}$	28	0.23	1.90
Zurzach (AG)	Thermalquelle AG Zurzach/ Schäubli 2015	$7.26 \cdot 10^{-3}$	39.7	0.91	7.54
Total				25.22	209.73