

# **SIA 384/6 Erdwärmesonden – Normung in der Schweiz**

**Dr. Walter J. Eugster**

Polydynamics Engineering, CH-8048 Zürich  
info@polydynamics.ch



## Inhalt:

- Überblick Wärmepumpen in der Schweiz
- Qualitätssicherung in der Schweiz
- BAFU-Vollzugshilfe
- SIA-Norm 384/6 Erdwärmesonden
- Bemessung von „einfachen“ Anlagen
- Schlussbemerkung

Beispiel Bemessung nach SIA 384/6



## Überblick Wärmepumpen in der Schweiz

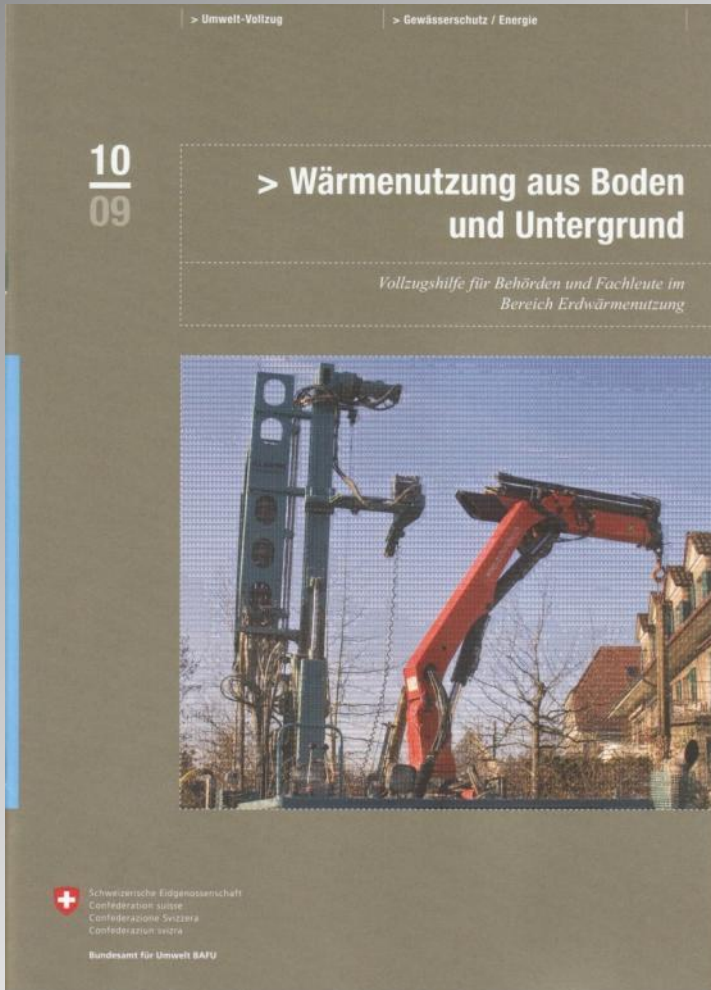
- 150'000 WP-Anlagen in der Schweiz
  - davon ca. 45% Sole-Wasser-Anlagen
  - ca. 50% Luft-Wasser-Anlagen
  - Rest: Wasser-Wasser-Anlagen
- Sole-Wasser-Anlagen: überwiegend mit Erdwärmesonden
- Kaum Direktverdampfer-Anlagen
- Kaum Horizontalregister
- Kaum Wärmerohre
  
- Sanierungsmarkt vergrössert sich stetig
  
- Zunahme von „Gross-Anlagen“



## Qualitätssicherung in der Schweiz

- DACH-Gütesiegel für Wärmepumpen
  - etabliert
  - Basis für Subventionen/Beihilfen etc.
  - wird renoviert
- FWS-Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrfirmen
  - Erfolg in der Branche
  - Endkunden verlangen Gütesiegel
  - Vergünstigungen sind an Gütesiegel gebunden
- Kein Gütesiegel für Installateure / Planer
  - SIA-Norm 284/6, BAFU-Praxishilfe
- FWS Fachpartner mit Zertifikat (Installateure)





Vorschriften aus Sicht des  
Gewässerschutzes



Vorschriften aus Sicht der Technik zur  
Gewährleistung eines sicheren Betriebes  
über die gesamte Lebensdauer



## **BAFU-Praxishilfe „Wärmenutzung aus Boden und Untergrund“**

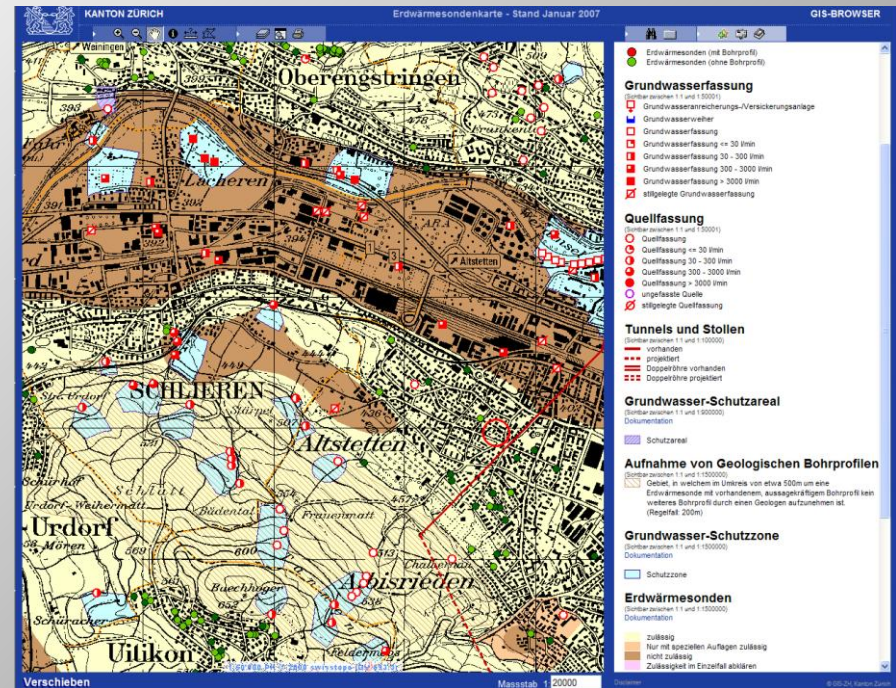
- **Rechtsgrundlage:**
  - u.a. Gewässerschutzgesetz
- **Zweck:**
  - Vollzugshilfe für Behörden und Fachleute
  - Aufzeigen von rechtskonformen Lösungen
- **Gegenstand:**
  - Erdwärmesonden
  - Erdregister, Wärmekörbe, Energiepfähle
  - Grundwasserwärmenutzung



# BAFU-Praxishilfe „Wärmenutzung aus Boden und Untergrund“

## Inhalt (bezüglich EWS):

- Empfehlungen an die kantonale Gewässerschutzbehörden:
  - Kriterien für Standortbeurteilung
  - Erstellen von Erdwärmnutzungskarten (zulässig, nicht zulässig, mit besonderen Auflagen zulässig)



## **BAFU-Praxishilfe „Wärmenutzung aus Boden und Untergrund“**

### **Inhalt (bezüglich EWS):**

- Empfehlungen an die kantonale Gewässerschutzbehörden:
  - Formulierung von Standardauflagen als Bewilligungsbeilage (Bau- und Betriebsphase; Stilllegung)
    - Planung/Einbau der EWS nach SIA 384/6
    - Anforderungen an Bohrgeräte und Bohrverfahren
    - Anforderungen an das Bohrpersoneal
    - Anforderungen an das eingesetzte Material
    - Anforderungen an die Arbeitsweise
    - Anforderung an die Hinterfüllung (Zeitpunkt, Ausführung, Material)





## **BAFU-Praxishilfe „Wärmenutzung aus Boden und Untergrund“**

### **Empfohlene Standardauflagen (für EWS-Bewilligungen), Auszug:**

- Die Planung und der Einbau der Erdwärmesonden hat gemäss SIA 384/6 zu erfolgen.
- Die Bohrtiefe ist so zu wählen, dass die Einsatzgrenzen des eingebauten Materials eingehalten werden und eine fachtechnisch einwandfreie Hinterfüllung des Bohrlochringraumes gewährleistet ist.
- Es dürfen nur Bohrgeräte und -verfahren eingesetzt werden, die für den anstehenden Baugrund geeignet sind. Es sind nur Bohrfirmen zuzulassen, die gewährleisten, dass der Stand der Technik eingehalten wird (z.B. Firmen mit FWS-Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrfirmen).
- Das eingesetzte Bohrgerät muss mit allen erforderlichen Materialien für die Intervention in ausserordentlichen Situationen ausgerüstet sein.
- Die Erdwärmesonde ist bei gesetzter Verrohrung ohne Verzug nach Einsetzen in das Bohrloch vom Bohrlochfuss her mit einer aushärtenden Suspension bis zur Oberfläche vollständig und lückenlos zu hinterfüllen. Die Hinterfüllung ist über ein beim Sondenfuss befestigtes, im Bohrloch verbleibendes zusätzliches Rohr vorzunehmen.



## **BAFU-Praxishilfe „Wärmenutzung aus Boden und Untergrund“**

### **Anforderungen an die Hinterfüllung, Auszug:**

- **Stabilität der Mischung**
  - Die Mischung soll genügend thixotrop sein und weder Sedimentation noch Entmischung ermöglichen
  - Absetzmass: max. 2% der Bohrtiefe bzw. max. 5m
- **Durchlässigkeitsbeiwert**
  - $K_f \leq 1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$
- **Dichte der fertigen Suspension**
  - Keine Dichtevorgabe bei Fertigmischungen. Der Hersteller gibt eine minimale Dichte der Suspension an. Die Mischungsvorgaben des Herstellers sind zwingend einzuhalten.
  - Baustellenmischung: spezifisches Gewicht der Suspension von 1.1 - 1.2 g/cm<sup>3</sup> beim Eintritt in das Bohrloch.
  - Es muss ein Mischprotokoll verwendet werden. Kontrolle des Mischungsgewichtes auf Baustelle mit Haushaltswaage und Einheitsgefäss



## **BAFU-Praxishilfe „Wärmenutzung aus Boden und Untergrund“**

### **Anforderungen an die Hinterfüllung, Auszug (Forts.):**

- **Dauerhaftigkeit**
  - Sulfatbeständig: muss in Gebieten mit sulfathaltigem Gestein garantiert sein. Vorgaben durch Fachstellen.
- **Anfangs- und Endfestigkeit**
  - Druckfestigkeit nach 3 Tagen:  $\geq 0.3 \text{ N/mm}^2$
  - Druckfestigkeit nach 7 Tagen:  $\geq 1.0 \text{ N/mm}^2$
  - Druckfestigkeit nach 28 Tagen:  $\geq 1.5 \text{ N/mm}^2$
- **Umweltverträglichkeit**
  - Die Bestandteile der Hinterfüllung dürfen nicht umweltgefährdend sein.
- **Wärmeleitfähigkeit, Fließfähigkeit, Pumpbarkeit**
  - Keine Vorgaben
- **Frostsicherheit**
  - Vorläufig keine Vorgaben
  - Falls notwendig können solche Vorgaben durch die Fachverbände empfohlen und durch die Gewässerschutzfachstellen angeordnet werden.



## SIA-Norm 384/6 Erdwärmesonden

### Zweck:

Massgebend für Planung, Ausführung und Betrieb von Erdwärmesonden, welche das Wärmepotenzial des Untergrundes zu Heiz- und Kühlzwecken von Gebäuden nutzen.

Regelung der Anforderungen und Qualitätskriterien an das Bauwerk und der Abgrenzung gegenüber anderen Gewerken zu regeln, um dem Bauherrn ein über die gesamte berechnete Nutzungsdauer funktionierendes Gesamtsystem übergeben zu können.

### Gegenstand:

Primärkreis von Sole-Wasser-Wärmepumpen (Erdwärmesonden)



## SIA-Norm 384/6 Erdwärmesonden

### Inhalt:

Normative Regelung der folgenden Punkte:

- **Projektierung**
  - Nutzungsarten (Heizen + Kühlen, Leistung, Bedarfsprofil)
  - Standort (Klima, geophysikalische Parameter, Platzierung)
- **Berechnung und Auslegung**
  - Anforderungen an die Auslegung
  - Berechnung der EWS (einfache Anlagen, komplexe Anlagen)
  - Auslegung und Hydraulikberechnung des Solekreises
  - Grundsätze der Systemoptimierung (Wirtschaftlichkeit, Erneuerung Nachladung)



## Inhalt (Forts.):

Normative Regelung der folgenden Punkte:

- **Anforderungen an Baustoffe und Konstruktion**
  - Erdverlegtes Rohrmaterial
  - Verbindungstechnik
  - Abdichtung (Bohrung und Gebäude)
  - Wärmedämmung
  - Wärmeträger
  - Sicherheitseinrichtung
  - Messgrößen für den Betrieb
  
- **Ausführung**
  - Bohrausrüstung
  - Bohrung
  - Einbau
  - Hinterfüllung
  - Anschluss der EWS
  - Füllen der EWS
  - Dokumentation auf der Anlage



## Inhalt (Forts.):

Normative Regelung der folgenden Punkte:

- **Prüfungen**
  - Prüfung der EWS (Spülen, Durchflussprüfung, Dichtheitsprüfung  
→ in Anlehnung nach SN EN 805)
  - Rohrverbindungen
  - Frostschutz
- **Betrieb und Wartung**
  - Wartung
  - Abweichung des Wärmebedarfs
  - Bauheizung
  - Bauaustrocknung
  - Stilllegung



## Inhalt (Forts.):

### Anhänge (Normativ und Informativ):

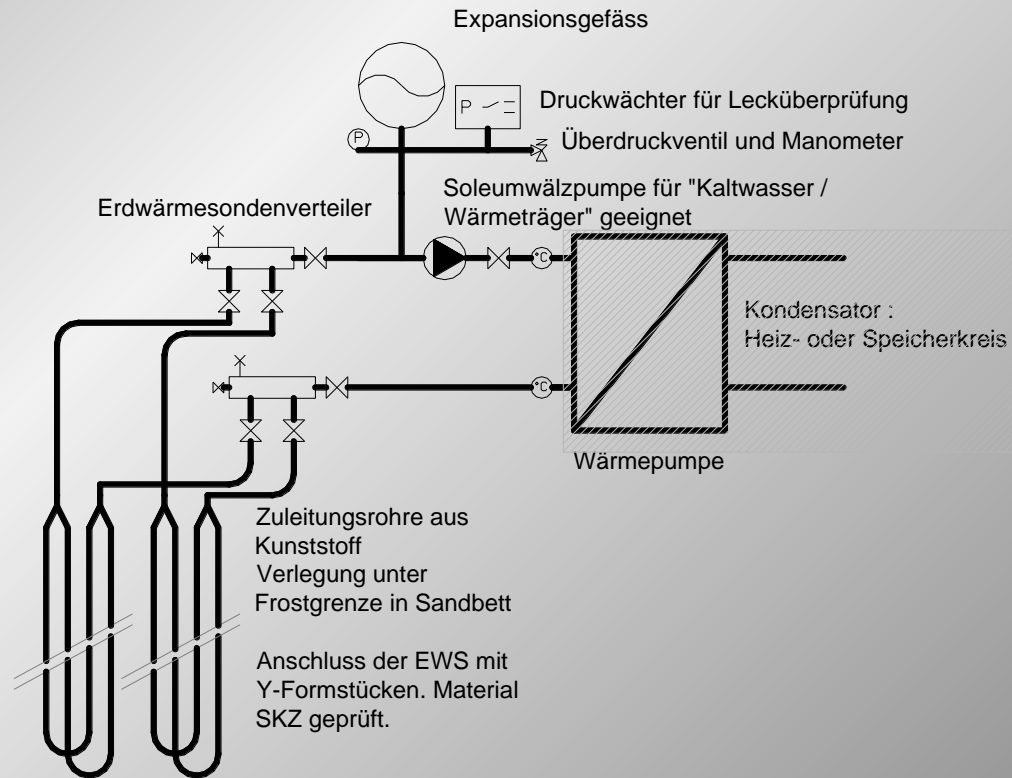
- **Protokolle (N)** → Bohrprotokoll, Prüf- und Abnahmeprotokoll
- **Prüfungen (N)** → Durchflussprüfung, Dichtheitsprüfung in Anlehnung an SN EN 805
- **Kennwerte (I)** → Bodentemperatur, Bodenoberflächentemperatur, Boden- und Stoffkennwerte, Wärmeträger
- **Projektierungshinweise (I)** → Bewilligung, Geologie, vereinfachtes Berechnungsverfahren für einfache Anlagen, für komplexe Anlagen, Druckverlustberechnung
- **Ausrüstung der Bohrunternehmung (N)**  
→ Standardausrüstung, Ausrüstung zur Arteserintervention, Ausrüstung zur Gasintervention
- **Ausführung (I)** → Bohrverfahren, Hinterfüllung, Anschluss der EWS, Spüldauer





## Wichtigste Inhalte:

- **Vorgeschriebene Minimalausrüstung für die EWS-Kreise:**



Figur: aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich



## Wichtigste Inhalte (Forts.):

- EWS werden auf 50 Betriebsjahre und eine minimale Wärmeträger-temperatur von  $-1.5^{\circ}\text{C}$  ausgelegt.
- Berücksichtigung von laminarer bzw. turbulenter Strömung.
- Auslegungsergebnis: Anzahl, Tiefe und Abstand der EWS
- Vereinfachtes Auslegeverfahren für „einfache“ Anlagen bis 4 EWS
  
- Sonden aus geprüftem Material, Sondenrohre und Sondenfuss sind werkseits zu verschweissen und auf Dichtheit zu prüfen.
- EWS aus PE: PN100, PN 16
  
- Es ist sicherzustellen, dass beim Einbau die zulässigen Druckbereiche nicht überschritten werden:  
z.B. bei PE100, PN 16:  
Rohrinnendruck < Rohraussendruck + 8 bar  
Rohraussendruck < Rohrinnendruck + 21 bar



## Wichtigste Inhalte (Forts.):

- Aus den Druckgrenzen und der Dichte der Hinterfüllung ergeben sich „Systemgrenzen“:

EWS-Länge	Dichte der Hinterfüllung				
	1200 kg/m <sup>3</sup>	1400 kg/m <sup>3</sup>	1600 kg/m <sup>3</sup>	1800 kg/m <sup>3</sup>	2000 kg/m <sup>3</sup>
40 m	0,8 bar	1,6 bar	2,4 bar	3,1 bar	3,9 bar
60 m	1,2 bar	2,4 bar	3,5 bar	4,7 bar	5,9 bar
80 m	1,6 bar	3,1 bar	4,7 bar	6,3 bar	7,8 bar
100 m	2,0 bar	3,9 bar	5,9 bar	7,8 bar	9,8 bar
120 m	2,4 bar	4,7 bar	7,1 bar	9,4 bar	11,8 bar
140 m	2,7 bar	5,5 bar	8,2 bar	11,0 bar	13,7 bar
160 m	3,1 bar	6,3 bar	9,4 bar	12,6 bar	15,7 bar
180 m	3,5 bar	7,1 bar	10,6 bar	14,1 bar	17,7 bar
200 m	3,9 bar	7,8 bar	11,8 bar	15,7 bar	19,6 bar
220 m	4,3 bar	8,6 bar	12,9 bar	17,3 bar	21,6 bar
240 m	4,7 bar	9,4 bar	14,1 bar	18,8 bar	23,5 bar
260 m	5,1 bar	10,2 bar	15,3 bar	20,4 bar	25,5 bar
280 m	5,5 bar	11,0 bar	16,5 bar	22,0 bar	27,5 bar
300 m	5,9 bar	11,8 bar	17,7 bar	23,5 bar	29,4 bar
320 m	6,3 bar	12,6 bar	18,8 bar	25,1 bar	31,4 bar
340 m	6,7 bar	13,3 bar	20,0 bar	26,7 bar	33,4 bar
360 m	7,1 bar	14,1 bar	21,2 bar	28,3 bar	35,3 bar
380 m	7,5 bar	14,9 bar	22,4 bar	29,8 bar	37,3 bar
400 m	7,8 bar	15,7 bar	23,5 bar	31,4 bar	39,2 bar

Der maximal zulässige Differenzdruck von aussen nach innen bei U-Rohr-EWS SDR 11 beträgt 8 bar.

Einbau der EWS ohne Vorbehalt zugelassen

Erdwärmesonden können nur hinterfüllt werden, wenn der Kopf dicht verschlossen ist. Die Druckprüfung kann erst gemacht werden, wenn die Hinterfüllung eine Mindestfestigkeit erreicht hat.

Es können keine PE-100 SDR 11 Erdwärmesonden mehr eingebaut werden, da der Kopfdruck bei verschlossenen Erdwärmesonden den kurzfristig maximal zulässigen Druck von 21 bar bei PE-100 SDR 11 Rohren überschreitet.

Tabelle: aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich



## Wichtigste Inhalte (Forts.):

### • Ausrüstung der Bohrunternehmung

#### E.2 Standardausrüstung

Ausrüstung für Erdwärmesondenbohrungen:

- Gestänge und Verrohrung
- Spülungskopf (Luft- oder Stützspülung)
- Anschlussmöglichkeit am Bohrgerät zum Totpumpen von Artesern

Verrohrungskopf, bestehend aus:

- abgedichteter Gestängedurchführung
- Ableitungsanschluss für Bohrgut-Förderschläuche
- mindestens 2 Anschlussmuffen für Wasser und Manometer

Bohrgutfassung:

- druck- und knickfeste Bohrgut-Förderschläuche (z.B. Betonförderschlauch)
- Anschlussstück für Bohrgutmulde (Pfeife)
- gedeckte Mulde
- Einrichtung zum Umpumpen bei hohem Wasseranfall

Einbaueinrichtung für Erdwärmesondenrohre:

- Haspel (ab 50 m EWS-Länge erforderlich)
- Einführungsschutz beim Bohrlochkopf
- Einrichtung am Haspel, um die EWS direkt füllen und abpressen zu können
- Bremsenrichtung am Haspel ab 150 m EWS-Länge

Hinterfüllungsausrüstung:

- Vorrichtung für das Anrichten einer pumpfähigen Suspension mit gleichmässiger Konsistenz:
  - Durchlaufmischer für Fertigmischungen (mit Regulierung der Suspensionsdichte)
  - Bei aus Einzelkomponenten zusammengesetzten Hinterfüllungen oder chargenweisem Einbringen:
    - Wanne mit Spülpumpe und Mischtrichter
    - Zwangsmischer mit Suspensionsbehälter und Einpresspumpe
- Einrichtung zum Bestimmen der eingepressten Suspensionsmenge und deren Zusammensetzung
- Injektionspumpe

Darstellung: aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich



## Wichtigste Inhalte (Forts.):

### • Ausrüstung der Bohrunternehmung

#### E.3 Ausrüstung zur Arteserintervention

Vorrichtung zum Bestimmen des Artesers:

- Mengenummessung (l/min, z.B. über Wasserstandsmessung in der Schlammmulde)
- Druckmessung (Satz Manometer 0 bis 6 bar, 0 bis 16 bar)
- Trübungsmessung (Sichtweite der Zahlen beim Doppelmeter)
- Sedimentanteil (Massbecher)

Für die Sofortintervention:

- Druckkopf zum Totpumpen
- Hauptanschluss zum Totpumpen, absperrbar
- Anschlussmöglichkeit für Manometer
- Gewebetank für die Sofortintervention
- Erdwärmesonden-Gewebepacker für die Abdichtung der Erdwärmesondenbohrung
- Einrichtung zum Umpumpen bei hohem Wasseranfall ()

Bei Bedarf für die Sanierung nach Absprache mit den Fachleuten:

- Zusatzmulden (Absetzbecken und Auffangwannen)
- Tauchpumpe(n) zum Ableiten
- Ableitungsschläuche
- Abtransportmöglichkeiten (Saugwagen, Druckfass usw.)
- Vorrichtung für chargenweise Anmischung von beschwerter oder/und thixotroper Hinterfüllung (Zusatzeinrichtung bei Durchlaufmischern, evtl. Zusatzbehälter)
- Zuschlagstoffe (Zement, Bentonit, Schwerspat usw.)
- Erdwärmesonden-Gewebepacker (Abdichtung mit EWS) oder Vollpacker (Abdichtung ohne EWS) je nach Anforderung
- Injektionspumpe mit genügender Pumpleistung
- Spülungswaage
- Zusatzinjektionsschläuche
- Schlammpumpe

Informationen:

- Arteser sind den Behörden zu melden
- Ableitung von Wasser nach Rücksprache mit Klärwärter und Grundstückbesitzer
- Bei schwierigen Artesern Drittfirmen für Abdichtungen beiziehen nach Rücksprache mit Experten

Darstellung: aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich



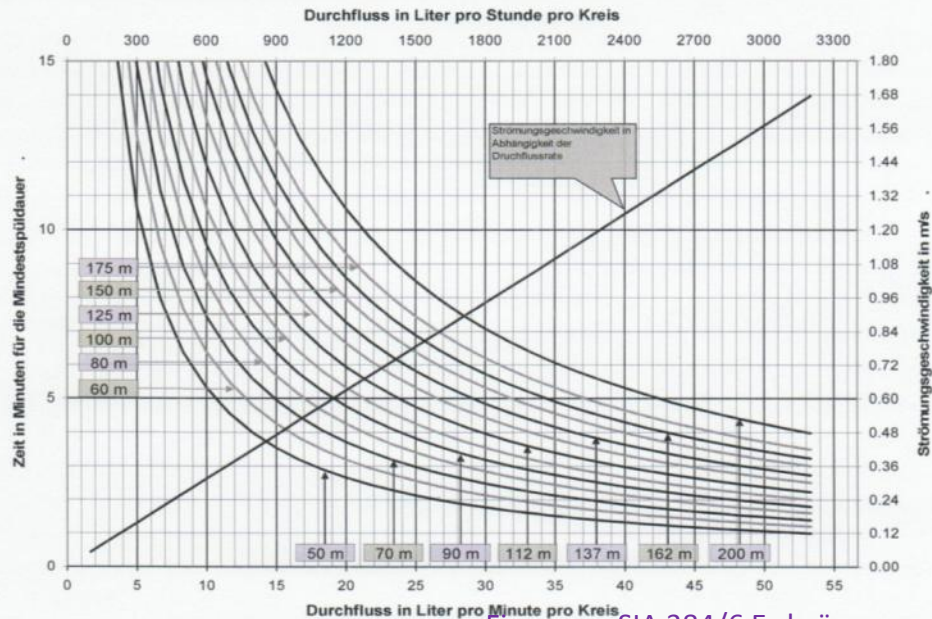
## Wichtigste Inhalte:

- **Abnahmeprüfungen der Erdwärmesonde:**
  1. Spülen der Kreisläufe → Reinigung der Rohre

### F.5 Spüldauer

Die Erdwärmesonde muss so lange gespült werden, bis das saubere Wasser mindestens einen vollen Umgang durch den Kreis zurücklegt hat. In den folgenden Diagrammen ist für verschiedene Längen und Durchmesser die entsprechende Mindestspüldauer in Abhängigkeit der Durchflussrate angegeben.

Figur 32 Mindestspüldauer für einen Umgang pro Kreis bei EWS  $\varnothing$  32 mm



Figur: aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich



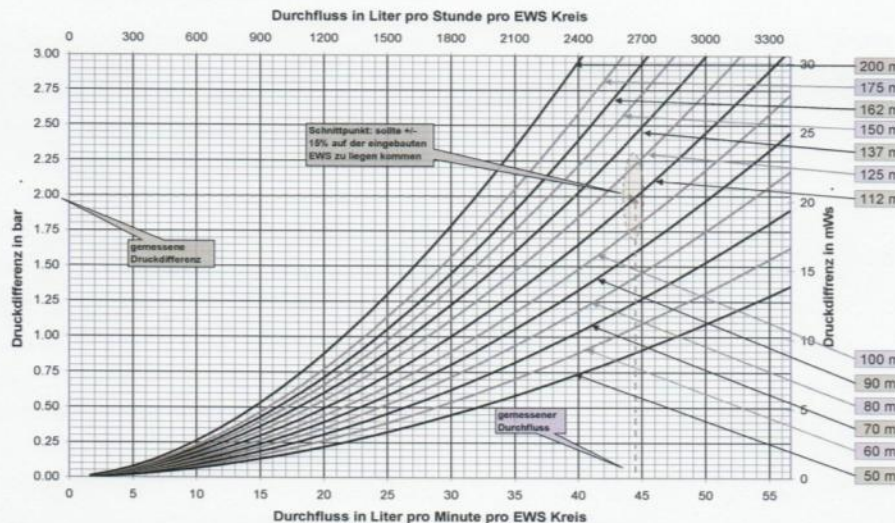
## Wichtigste Inhalte:

- **Abnahmeprüfungen der Erdwärmesonde:**
  2. Durchflussprüfung → Nachweis normaler hydraulischer Widerstand

### B.1 Durchflussprüfung

Die Durchflussprüfung pro Erdwärmesonde kann pro Einzelkreis oder mit beiden Kreisen gemeinsam inkl. allfälliger Verlängerungen (doppelte Durchflussrate, Zuleitung zu EWS dazuzählen) durchgeführt werden. Die Abweichung von der berechneten Druckdifferenz zur Messung darf  $\pm 15\%$  nicht überschreiten (siehe Figuren 2 und 3). In den folgenden Diagrammen sind für verschiedene Längen und Durchmesser die entsprechenden Druckdifferenzen zwischen Ein- und Austritt der EWS in Abhängigkeit der Durchflussrate angegeben. Die Resultate sind in ein Protokoll gemäss A.2 einzutragen.

Figur 2 Durchflussdiagramm EWS  $\varnothing$  32x26 mm pro Kreis bei Wasser 15°C und verschiedenen Erdwärmesondenlängen



Figur: aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich



## Wichtigste Inhalte:

- **Abnahmeprüfung der Erdwärmesonde:**
  3. Dichtheitsprüfung → Kompressionsprüfung in Anlehnung an EN 805

### Prüfdruck

**Tabelle 4** Minimal notwendiger Prüfdruck für Erdwärmesonden in Abhängigkeit der Hinterfüllung und Erdwärmesondenlänge

EWS-Länge	Dichte der Hinterfüllung				
	1200 kg/m <sup>3</sup>	1400 kg/m <sup>3</sup>	1600 kg/m <sup>3</sup>	1800 kg/m <sup>3</sup>	2000 kg/m <sup>3</sup>
40 m	8 bar	8 bar	8 bar	9 bar	10 bar
60 m	8 bar	8 bar	10 bar	11 bar	12 bar
80 m	8 bar	9 bar	11 bar	13 bar	16 bar
100 m	8 bar	10 bar	12 bar	16 bar	16 bar
120 m	8 bar	11 bar	14 bar	16 bar	16 bar
140 m	9 bar	11 bar	16 bar	16 bar	16 bar
160 m	9 bar	13 bar	16 bar	16 bar	16 bar
180 m	10 bar	14 bar	16 bar	16 bar	16 bar
200 m	10 bar	16 bar	16 bar	16 bar	16 bar
220 m	10 bar	16 bar	16 bar	16 bar	keine EWS
240 m	11 bar	16 bar	16 bar	16 bar	keine EWS
260 m	11 bar	16 bar	16 bar	16 bar	keine EWS
280 m	11 bar	16 bar	16 bar	keine EWS	keine EWS
300 m	12 bar	16 bar	16 bar	keine EWS	keine EWS
320 m	13 bar	16 bar	16 bar	keine EWS	keine EWS
340 m	14 bar	16 bar	16 bar	keine EWS	keine EWS
360 m	14 bar	16 bar	keine EWS	keine EWS	keine EWS
380 m	15 bar	16 bar	keine EWS	keine EWS	keine EWS
400 m	16 bar	16 bar	keine EWS	keine EWS	keine EWS

Der maximal zulässige Prüfdruck für PE-100 SDR 11 beträgt 21 bar.

- Dichtheitsprüfung ohne Vorbehalt zugelassen
- Erdwärmesonden können nur eingebaut werden, wenn der Kopf dicht verschlossen ist. Die Dichtheitsprüfung kann erst gemacht werden, wenn der Kopfdruck unter 8 bar gefallen ist. Die angegebenen Werte gehen von einem Kopfdruck von 8 bar aus.
- Es können keine Erdwärmesonden mehr eingebaut werden.

Tabelle: aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich





## Wichtigste Inhalte:

- **Abnahmeprüfung der Erdwärmesonde:**

- 3. Dichtheitsprüfung → Kompressionsprüfung in Anlehnung an EN 805

### Ablauf

#### Durchführung der Dichtheitsprüfung

- 1 h Ruhezeit der zu messenden Rohre in nicht belastetem Zustand ①
- Aufbauen des Prüfdruckes bei U-Rohr-EWS PN 16 bar nach **Tabelle 4** oder bis zum maximal zulässigen Prüfdruck nach Herstellerangaben. ②
- 10 Min Aufrechterhalten des Prüfdruckes ③ bis ③E
- 1 h Wartezeit. Während dieser Zeit kann das Rohr vollständig expandieren ③E bis ④.
- Messung des verbleibenden Druckes ④. Die Abnahme, verursacht durch die Rohr-expansion, darf nicht grösser sein als vom Sondenhersteller angegeben. Grössere Abweichungen sind auf Lufteinschlüsse oder Leckagen zurückzuführen. Die Prüfung ist bei Punkt a) wieder zu beginnen.
- Rasche Druckentlastung um 10% des Prüfdruckes, minimal 1 bar, durch Ablassen von Wasser. Die abgelassene Wassermenge und der neue Druckwert ist zu messen ⑤. Kontrolle der Wassermenge nach Tabelle 5, multipliziert mit der Erdwärmesondenlänge. Eine grössere Ablassmenge ist auf Lufteinschlüsse zurückzuführen. Die Prüfung ist bei Punkt a) wieder zu beginnen.
- 10 Min 1. Druckmessung ⑥A
- 20 Min 2. Druckmessung ⑥B
- 30 Min 3. und letzte Druckmessung ⑥C

Die Dichtheitsprüfung ist bestanden, wenn vom Maximum (Bei Handmessungen 1.te Messung, ⑥A) an bis zu ⑥C ein maximaler Druckabfall von weniger als 0,1 bar festzustellen ist.

Material: Manometer mit einer Auflösung besser 0,01 bar; Druckbereich entsprechend der Prüfung; 2 Schieber; Entlüftung; Druckpumpe; Messbecher 1 l; Alle Anschlüsse sind auf 21 bar auszulegen.

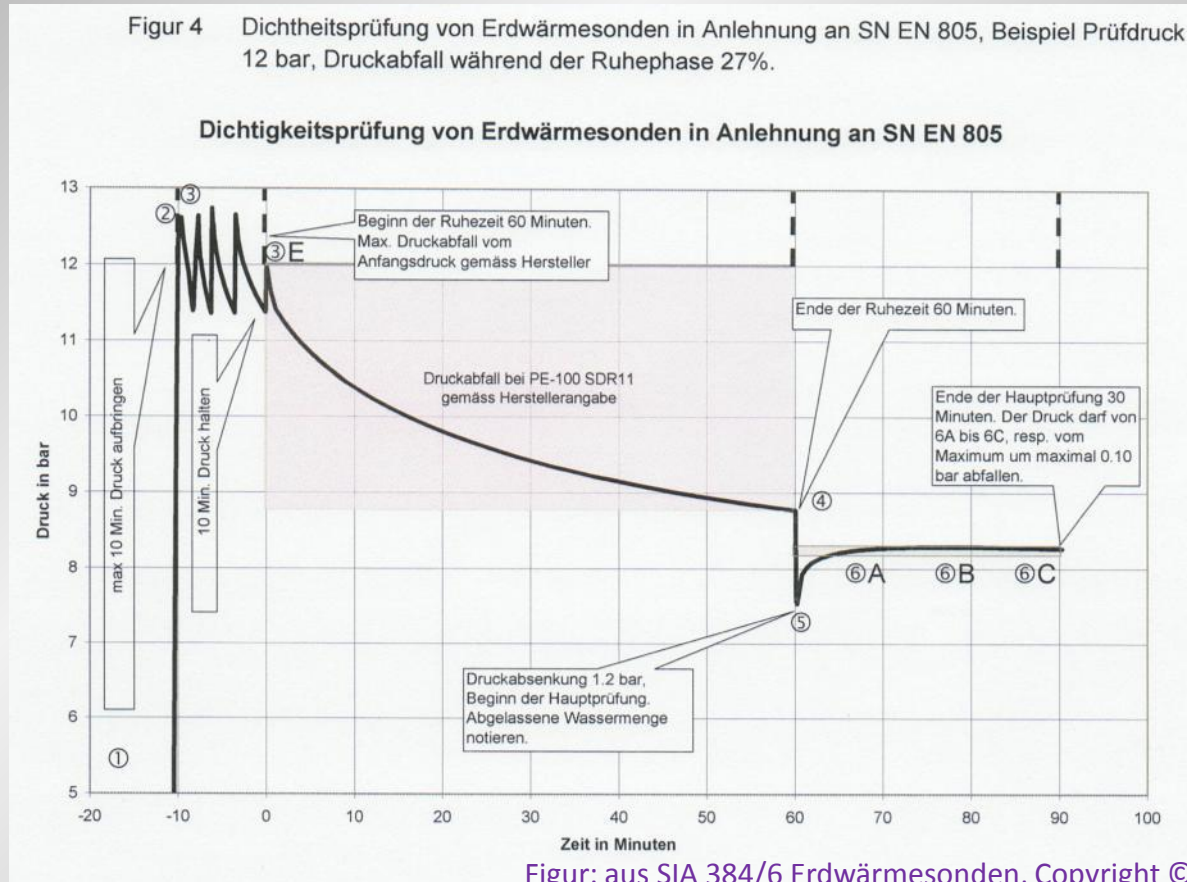
Tabelle: aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich



## Wichtigste Inhalte:

- **Abnahmeprüfung der Erdwärmesonde:**
  3. Dichtheitsprüfung → Kompressionsprüfung in Anlehnung an EN 805

### Ablauf



Figur: aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich

## Bemessung der Erdwärmesonden

### Grundsätze:

- keine unbesehene Verwendung von Faustformeln zur Auslegung

~~35 ... 40 ... 45 ... 50 W/m~~

- bedarfsgerechte Auslegung
  - lokale Geologie → z.B. Wärmeleitfähigkeit
  - lokale Klimaverhältnisse → z.B. Temperatur, Laufzeit
  - Betriebsverhältnisse → z.B. Warmwasser, Pool, Heizen + Kühlen
  - Geometrie → 32er, 40er, 50er Sonde  
Abstand, Tiefe



## Bemessung der Erdwärmesonden

### Vorgehen:

- nach den Grundsätzen der VDI 4640
- Auf der Basis von EED-Berechnungen
- Nach dem Prinzip von Zuschlag/Reduktion

### Aber:

- Auslegung auf 50 Betriebsjahre
- Konsequente Korrekturen (Zuschläge/Reduktionen) bei Abweichungen von den Normverhältnissen nach VDI 4640
- Berechnung streng nach den Maximen der Ingenieurskunst



## **Bemessung der Erdwärmesonden nach SIA 384/6 („einfache Anlagen“, bis 4 EWS)**

- 1. Berechnung der Bodentemperatur**
  - aus der Höhenabhängigkeit (Formel); oder
  - aus Meteodaten
- 2. Bestimmung der Untergrundeigenschaften ( $\lambda$  und  $c_p$ )**
  - aus Tabellen; oder
  - aus Messwerten
- 3. Bestimmung der spez. Leistung der EWS**
  - als Funktion der Wärmeleitfähigkeit
  - aus Graphik
- 4. Bestimmung der Jahresarbeitsstunden der WP**
  - als Vollaststunden
  - Formel



## Bemessung der Erdwärmesonden nach SIA 384/6 („einfache Anlagen“)

5. **Bestimmen des Jahresenergiebedarfes WW**  
nach Bedarf  
→ aus Formel
6. **Bestimmung der Jahresbetriebsstunden**  
als Vollaststunden der Gesamtanlage  
→ Formel
7. **Bestimmen der Sondenlänge**  
aus 6. und 3.  
→ Formel
8. **Korrektur für Jahresbetriebsstunden und Abstand**  
falls nicht 1850 h und nach eff. Abstand  
→ Graphik und Formel



## Bemessung der Erdwärmesonden nach SIA 384/6 („einfache Anlagen“)

### 9. Korrektur für Bodentemperatur

aufgrund effektiver Länge

falls von der Norm abweichend ( $T = 11.5 \text{ K}$ )

→ Graphik und Formeln

→ Iteration falls notwendig

→ **Definitive Bemessung der EWS nach Anzahl, Tiefe und Abstand**

→ **Beispiel im Anhang**



## Schlussbemerkung

- Die Qualität der Erdwärmesonden-Anlagen (erdseitig!) ist auf recht hohem Niveau
- Baustellen in der QS sind lokalisiert:
  - Es fehlt ein flächendeckendes Kontrollnetz  
(→ Idee: Vollzug der Gewässerschutzvorschriften unter Einbezug von Fachverbänden)
  - Das Finishing der EWS birgt die grössten Probleme: Einbau, Hinterfüllung, Testing
- Bis ca. 150 m Tiefe können EWS grundsätzlich problemlos erstellt werden
- Ab 250 m Tiefe nehmen die potenziellen Schwierigkeiten und Risiken massiv zu

Die Qualitätssicherung von EWS-Anlagen in der Schweiz wird/wurde unterstützt durch:

- Bundesamt für Energie, Bern
- Bundesamt für Umwelt, Bern
- Schweiz. Vereinigung für Geothermie (Geothermie.ch)
- Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz
- Programm EnergieSchweiz





→ **Vielen Dank**

→ **Vielen Dank**



## Anhang: Bemessung nach SIA 384/6 für „einfache“ Anlagen (Beispiel)

### D.3.8 Berechnungsbeispiel: Dimensionierung einer Einzelerdwärmesonde nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren

Gegeben:

- |   |  |
|---|--|
| – Haus in Appenzell                     | 780 m ü.M.   |
| – Geologie                              | 40 m sandig kiesige Moräne;<br>80 m Molasse (Sandstein, Konglomerat) |
| – Einschränkung Bewilligung             | max. Bohrtiefe 120 m,<br>da tiefer Gas angetroffen werden könnte     |
| – Platzangebot                          | 12 x 5 m   |
| – Norm-Heizlast nach SIA 384.201        | 10 kW  |
| – Warmwasserbedarf Durchschnitt pro Tag | 140 l (4 Personen à 35 l)  |
| – Wärmepumpe                            |  |
| Heizleistung nach EN 14511-1 (B0W35)    | 10,8 kW  |
| Kälteleistung nach EN 14511-1 (B0W35)   | 8,4 kW   |
| – Heizleistung bei B0W50 (Warmwasser)   | 10,2 kW  |
| – Wärmeträger                           | 20% Ethylenglykol  |

Gesucht:

- Tiefe und Anzahl der Erdwärmesonden

Beispiel aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich



Anhang: Bemessung nach SIA 384/6 für „einfache“ Anlagen (Beispiel)

Lösung:

**1) Bodentemperatur (Anhang C.2)**

Bestimmung der Bodenoberflächentemperatur für den Heizfall auf der Alpennordseite gemäss Gleichung 2 in C.2.2:

$$\theta_{G,s} = 1,373 \cdot 10^{-6} \cdot H_S^2 - 7,03 \cdot 10^{-3} \cdot H_S + 12,5$$

$\theta_{G,s}$  Bodenoberflächentemperatur, in °C

$H_S$  Höhe Standort über Meer, m ü.M.

$$\theta_{G,s} = 1,373 \cdot 10^{-6} \cdot 780^2 - 7,03 \cdot 10^{-3} \cdot 780 + 12,5 = 7,9^\circ\text{C}$$

Sind Meteodaten [12] für den Standort vorhanden, kann die Bodenoberflächentemperatur nach Gleichung 7 in C.2.3 berechnet werden.

Meteodaten (für Appenzell, 780 m ü.M., Jahresmitteltemperatur 8,0°C)

$$\theta_{G,s} = \theta_{e,a,m} + 1,55$$

$$\theta_{G,s} = 8,0 + 1,55 = 9,55^\circ\text{C}$$

$\theta_{G,s}$  Bodenoberflächentemperatur, in °C

$\theta_{e,a,m}$  mittlere Jahresausserlufttemperatur, in °C

Bodenoberflächentemperatur, mit Toleranzwert für den Heizfall:

$$\theta_{G,s,H} = \theta_{G,s} - 1 = 9,55 - 1 = 8,55^\circ\text{C}$$

Die Bodenoberflächentemperatur wird unter Schritt 8 für die Bestimmung des Korrekturfaktors für die Bodentemperatur am Standort benötigt. Es wird die genauere Bodenoberflächentemperatur aus den Meteodaten verwendet. (8.55°C)

Beispiel aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich



Anhang: Bemessung nach SIA 384/6 für „einfache“ Anlagen (Beispiel)

**2) Boden- und Stoffkennwerte (C.3)**

Die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität werden als gewichteter Durchschnitt berechnet.

Mächtigkeit	Gesteinstyp	empfohlener Rechenwert	
		Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	spez. Wärmekapazität $c$
40 m	Moräne fest gelagert	1,8 W/(m·K)	2 MJ/(m <sup>3</sup> ·K)
50 m	Feinsandstein	2,9 W/(m·K)	2,1 MJ/(m <sup>3</sup> ·K)
30 m	Grobsandstein und Konglomerat	2,7 W/(m·K)	2,1 MJ/(m <sup>3</sup> ·K)
Total 120 m		<b>2,48 W/(m·K)</b>	<b>2,07 MJ/(m<sup>3</sup>·K)</b>

Beispiel aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich



Anhang: Bemessung nach SIA 384/6 für „einfache“ Anlagen (Beispiel)

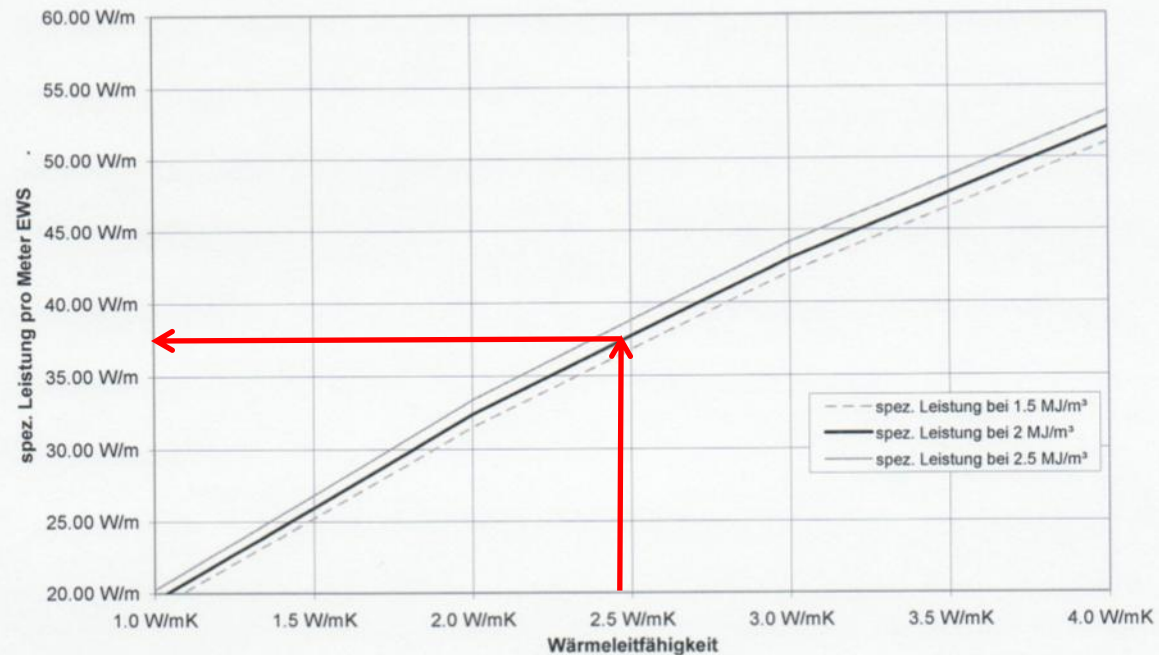
### 3) Spezifische Leistung der Erdwärmesonde und Norm-Länge (D.3.2)

Ohne festgelegten Sondendurchmesser wird Figur 7 für Erdwärmesonde mit Durchmesser 32 mm gewendet. Die spezifische Leistung einer Erdwärmesonde mit Durchmesser 32 mm bei einer Wärmeleitfähigkeit von 2,48 W/m·K und einer Wärmekapazität von 2,07 MJ/m<sup>3</sup>·K beträgt **37,5 W/m**.

Mit der Norm-Leistung kann die Norm-Länge der Erdwärmesonde bestimmt werden. Für die Auslegung der Erdwärmesonde ist die Kälteleistung der Wärmepumpe massgebend. Sie beträgt 8,4 kW; damit ergibt sich eine Sondenlänge von

$$L_{EWS} = \frac{8400 \text{ W}}{37,5 \text{ W/m}} = 224 \text{ m}$$

Normleistung bei 1 EWS à 100 m ø 32 mm, Duplex, bei 10°C mittlerer Bodentemperatur und 1850 h Volllastzeit bei verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten und Wärmekapazitäten des Erdreichs



Beispiel aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich



Anhang: Bemessung nach SIA 384/6 für „einfache“ Anlagen (Beispiel)

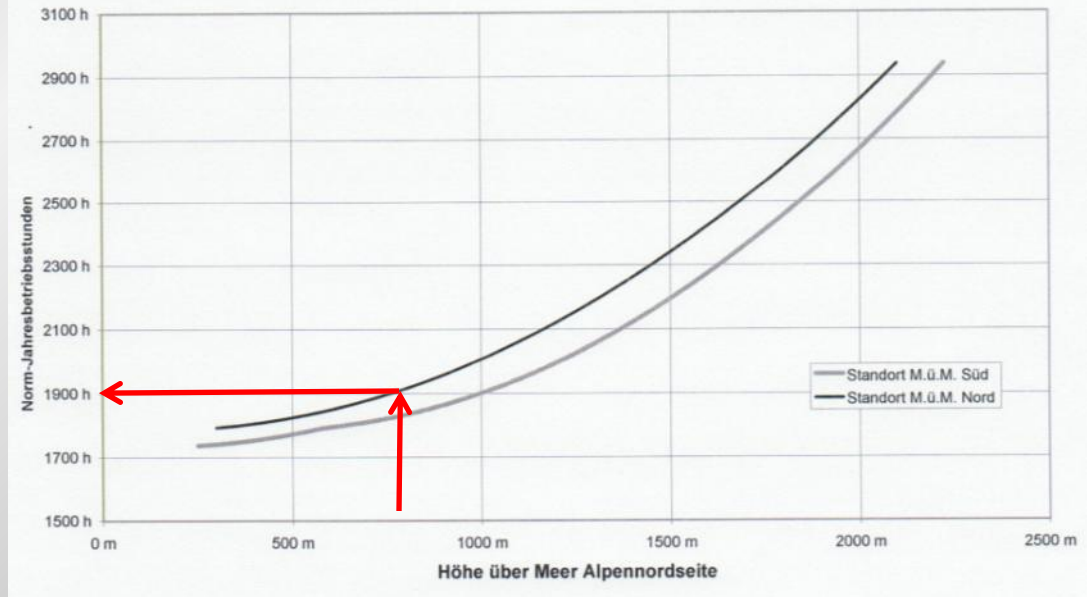
#### 4) Jahresbetriebszeit Heizung (D.3.5)

Die Jahresbetriebszeit für die Heizung wird nach Gleichung 16 bestimmt.

$$t_{a,H} = \frac{t_{a,N} \cdot \Phi_{HL}}{\Phi_{WP,C}} = \frac{1900 \cdot 10}{10,8} = 1759 \text{ h}$$

- $t_{a,h}$  Jahresbetriebszeit Heizung, in h
- $t_{a,N}$  Norm-Jahresbetriebszeit, in h, nach Figur 10 bei 780 m ü.M → 1900 h
- $\Phi_{HL}$  Norm-Heizlast, in kW
- $\Phi_{WP,C}$  Heizleistung der WP im Auslegepunkt, in kW

Norm-Jahresbetriebszeit in  
Abhängigkeit vom Standort für die  
Alpennord- und -südseite



Beispiel aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich



## Anhang: Bemessung nach SIA 384/6 für „einfache“ Anlagen (Beispiel)

**5) Jahreswärmebedarf Warmwasser (D.3.5.3):**

Der Jahreswärmebedarf für Warmwasser wird nach Gleichung 17 bestimmt.

$$Q_{ww} = \frac{M_{ww} \cdot (\theta_{ww} - \theta_w) \cdot c_{p,w}}{3600 \text{ s}} \cdot 365 = \frac{140 \text{ kg} \cdot (50^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) \cdot 4,182 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})}{3600 \text{ s}} \cdot 365 = 2374 \text{ kWh}$$

$Q_{ww}$	Jahreswärmebedarf Warmwasser, in kWh
$M_{ww}$	Warmwasserbedarf pro Tag, in kg
$\theta_{ww}$	Warmwassertemperatur, in °C
$\theta_w$	Kaltwassertemperatur, in °C
$c_{p,w}$	spez. Wärmekapazität Wasser, in kJ/(kg·K)

**6) Jahresbetriebszeit für Gesamtsystem (D.3.5.4)**

Mit den Zwischenergebnissen aus 4) und 5) kann die Jahresbetriebszeit der Wärmepumpe für das Gesamtsystem nach Gleichung 16 bestimmt werden:

$$t_{a,WP,tot} = t_{a,H} + \frac{Q_e}{\Phi_{WP,c}} = 1759 \text{ h} + \frac{2374 \text{ kWh}}{10,2 \text{ kW}} = 1992 \text{ h}$$

$t_{a,WP,tot}$	Jahresbetriebszeit WP für Gesamtsystem, in h
$t_{a,H}$	Jahresbetriebszeit Heizung, in h
$Q_e$	Zusatzwärmebedarf, in kWh
$\Phi_{WP,c}$	Heizleistung der WP für WW Zusatzwärmebedarf (B0W50), in kW



Anhang: Bemessung nach SIA 384/6 für „einfache“ Anlagen (Beispiel)

### 7) Korrekturfaktor Jahresbetriebszeit, Anordnung und Wärmeleitfähigkeit (D.3.6)

Die Bohrlänge ist von der Bewilligung her auf 120 m beschränkt. Somit müssen mindestens 2 Erdwärmesonden gebohrt werden. Der Platz reicht für 2 Sonden mit einem Abstand von 10 m oder 3 Sonden mit einem Abstand von 5 m.

Variante 1: Bei 2 Erdwärmesonden mit 10 m Abstand beträgt die Korrektur nach Figur 16 bei 1992 h Jahresbetriebszeit 5,8%. Die Erdwärmesondenlänge wird damit vorläufig wie folgt bestimmt.

$$L_{EWS,2Stück} = \frac{224 \text{ m}}{2} \cdot (1 + 0,058) = 118,5 \text{ m}$$

Variante 2: Bei 3 Erdwärmesonden mit 5 m Abstand beträgt die Korrektur nach Figur 14 bei 1992 h Jahresbetriebszeit 17%.

$$L_{EWS,3Stück} = \frac{224 \text{ m}}{3} \cdot (1 + 0,17) = 87,4 \text{ m}$$

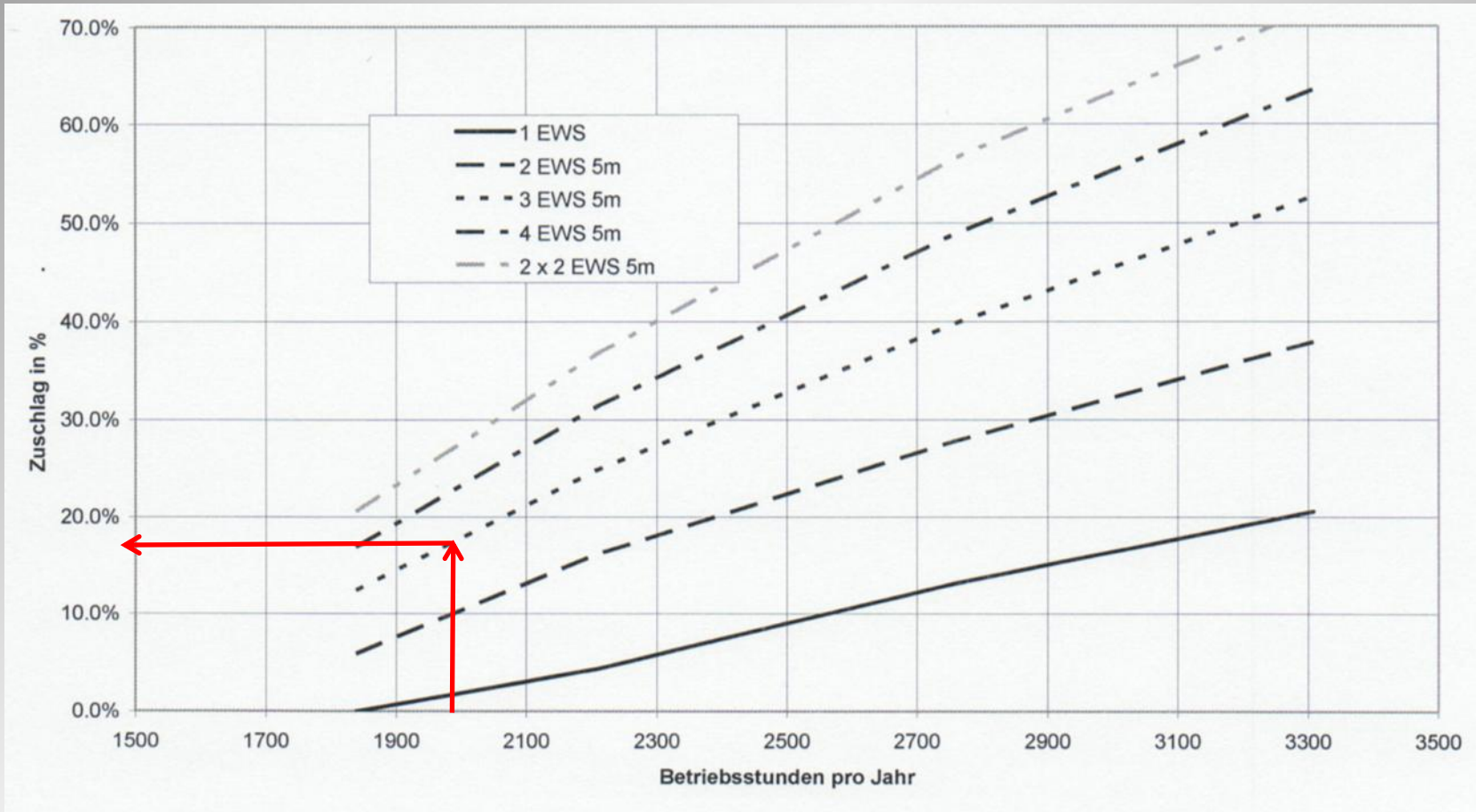
Beispiel aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich





Anhang: Bemessung nach SIA 384/6 für „einfache“ Anlagen (Beispiel)

Zuschlag zur Erdwärmesondenlänge in Abhängigkeit der Betriebsstunden und Anordnung der EWS bei einer Wärmeleitfähigkeit von **2,5 W/(m·K)** und **5 m** Abstand zwischen den Erdwärmesonden



Beispiel aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich



Anhang: Bemessung nach SIA 384/6 für „einfache“ Anlagen (Beispiel)

### 8) Korrekturfaktor Bodentemperatur nach Anhang D.3.7

Abschliessend ist die Erdwärmesondenlänge noch bezüglich der Bodentemperatur am Standort zu korrigieren. Mit dem in D.3.7 beschriebenen iterativen Verfahren wird die korrigierte EWS-Länge aufgrund der Bodentemperatur am Sondenstandort wie folgt berechnet:

Bestimmung der mittleren Bodentemperaturdifferenz anhand der Gleichung 20 und Korrektur der EWS-Länge gemäss Gleichung 21.

Variante 1: Bei 2 Erdwärmesonden ist die mittlere Bodentemperaturdifferenz

$$\Delta\theta_G = 8,55^\circ\text{C} + \frac{118,5 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ K/m}}{2} - (-1,5^\circ\text{C}) = 11,8 \text{ K}$$

Daraus ergibt sich eine Länge von je:

$$L_{EWS} = \frac{118,5 \text{ m} \cdot 11,5}{11,8} = 115,5 \text{ m}$$

Variante 2: Bei 3 Erdwärmesonden ist die mittlere Bodentemperaturdifferenz

$$\Delta\theta_G = 8,55^\circ\text{C} + \frac{87,4 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ K/m}}{2} - (-1,5^\circ\text{C}) = 11,4 \text{ K}$$

Daraus ergibt sich eine Länge von je:

$$L_{EWS} = \frac{87,4 \text{ m} \cdot 11,5}{11,4} = 88,2 \text{ m}$$

Eine Iteration kann bei beiden Varianten entfallen, da die Längenkorrektur kleiner als 5 m ist. Mit beiden Varianten sind die Bewilligungsaufgaben erfüllt.

**Somit sind die Sonden fertig dimensioniert: 3 Sonden à 88.2 m mit einem Abstand von je 5 m.**

Beispiel aus SIA 384/6 Erdwärmesonden, Copyright © 2009 by SIA Zurich

