

Schlussbericht, Dezember 2005

Anpassen der Druckprüfung nach DIN V 4279-7 für Erdwärmesonden aus Polyethylen

ausgearbeitet durch

Ernst Rohner

Geowatt AG

Dohlenweg 28

CH-8050 Zürich

In Zusammenarbeit mit

Engeo AG

Stationsstr. 24

CH-9212 Arnegg

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Druckprüfung in Anlehnung an DIN V 4279-7 zur Dichtigkeitsprüfung von vertikalen Erdwärmesonden entwickelt. Diese Druckprüfung dient in erster Linie der Qualitätssicherung der Erdwärmesonde. Sie soll verhindern, dass leckere Erdwärmesonden der Bauherrschaft übergeben werden. Seit 1. Januar 2005 ist die auf diesem Bericht basierende Druckprüfung Bestandteil des Gütesiegels "Erdwärmesonde" der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz.

Die hier skizzierte Vorgehensweise bei der Druckprüfung erlaubt genaue und schnelle Messungen der Dichtigkeit von Erdwärmesonden (Testzeit ca. 1.5 Stunden). Dazu wurde eigens eine Messapparatur entwickelt, die die einfache Durchführung des Drucktestes erlaubt. Die Druckprüfung und die Messapparatur wurden bereits mehrfach in der Praxis eingesetzt.

Summary

The goal of this project was to develop a pressure test in accordance of DIN V 4279-7 to identify possible leakage of borehole heat exchanger systems. The presented pressure test serves predominantly as quality assurance. The test shall prevent that leaking borehole heat exchangers are put into operation. Since 1st January 2005 the test, based on this report, is integral part of the seal of approval "Erdwärmesonde" of the Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz.

The presented methodology for a pressure test allows accurate and fast measurements of the tightness of borehole heat exchanger systems (Test duration ~1.5 h). For this, a measuring apparatus was developed with allows to process the pressure test easily. Pressure test and measuring apparatus have been already successfully utilised.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Summary	I
1. Einleitung.....	4
2. Theoretischer Hintergrund	4
2.1 Normengrundlage für die Druckprüfung DIN V 4279-7	4
2.2 Prüfverfahren für horizontale Kunststoffrohrleitungen.....	5
2.2.1 Kontraktionsverfahren für PE-HD-Werkstoffe	5
2.2.2 Vorprüfung.....	6
2.2.3 Hauptprüfung.....	6
2.3 Anpassung der DIN V 4279-7 für vertikale Erdwärmesonden	8
2.3.1 Zeitpunkt der Druckprüfung.....	9
2.3.2 Prüfdruck	10
2.3.3 Rohrtemperatur	10
2.3.4 Spülen	11
2.3.5 Durchflusstest.....	11
2.3.6 Prüfverfahren für vertikale Erdwärmesonden in Anlehnung an DIN V 4279-7	11
3. Messapparaturen	15
3.1 Einfache Messapparatur	15
3.2 Teilautomatische Messapparatur	17
4. Versuchsdurchführung und Auswertung.....	21
4.1 Protokoll.....	21
4.2 Füllen, Entlüften der Prüfeinrichtung und der Erdwärmesonden	22
4.3 Spülen der Erdwärmesonden.....	25
4.4 Durchflusstest.....	27
4.4.1 Durchflusstest am Beispiel einer \varnothing 32 mm Erdwärmesonde 100 m	28
4.4.2 Durchflussprüfung von Erdwärmesonden mit angeschlossener Y-Verlängerung	29

4.5	Druckprüfung	30
5.	Praxiserfahrung	36
5.1	Erfahrungen mit der Messmethodik und der Messapparatur	36
5.2	Einsatzgrenzen	36
6.	Schlussfolgerungen	39
7.	Literaturverzeichnis.....	39
8.	Anhang.....	40
8.1	Protokoll: Durchflusstest und Druckprüfung von Erdwärmesonden in Anlehnung an DIN V 4279-7	40
8.2	Beispiel Druckprüfung in Anlehnung an DIN V 4279-7	41
8.3	Schema Prüfeinrichtung	42
8.4	Mindestspüldauer für einen Umgang bei 32mm Erdwärmesonde pro Kreis.....	43
8.5	Mindestspüldauer für einen Umgang bei 40mm Erdwärmesonde pro Kreis.....	44
8.6	Durchflussdiagramm Erdwärmesonde 32mm pro Kreis bei Wasser 15°C	45
8.7	Durchflussdiagramm Erdwärmesonde 32mm mit Y-Formstück bei Wasser 15°C	46
8.8	Durchflussdiagramm Erdwärmesonde 40mm pro Kreis bei Wasser 15°C	47
8.9	Durchflussdiagramm Erdwärmesonde 40mm mit Y-Formstück bei Wasser 15°C	48

1. Einleitung

Eine Erdwärmesonde besteht üblicherweise aus Polyethylen der Qualität PE-100. Erdwärmesonden werden immer tiefer gebohrt. Dadurch ergibt sich ein relativ hoher statischer Druck am Erdwärmesondenfuss. Da eingebaute Erdwärmesonden nicht visuell überprüft werden können, ist es im Sinne der Qualitätssicherung notwendig, die eingebaute Erdwärmesonde auf Dichtigkeit zu überprüfen, bevor sie dem Bauherrn übergeben wird.

Polyethylen (PE)-Kunststoffrohre, wie sie für Erdwärmesonden verwendet werden, kriechen unter Belastung. Das heisst, auch in einer dichten Erdwärmesonde erniedrigt sich der Druck in der Sonde nach der Installation. Der Fülldruck fällt langsam ab. Dies macht eine Unterscheidung zu geringfügig lecken Erdwärmesonden sehr schwierig. Ein konventionelles Überprüfen der Dichtigkeit wie sie bei Stahlrohren üblich ist, kann aufgrund des Kriechverhaltens der Kunststoffrohre nicht angewendet werden.

Kunststoffrohre werden häufig im Wasserleitungsbau eingesetzt und standardmässig gemäss DIN V 4279-7 auf Leckagen geprüft. Diese Druckprüfung ist für horizontale Rohrleitungen ausgelegt und berücksichtigt das Kriechverhalten von Kunststoffrohren unter Druckbelastung, indem es die Kontraktion von PE Rohren bei einer plötzlichen Druckentlastung miteinbezieht. Bei den vertikal eingebauten Erdwärmesonden ist dieser Verfahren nur bedingt anwendbar.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Anpassung der DIN V 4279-7 für die Druckprüfung von Erdwärmesonden. Dazu werden der Anfangsdruck und das Druck-Zeitverhalten nach einer plötzlichen Druckentlastung und anschliessender Kontraktion in praktischen Messungen bestimmt. Diese Messungen dienen als Basis für die Anpassung der Druckprüfung. Mit der neuen Druckprüfung sollen folgende Zielsetzungen erreicht werden:

- Genaue und schnelle Messung der Dichtigkeit von Erdwärmesonden (Reduktion der Testzeit von ehemals 4 Stunden auf ca. 1.5 Stunden)
- Vorschlag einer praktischen Messapparatur für die einfache Anwendung der angepassten DIN Norm.
- Klare Trennung der Verantwortlichkeit zwischen dem Bohrunternehmer und dem Installateur.
- Qualität der versetzten Erdwärmesonde wird verbessert.

Seit dem 1. Januar 2005 ist das hier erarbeitete Prüfverfahren Bestandteil des Gütesiegels "Erdwärmesonde" der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS). Zielsetzung dieses Gütesiegels ist es, dem Auftraggeber eine einwandfreie, sauber gefüllte (Wasser) und funktionstüchtige Erdwärmesonde zu übergeben. Zusätzlich zur Druckprüfung verlangt das Gütesiegel auch einen Durchflusstest, der in dieser Arbeit ebenfalls beschrieben wird.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Normengrundlage für die Druckprüfung DIN V 4279-7

Für den Bau von Trinkwasserleitungen und für die Druckprüfung (Dichtigkeitsprüfung) ist die Publikation "W4d – Richtlinien für die Planung, Projektierung sowie Bau, Betrieb und Unterhalt von Trinkwasserversorgungssystemen ausserhalb von Gebäuden" des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW) aus dem Jahr 1975 massgebend. Für Druckprüfungen von Kunststoffrohren wird auch auf die DIN-Norm 4279 verwiesen.

1994 wurden diese DIN-Normen durch eine neue DIN V 4279-7 ersetzt und das Prüfverfahren an neue Rohrmaterialien angepasst. Der SVGW bestätigt, dass dieser Normentwurf für Prüfungen von Kunststoffleitungen auch in der Schweiz zur Gültigkeit erhoben wird. Deshalb wird für vertikale Erdwärmesonden nachfolgend eine Prüfrichtlinie in Anlehnung an DIN V 4279-7 erarbeitet.

Die erwähnten Normen sind zu beziehen bei:

Normen-Vereinigung SNV, Mühlebachstr. 54, 8008 Zürich (Tel. 044 / 254 54 54, Fax 044 / 254 54 82)

2.2 Prüfverfahren für horizontale Kunststoffrohrleitungen

Gemäss dem SVGW-Zirkular 98-24d, basierend auf der Norm DIN V 4279-7 für die Druckprüfung von PE-Werkstoffen, ist für horizontale Kunststoffrohrleitungen das sogenannte Kontraktionsverfahren anzuwenden. Die Norm gilt in Verbindung mit DIN 4279-1 für die Druckprüfung von Druckrohrleitungen aus PE-LD (Polyethylen geringer Dichte), aus PE-HD (Polyethylen hoher Dichte aus PE 80 und PE 100), aus PE-X (vernetztes Polyethylen) und aus PVC-U (weichmacherfreies Polyvinylchlorid). Im Folgenden wird nur die Prüfung an PE-HD-Werkstoffen im Detail betrachtet, die für das Erdwärmesondenmaterial PE-100 massgebend ist. Das Kontraktionsverfahren für horizontale Rohrleitungen soll für Erdwärmesonden mit geringen Änderungen übernommen werden. Die dafür nötigen Anpassungen werden in Kapitel 2.3 erläutert.

2.2.1 Kontraktionsverfahren für PE-HD-Werkstoffe

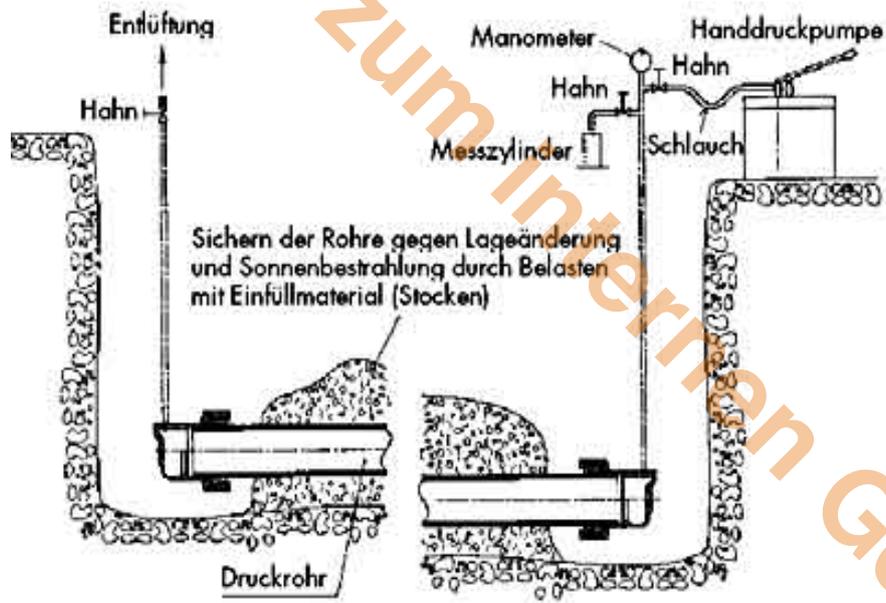
Das Kontraktionsverfahren funktioniert wie folgt:

- Das Kunststoffrohr muss sich in einem unbelasteten Zustand befinden
- In der sogenannten Vorprüfung wird das Kunststoffrohr auf einen hohen Innendruck gebracht und dieser wird über eine gewisse Zeitspanne gehalten
- Während dieser Druckhaltephase recken sich die langen Moleküle des Kunststoffes, dadurch weitet sich das Rohr aus und der Innendruck sinkt langsam ab.
- In der sogenannten Hauptprüfung wird der Innendruck plötzlich abgesenkt, dadurch ziehen sich die vorgespannten Moleküle wieder zusammen und der Innendruck steigt dadurch an (Kontraktion).
- Dieser Effekt ist während einer gewissen Zeit stärker als das Recken der Moleküle und deshalb bleibt der Innendruck konstant. Bereits geringste Leckagen heben diesen Effekt auf und werden dadurch messtechnisch sichtbar.

Der Messaufbau ist in Figur 1 dargestellt. Der Ablauf des Verfahren und der Verlauf des Rohrdruckes in horizontalen Leitungen wird in Figur 2 am Ende dieses Kapitels zusammenfasst.

Für die Druckprüfung von PE-HD -Werkstoffen ist folgendes zu beachten:

Der Prüfdruck bezieht sich auf eine Rohrwandtemperatur von 20 °C. Der Sonne ausgesetzte, schwarze Rohre können eine Wandtemperatur von bis zu 70 °C erreichen. Unter diesen Umständen kann der Rohrwerkstoff die geforderten Prüfdrücke nicht aufnehmen. Daher ist zu beachten, dass die Rohre beschattet sind und die Rohrwandtemperatur an keinem Ort 25 °C übersteigt, ansonsten dürfen die Prüfdrücke nicht aufgebracht werden. Diese Regel aus dem Leitungsbau gilt ebenfalls für die horizontal verlegten Erdwärmesonden-Verbindungsleitungen.



Figur 1: Aufbau Prüfeinrichtung für horizontale Rohre.

2.2.2 Vorprüfung

Bevor die Dichtigkeit einer horizontalen Leitung mittels dem Kontraktionsverfahren geprüft wird, ist eine Vorprüfung nötig. Die Vorprüfung spannt das Kunststoffmaterial entsprechend vor, damit bei der Hauptprüfung mit ihrer plötzlichen Druckentlastung die Kontraktion stattfinden kann.

Gemäss DIN V 4279-7 läuft die Vorprüfung für horizontale Kunststoffrohre wie folgt ab:

Falls beim Füllen und Entlüften eines Rohres ein Druck aufgebaut wurde, ist vor der Vorprüfung eine einstündige Entspannungsphase einzuhalten (siehe Figur 2 Punkt 1). Danach wird innerhalb von 10 Minuten der Prüfdruck aufgebracht (siehe Figur 2: Punkt 2). Der Prüfdruck am tiefsten Punkt der Rohrleitung darf den Nenndruck $P_N + 5$ bar nicht übersteigen. Dieser Druck ist während 10 Minuten zu halten (Nachpumpen erforderlich; siehe Figur 2: Punkt 3). Daraufhin folgt eine einstündige Wartezeit (siehe Figur 2: Punkt 4), damit sich das Rohr ausdehnen kann. Fällt der Druck während dieser Zeit um mehr als 30% muss die Prüfung abgebrochen werden (grössere Leckage oder zu hohe Rohrtemperaturen).

2.2.3 Hauptprüfung

An die Vorprüfung schliesst die Hauptprüfung an. Die durch den Vorprüfdruck entstandene Ausdehnung des Rohres lässt sich durch eine Druckabsenkung P_{ab} unterbrechen (siehe Figur 2: Punkt 5 und Tabelle 1). Für diese Druckabsenkung wird Wasser abgelassen. Dieses abgelassene Wasser darf ein gewisses Wasservolumen ($V_{ab} < V_K$) nicht überschreiten, sonst muss angenommen werden, dass Luftblasen im System vorhanden sind, die das Resultat verfälschen würden. Darauf folgt eine halbe Stunde Wartezeit (Kontraktion).

Druckabsenkung und abgelassenes Wasservolumen

Bei Kunststoffrohren wird das Verhältnis von Rohrdurchmesser zu Wandstärken durch sogenannte Serien angegeben. Je kleiner die Zahl, desto dicker die Wandstärke. Für Erdwärmesonden wird die Serie 5 verwendet (Bei PE 100 Material ergibt sich bei der Serie 5 ein Nenndruck von 16 bar bei 20 °C und einer Lebensdauer von 50 Jahren).

Gemäss Tabelle 1 wird für Erdwärmesonden (Serie 5) eine Druckabsenkung von 2 bar empfohlen. Um diese Druckabsenkung zu erreichen, wird eine gewisse Wassermenge, V_{ab} , abgelassen. Die Prüfbedingungen gelten als erfüllt, wenn das abgelassene Wasservolumen V_{ab} kleiner ist als das zulässig berechnete Volumen V_K . Mit der untenstehenden Formel kann das maximal zulässige Volumen V_K berechnet werden. Ist das Volumen grösser, ist Luft in den Leitungen eingeschlossen. Das System muss nochmals entlüftet und der Test inkl. Entspannungsphase (siehe Figur 2 Punkt 1) wiederholt werden. Für die Erdwärmesonden sind in Tabelle 3 in Kapitel 2.2.3 für Standartlieferlängen von Erdwärmesonden die entsprechend zulässigen Wasservolumen berechnet.

Tabelle 1: Druckabsenkung in Abhängigkeit der Wandstärke (Serie). Für Erdwärmesonden ist die Serie 5 massgebend.

Druckstufe in bar	Serie 8	Serie 5	Serie 3.2
Druckabsenkung P_{ab} in bar	1.2	2.0	3.0

Berechnung des zulässigen Wasservolumens V_K :

$$V_{ab} < V_K \quad \text{mit} \quad V_K = P_{ab} * l * 0.1 * f * \frac{\pi * di^2}{4} * \left(\frac{1}{K_w} + \frac{di}{E_R * e_n} \right)$$

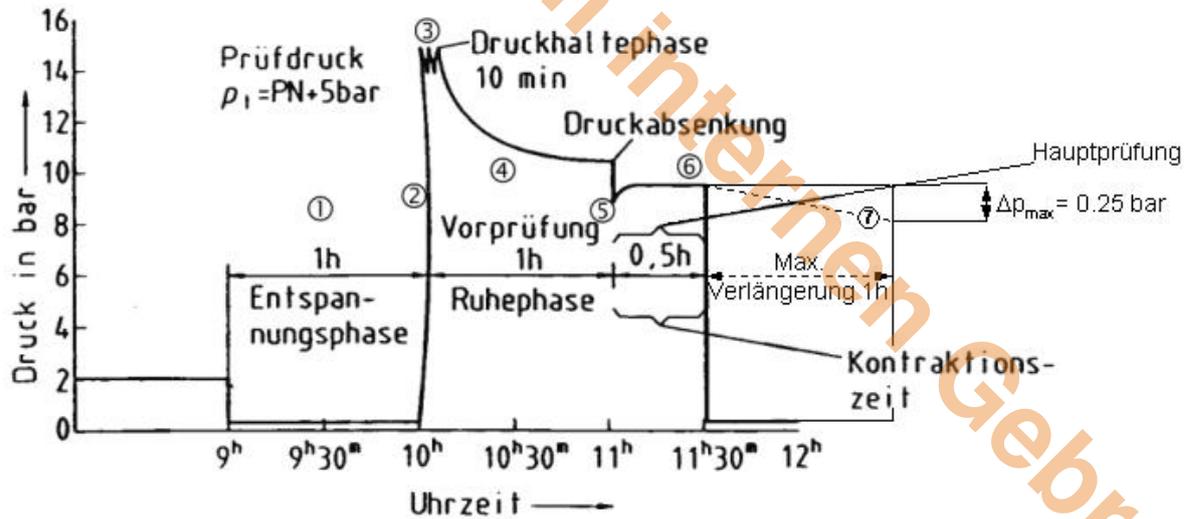
wobei:

$V_K =$	Zulässiges Wasservolumen	[ml]
$P_{ab} =$	Druckabsenkung	[bar]
$l =$	Länge der geprüften Strecke	[m]
$f =$	Da stets Luftreste in der Leitung verbleiben, wird der rechnerische Wert mit $f = 1,5$ multipliziert	
$di =$	Rohrinnendurchmesser	[mm]
$e_n =$	Wandstärke	[mm]
$E_R =$	Elastizitätsmodul des Rohrwerkstoffes (EPE-100 = 1000 N mm ⁻²)	[N mm ⁻²]
$K_W =$	Kompressionsmodul des Wassers (2000 N mm ⁻²)	[N mm ⁻²]

Dichtigkeitsprüfung

Das Verhalten des Rohres wird eine halbe Stunde beobachtet (siehe Figur 2: Punkt 6). Durch den reduzierten Druck zieht sich das Rohr zusammen (Kontraktionsphase). Das Volumen im Rohr wird kleiner, daher steigt der Innendruck an. Der Druck steigt zuerst schnell an und stabilisiert sich. Während 30 Minuten darf der erreichte Höchstwert nicht mehr unterschritten werden. Damit ist die Prüfung erfüllt. Bei kleiner werdendem Druck liegt hingegen eine Leckage vor und die Prüfung ist nicht erfüllt. Bei Unsicherheit kann die Beobachtungszeit bis 1.5 Stunden verlängert werden (siehe

Figur 2: Punkt 7). Gemäss DIN V 4279-7 darf dann der Druckabfall bezogen auf den Höchstwert innerhalb der Kontraktionsphase maximal 0.25 bar betragen.



Figur 2: Druckverlauf während der Prüfung. Die Bildlegende ist der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Legende

Vorprüfung		
1	Entspannungsphase	1 h
2	Druck aufbringen	10 min
3	Druckhaltephase nachpumpen	10min
4	Ruhezeit	1 h
Hauptprüfung		
5	Für Druckabsenkung P_{ab} Wasser ablassen	
6	Kontraktionszeit	0.5 h
7	Maximale Verlängerung bis total 1.5 h Maximal erlaubter Druckabfall 0.25 bar	1.5 h

2.3 Anpassung der DIN V 4279-7 für vertikale Erdwärmesonden

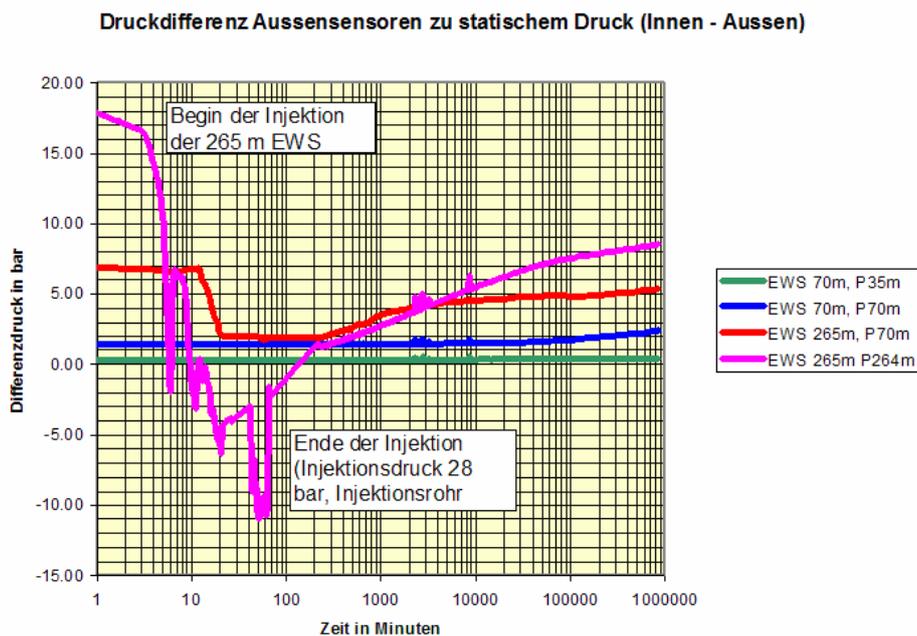
Das Kontraktionsverfahren, wie es für die Dichtigkeitsprüfung von horizontalen Rohrleitungen in Kapitel 2.2 beschrieben wurde, kann auch für Erdwärmesonden angewendet werden. Allerdings darf nach DIN der Prüfdruck am tiefsten Punkt der Rohrleitung (im Falle einer Erdwärmesonde am Sondenfuss) den Nenndruck $P_N + 5$ bar nicht übersteigen. Der Nenndruck der Erdwärmesondenrohre ist 16 bar. Somit darf während des Tests kein höherer Druck als 21 bar am Sondenfuss auftreten. Dieser Druck entspricht der statischen Wasserhöhe von 210 m, d.h. bei einer Sondenlänge von über 210 m, was

recht häufig ist, wäre der Druck bereits höher als für die Prüfung zulässig. Aus diesem Grund muss für vertikale Erdwärmesonden das Prüfverfahren an einigen Stellen angepasst werden.

2.3.1 Zeitpunkt der Druckprüfung

Der Druck am Sondenfuss wurde detailliert im Bericht "Lebensdauer und Betriebssicherheit von Erdwärmesonden in Bezug auf Druckverhältnisse und Hinterfüllung" (Rohner et al., 2000) gemessen. Darin wurden Druckmessungen an zwei Bohrungen vor und nach Einbringen der Hinterfüllung durchgeführt. Die Resultate sind in Figur 3 zusammengefasst. Bei der gemessenen 265 m tiefen Erdwärmesonde wurde zu Beginn ein hoher Innendruck gemessen, weil das Bohrloch nur zum Teil mit Wasser gefüllt war. Nach dem Einpressen der Zement-Bentonit-Suspension vom Sondenfuss her (negative Druckspitze nach ca. 50 bis 60 Minuten) und vor dem Abbinden der Suspension ist der Sondenfuss kaum belastet (ab 70 bis 1000 Minuten). Wie Figur 3 zeigt, ist dies der ideale Zeitpunkt für die Druckprüfung, um den Sondenfuss nicht unnötig zu belasten und die Regel nach DIN V 4279-7 P_{N+5} bar = max. 21 bar nicht zu überschreiten. Danach kann der Innendruck auf den Sondenfuss wieder ansteigen (Aushärtung der Suspension, Dilatationen während des Betriebs). Die Injektion wirkt aber immer entlastend auf den Sondenfuss, d.h. erzeugt einen äusseren Gegendruck. Bei kurzen Erdwärmesonden (< 100 m Tiefe) ist die Belastung auf den Sondenfuss wesentlich geringer und damit ist der Zeitpunkt der Prüfung nicht so problematisch (siehe Druckkurve für eine 70 m Erdwärmesonde in Figur 3). Falls das Bohrloch leer ist, d.h. kein Wasser vorhanden ist, sollte darauf geachtet werden, dass der Innendruck von 21 bar nicht überschritten wird, d.h. die Erdwärmesonde sollte nie mehr als 210 m in der "Luft" stehen (Bohrloch teilweise mit Wasser füllen). Bei der Prüfung muss dann der Prüfdruck noch abgezählt werden. **Es wird aber dringend empfohlen, die Prüfung nur bei gefüllten Bohrlöchern durchzuführen.**

Eine Prüfung der Dichtigkeit direkt nach der Injektion macht auch hinsichtlich des FWS-Gütesiegels "Erdwärmesonde" Sinn. Gemäss Zielsetzung dieses Gütesiegels ist dem Bauherrn ein fertiges und geprüftes Bauwerk zu übergeben. Dabei ist sicherzustellen, dass die fertig injizierte Erdwärmesonde als ganzes funktionstüchtig ist. Stellt sich während der Prüfung heraus, dass die Erdwärmesonde defekt ist, kann eine kurze Erdwärmesonde eventuell wieder ausgebaut werden. Bei einer langen Erdwärmesonde ist dies meist nicht möglich, sodass die Erdwärmesonde nach BUWAL Richtlinie (BUWAL, 1994) ausgegossen werden muss.



Figur 3: Druckverhältnisse in einer 70 m und einer 265 m tiefen Erdwärmesonde jeweils am Sondenfuss und auf 35 m respektive 70 m Sondentiefe (Rohner et al., 2000).

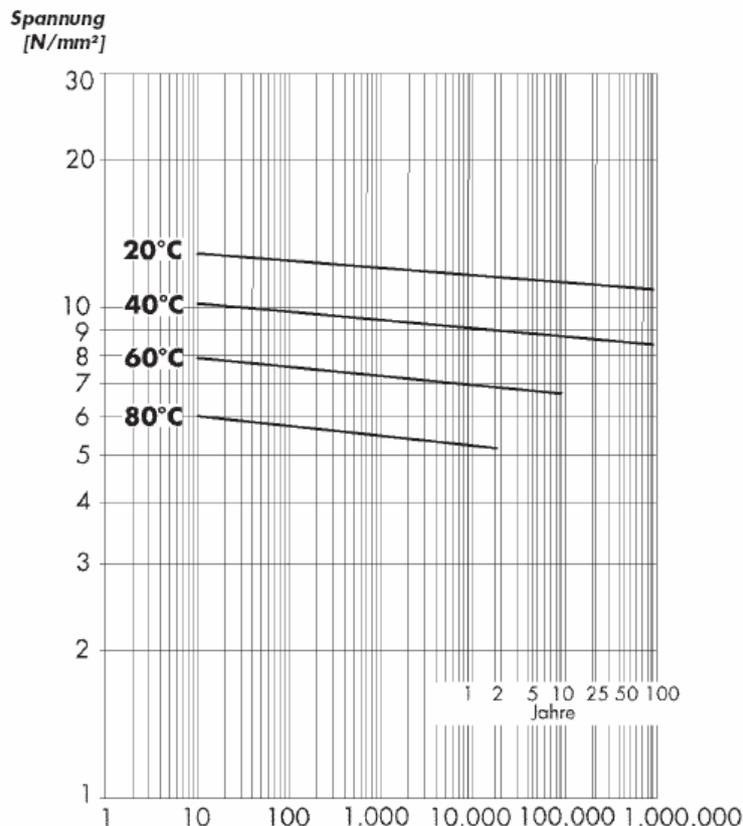
2.3.2 Prüfdruck

Der Betriebsdruck von Erdwärmesondenanlagen liegt zwischen 1 bis 3 bar. Üblicherweise wird das Rohr auf das 1.5 fache des max. Betriebsdruckes ausgelegt, d.h. auf 4.5 bar. Um eine genügende Sicherheit gegen mechanische Belastungen auf der Baustelle zu erhalten, ist es heute üblich und vom FWS-Gütesiegel "Erdwärmesonde" vorgeschrieben, PN16 Rohre (SDR 11, resp. Serie 5) zu verwenden. Die Rohre sind im Bezug auf den Betriebsdruck überdimensioniert. Da der Druck (Innen- druck-Aussendruck) am Sondenfuss nicht mit Sicherheit bestimmt werden kann und die Prüfung keine Schädigung der Sonde hervorrufen darf, ist der Prüfdruck auf 10 bis 12 bar festgelegt, deutlich geringer als die 21 bar bei horizontalen Rohrleitungen. Verschiedene Messungen haben ergeben, dass bei der Druckprüfung ein noch tieferer Prüfdruck gewählt werden könnte, um eine Dichtigkeits- prüfung nach dem Kontraktionsverfahren erfolgreich durchzuführen. Es wird bei kleineren Drücken aber immer schwieriger die Prüfeinrichtung selber zu überprüfen. In der Praxis hat es sich gezeigt, dass defekte Ankupplungen des Messgerätes an die Erdwärmesonden bei Drücken über 10 bar gut sichtbar werden.

2.3.3 Rohrtemperatur

Der klein gewählte Prüfdruck hat auch einen gewichtigen Vorteil für Messungen im Sommer. Durch die Sonneneinstrahlung erwärmt sich das Sondenrohr während der Druckprüfung. Dies erzeugt eine Volumenausdehnung, was das Messergebnis verfälscht. Aus diesem Grund muss der Sondenkopf, respektive die ganze gemessene Leitung, während der Messung beschattet werden. Nach DIN V 4279-7 darf die Rohrtemperatur bei einem Prüfdruck von 21 bar (11.35 N mm^{-2}) 25 °C nicht überschreiten (siehe Kapitel 2.2). Nach Zeitstandsdiagramm in Figur 4 ergibt dies eine "Lebensdauer" von ca. $10'000 \text{ h}$. Wird der Druck auf 12 bar verringert, könnte bei gleicher "Lebensdauer" die zulässige Temperatur auf 60 °C erhöht werden.

Zeitstand-Innendruck-Diagramm für Polyethylen PE 100



Figur 4: Das Zeitstand-Diagramm für PE-100 (Haka Gerodur).

Im Winter besteht die Gefahr, dass während der Ruhezeit der Sondenkopf und die Prüfeinrichtung einfrieren. Sobald sich Eis bildet, steigt durch Volumenausdehnung der Druck an und macht das Messergebnis unbrauchbar. Ist die Aussentemperatur unter 0 °C, kann der Test nur durchgeführt werden, wenn der oberirdische Teil der Erdwärmesonde und die Prüfeinrichtung mit Frostschutzlösung (Ethylenglykol 20 % bis 30 % d.h. Frostschutz -10 bis -17 °C) gefüllt wird.

2.3.4 Spülen

Beim DIN V 4279-7 Test darf keine Luft in den Sondenrohren vorhanden sein. Diese Luft würde die Messung verfälschen. Aus diesem Grund muss die Erdwärmesonde beim Einbau oder spätestens vor der Injektion mit Wasser gefüllt sein (siehe Kapitel 2.3.6). Die Luft kann bei einer vertikalen Erdwärmesonde einfach "ausgetrieben" werden, indem jeder Kreis der Erdwärmesonde zuerst von der einen und anschliessend von der anderen Seite her ausgespült wird. Mit den später in Kapitel 3 vorgestellten Prüfgeräten kann die Luft vollständig aus dem Kreis entfernt werden, da keine Verbindungen nach der Installation mehr gelöst werden müssen.

Es liegt in der Verantwortung des Bohrmeisters, dass die Erdwärmesonde sauber gefüllt ist. Die Gefahr ist gross, dass während den Baustellenarbeiten und beim Einbau, respektive Ziehen der Verrohrung, Schmutz in die Sonde gelangen könnte. Bei Unsicherheiten empfiehlt es sich, die Erdwärmesonde mit der Mindestspüldauer über die Filtereinheit der Testeinrichtung zu spülen (siehe Figur 15 und Figur 16).

2.3.5 Durchflusstest

Für die Qualitätssicherung ist nebst der Dichtigkeit der Erdwärmesonde auch der Rohrquerschnitt (Quetschungen etc.) wichtig. Aus diesem Grund wird im FWS-Gütesiegel "Erdwärmesonde" ein Durchflusstest empfohlen (siehe Kapitel 4.4).

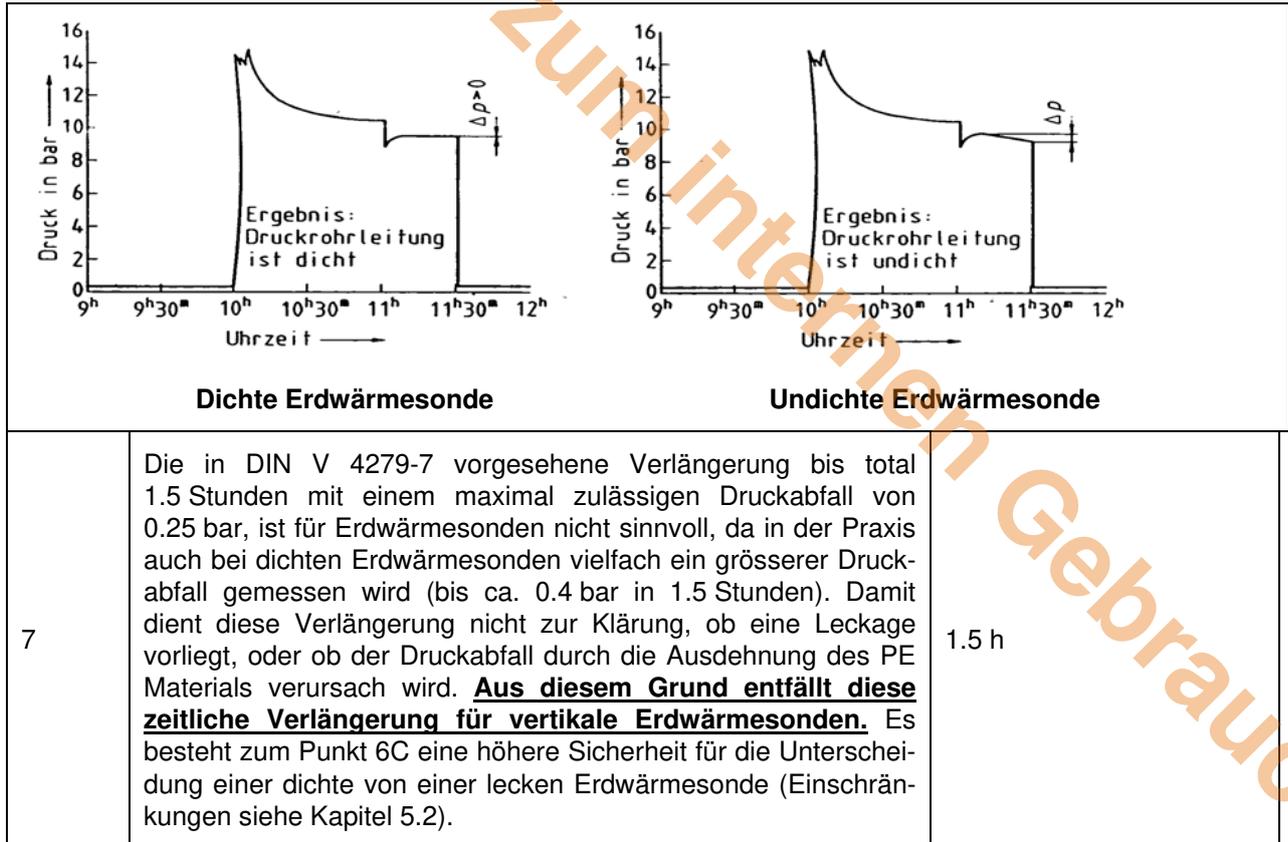
2.3.6 Prüfverfahren für vertikale Erdwärmesonden in Anlehnung an DIN V 4279-7

Basierend auf den Erläuterungen aus den vorgegangenen Kapiteln wird hier das Druckprüfverfahren für vertikale Erdwärmesonden vorgestellt. Tabelle 2 fasst die wesentlichen Testphasen zusammen. Zur Veranschaulichung ist in Figur 5 der Druckverlauf während eines Tests dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung mit genauen Angaben zur Testdurchführung und Illustrationen ist in Kapitel 4 nachzulesen. Mögliche Messapparaturen werden in Kapitel 3 vorgestellt. Für die korrekte Ausführung der Druckprüfung sind folgende Randbedingungen zu berücksichtigen:

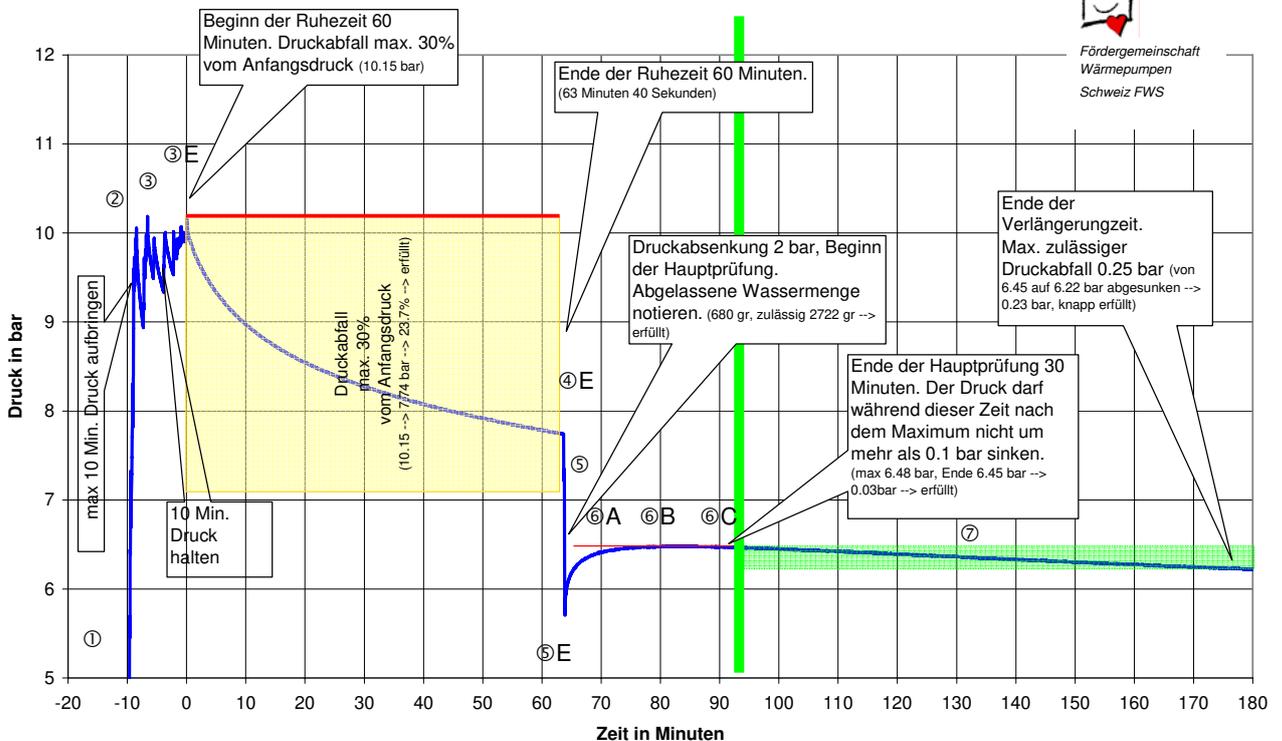
- Die Prüfung der Dichtigkeit soll nach der Hinterfüllung der Erdwärmesonde erfolgen
- Es wird die ganze Erdwärmesonde, eventuell mit den Zuleitungen getestet. Die zwei Kreise der Erdwärmesonde können zusammen getestet werden. Im folgenden wird jedoch immer nur von einer Erdwärmesonde gesprochen, obwohl auch die entsprechende Zuleitung mitinbegriffen sein kann. Falls der Test eine Leckage vermuten lässt, müssen die einzelnen Segmente jedoch einzeln nachgeprüft werden.
- Die Erdwärmesonde und die Prüfeinrichtung müssen vollständig entlüftet sein.
- Die Rohrtemperaturen müssen im zulässigen Bereich liegen. Die Prüfeinrichtung mit dem Sondenkopf, resp. Zuleitungen, muss im Schatten stehen (Sonnenschirm).
- Bei Aussentemperaturen unter 0°C muss der Frostschutz beachtet werden. (siehe Kapitel 2.3.2)
- Eine Erdwärmesonde gilt als dicht, wenn der Druckabfall gemäss Figur 5, ab dem Maximum nach Punkt 6A nicht mehr als 0.1 bar bis zum Punkt 6C absinkt.

Tabelle 2: Ablauf der Druckprüfung in Anlehnung an DIN V 4279-7. Für die Praxis wurde ein Protokoll (siehe Kapitel 4.1) erstellt, in dem die einzelnen Schritte protokolliert werden. Ein typischer Verlauf der Druckkurve während einer Druckprüfung ist in Figur 5 dargestellt.

1	Entspannungsphase: Beim Einbau der Erdwärmesonde und beim Durchflusstest wird nur ein geringer Differenzdruck auf das Rohr aufgebracht. Auf die Entspannungsphase kann darum verzichtet werden, ausser wenn nach einer Druckprüfung eine Nachprüfung gemacht werden muss.	60 Min. entfällt üblicherweise
2	Druckaufbauphase: Druck aufbringen (Details siehe Kapitel 3). Die Erdwärmesonde muss so schnell wie möglich auf 12 bar gebracht werden, d.h. diese Testphase darf 10 Minuten nicht überschreiten	10 Min. maximal
3	Druckhaltephase: Eventuell nachpumpen. Während 10 Minuten ist der Druck auf 12 bar zu halten. Mindestdruck während dieser Zeit 10 bar. Der Druck zum Zeitpunkt 3E in Figur 5 wird protokolliert.	10 Min.
4	Ruhezeit: Je nach Messapparatur werden die Hähnen zu den Erdwärmesonden geschlossen. Der Druck zum Zeitpunkt 4E in Figur 5 wird protokolliert. Der Druckabfall von 3E zu 4E darf maximal 30% betragen.	60 Min.
5	Druckabsenkphase: Für eine Druckabsenkung von 2 bar, Wasser ablassen. Die Menge und der Druck zum Zeitpunkt 5E in Figur 5 werden protokolliert. Die Menge darf nicht mehr sein, als in Tabelle 3 aufgeführt. Falls die Wassermenge grösser ist, ist Luft im Kreislauf. Der Test muss inkl. Entspannungsphase wiederholt werden (zurück zu 1).	
6	Kontraktionsphase: Die Erdwärmesonde zieht sich zusammen. Der Druck steigt wieder an. Der Druck wird im 10 Minuten Rhythmus protokolliert 6A, 6B, 6C in Figur 5. Der Druck darf von 6A zu 6B zu 6C nicht abfallen, d.h. er sollte leicht ansteigen oder gleich bleiben. Fällt er hingegen messbar ab, ist das System undicht. In diesem Falle sind das Prüfgerät und die Verbindungen zuerst selber zu überprüfen. Anschliessend ist die Prüfung für jeden Kreis einzeln durchzuführen. Die Entspannungsphase ist zu beachten (zurück zu 1). Bei mit elektronischen Druckfühlern aufgenommenen Druckkurven ist bezogen auf das Maximum ein Druckabfall von mehr als 0.1 bar nicht zulässig (Rauschen).	30 Minuten



Druckprüfung von Erdwärmesonden in Anlehnung an DIN V 4279-7



Figur 5: Druckprüfung in Anlehnung an DIN V 4279-7. Die dargestellte Druckkurve wurde mit dem später in Kapitel 3.1 vorgestellten Prüfgerät während dem Test einer dichten, 290 m Erdwärmesonde aufgenommen. Die effektiv Werte sind eingetragen.

Gemäss der Berechnungsgrundlage aus Kapitel 2.2.3 ergeben sich bei 2 bar Druckentlastung folgende in Tabelle 3 aufgeführte, maximal zulässigen Wassermengen (Siehe auch Tabelle 2, Punkt 4). Die Zuleitungen machen je nach Länge sehr wenig aus und können meistens vernachlässigt werden (siehe Tabelle 4).

Tabelle 3: Zulässiges Wasservolumen für die Druckentlastung von $P_{ab}=2\text{bar}$ (Siehe auch Tabelle 2, Punkt 4).

Kontraktion für PE-100 SDR 11 Rohre bei $P_{ab} = 2 \text{ bar}$							
Rohr	ø25 mm	ø32 mm	ø40 mm	ø50 mm	ø63 mm	ø75 mm	PE-100
Sondendurchmesser d_a	25	32	40	50	63	75	mm
Wandstärke s	2.3	2.9	3.7	4.6	5.8	6.8	mm
pro m in ml	0.9187	1.5421	2.3315	3.67	5.83	8.46	ml/m
max. Wasservolumen bei handelsüblichen Erdwärmesonden				Zuleitung pro Rohr			
ø32 mm	Volumen	ø40 mm	Volumen	Länge	ø32 mm	ø40 mm	ø50 mm
EWS 50m	0.308 Liter	EWS 102m	0.951 Liter	5 m	0.008 Liter	0.012 Liter	0.018 Liter
EWS 60m	0.370 Liter	EWS 127m	1.184 Liter	10 m	0.015 Liter	0.023 Liter	0.037 Liter
EWS 70m	0.432 Liter	EWS 140m	1.306 Liter	15 m	0.023 Liter	0.035 Liter	0.055 Liter
EWS 80m	0.493 Liter	EWS 152m	1.418 Liter	20 m	0.031 Liter	0.047 Liter	0.073 Liter
EWS 90m	0.555 Liter	EWS 165m	1.539 Liter	25 m	0.039 Liter	0.058 Liter	0.092 Liter
EWS 100m	0.617 Liter	EWS 175m	1.632 Liter	30 m	0.046 Liter	0.070 Liter	0.110 Liter
EWS 112m	0.691 Liter	EWS 185m	1.725 Liter	35 m	0.054 Liter	0.082 Liter	0.129 Liter
EWS 125m	0.771 Liter	EWS 200m	1.865 Liter	40 m	0.062 Liter	0.093 Liter	0.147 Liter
EWS 137m	0.845 Liter	EWS 225m	2.098 Liter	45 m	0.069 Liter	0.105 Liter	0.165 Liter
EWS 150m	0.925 Liter	EWS 250m	2.331 Liter	50 m	0.077 Liter	0.117 Liter	0.184 Liter
EWS 175m	1.079 Liter	EWS 300m	2.798 Liter	55 m	0.085 Liter	0.128 Liter	0.202 Liter
EWS 200m	1.234 Liter	EWS 350m	3.264 Liter	60 m	0.093 Liter	0.140 Liter	0.220 Liter

Tabelle 4: Wasservolumen der Zuleitungen. Beispiel: 1 Stück Erdwärmesonde 152m ø 40mm mit Y Formstück und Zuleitung 2 x 10m ø 50mm.

Erdwärmesonde 152m ø 40mm	1.418 Liter
Zuleitung VL 10m ø50mm	0.037 Liter
Zuleitung RL 10m ø50mm	0.037 Liter
Total	1.491 Liter

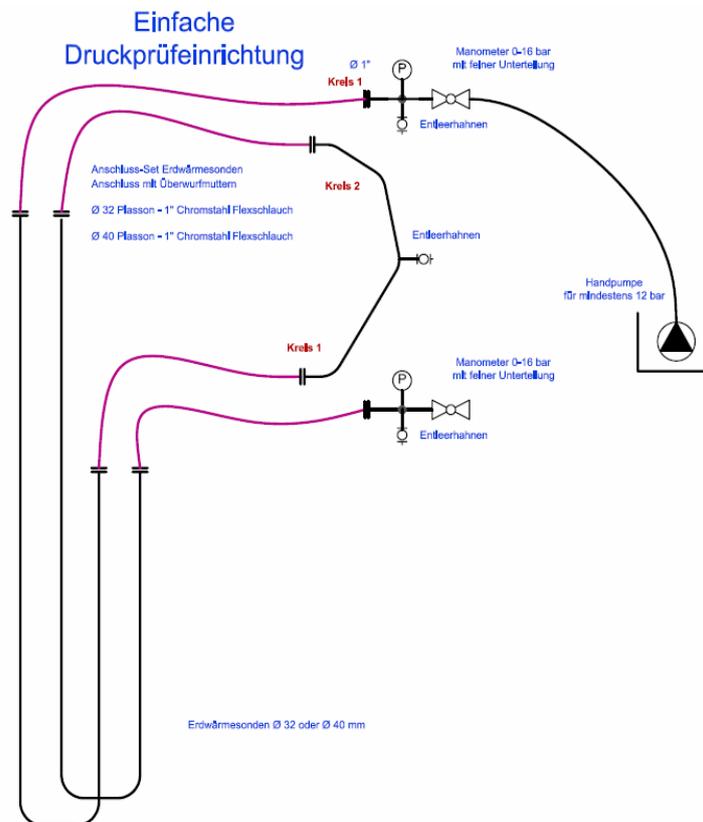
3. Messapparaturen

In Figur 1 sind die minimal notwendigen Elemente für die Druckprüfung nach DIN V 4279-7 aufgezeichnet. Die Apparatur kann so erweitert werden, dass damit auch das Spülen und der Durchflusstest zusammen mit der Druckprüfung gemacht werden kann. Im folgenden sind Varianten beschrieben, die in der Praxis bereits eingesetzt wurden.

3.1 Einfache Messapparatur

Für eine vertikale Erdwärmesonde kann der Aufbau nach Figur 1 mit geringen Anpassungen übernommen werden (siehe Figur 6, Figur 7, Figur 8). Die Hauptelemente sind:

- Ankoppelung an die Erdwärmesonden mit Klemmringverschraubungen und flexiblen Schläuchen mit Chromstahl-Flexgewebe-Ummantelung (keine Balloneffekt).
- Entlüftungs- / Entleerhähnen bei Eintritt und Austritt für die vollständige Entlüftung des Systems.
- Manometer beim Eintritt; als Kontrollgrösse empfiehlt es sich auch ein Manometer am Austritt anzubringen.
- Abschlusskugelhähnen an Ein- und Austritt mit einfacher Ankopplung an die Füllpumpe. Für die Entlüftung der Erdwärmesonde muss die Pumpe an beiden Anschlüssen abwechselnd angekoppelt werden, um die Luft aus der Erdwärmesonde auszustossen.
- Füllpumpe (Handpumpe mit mindestens 12 bar Fülldruck).



Figur 6: Schema einfache Druckprüfeinrichtung

Die in Figur 6 dargestellte Druckprüfeinrichtung kann einfach für eine Durchflussprüfung ergänzt werden (siehe Figur 9). Dazu wird ab den beiden Haupthähnen, an Stelle der Füllpumpe, je ein Füll- und Entleerschlauch mit zusätzlichem Manometer (max. 0-6 bar) montiert. Über den Differenzdruck und den Durchfluss (Wasserzähler oder Messkübel) kann der Durchflusstest gemacht werden. Wichtig ist, dass die Haupthähnen mindestens einen offenen Durchgang von 1" besitzen, damit der Messfehler gering ist.

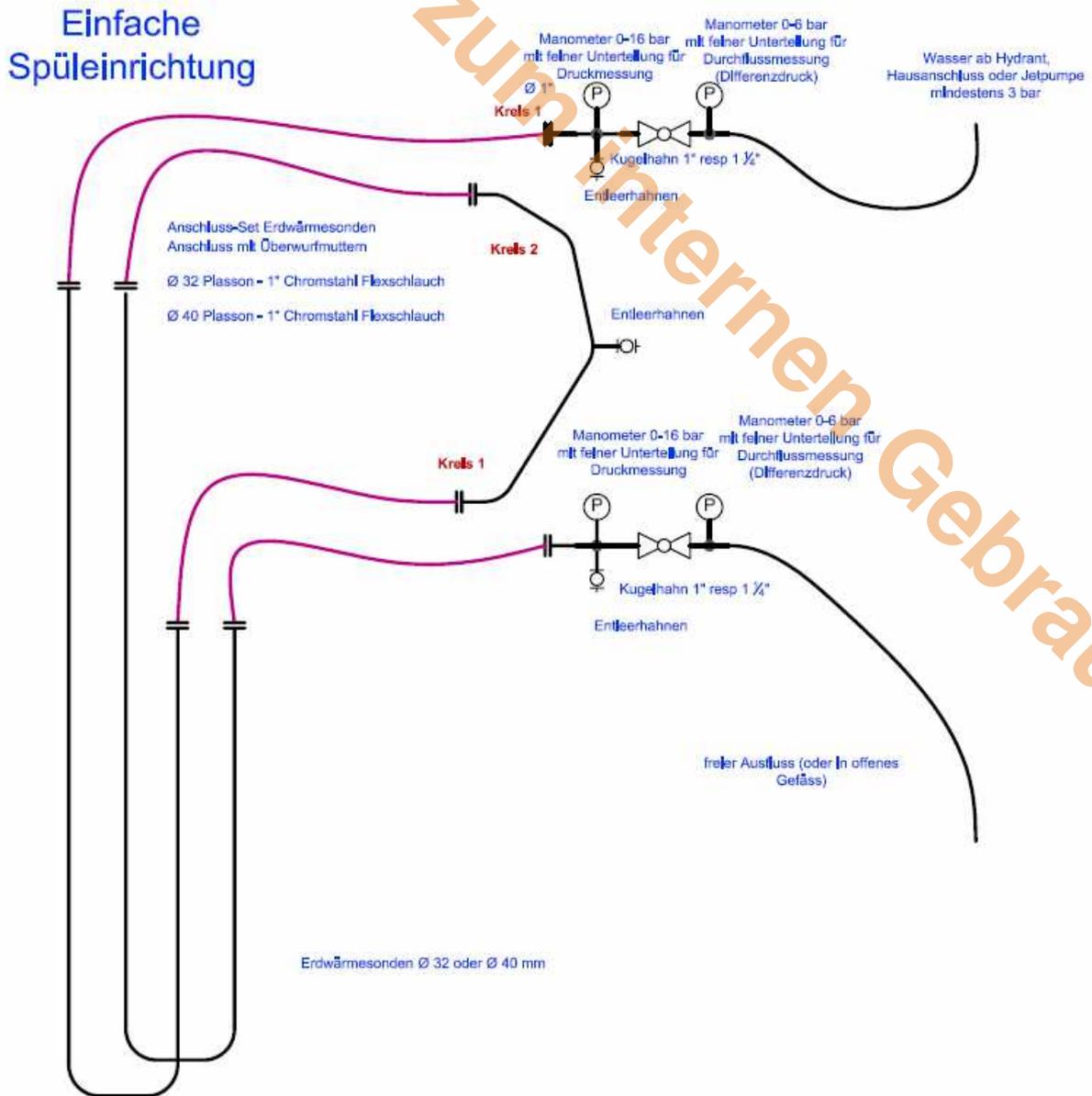


Figur 7: Einfache Prüfgarnitur (Durchfluss- und Druckprüfung) zur direkten Ankoppelung an den Erdwärmesonden-Kreis.

Die Prüfeinrichtung in Figur 8 besteht aus Handpumpe, Entlüftungshähnen und Manometer. Zusätzlich ist ein elektronischer Geber (Drucksensor) und eine Datenerfassung angeschossen. Mit der Waage wird das abgelassene Wasservolumen gemessen. Es kann auch über ein Litergefäß bestimmt werden.



Figur 8: Einfache Prüfeinrichtung mit Hand-Füllpumpe, ergänzt mit elektronischem Drucksensor und Datenerfassungssystem, angeschlossen an EWS Verteiler in Garage.

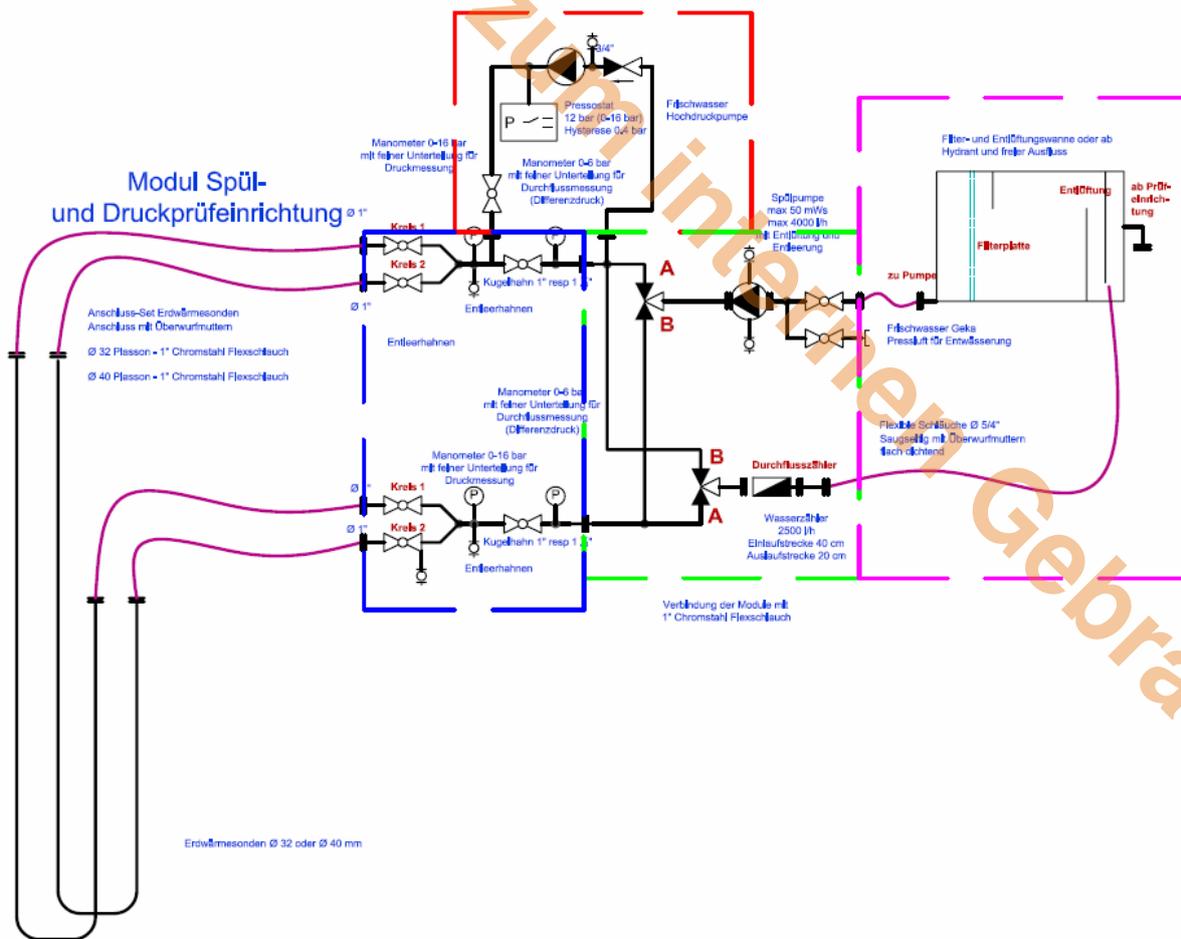


Figur 9: Schema einfache Druckprüfeinrichtung mit Spüleinrichtung.

3.2 Teilautomatische Messapparatur

Damit die Messung mit möglichst geringem Aufwand durchgeführt werden können, kann die Messeinrichtung erweitert und automatisiert werden. In der Figur 10 ist ein entsprechender Aufbau dargestellt. Die einzelnen farbig gekennzeichneten Funktions-Module können entweder als Ganzes oder über Kupplungen nach Bedarf zusammengebaut werden.

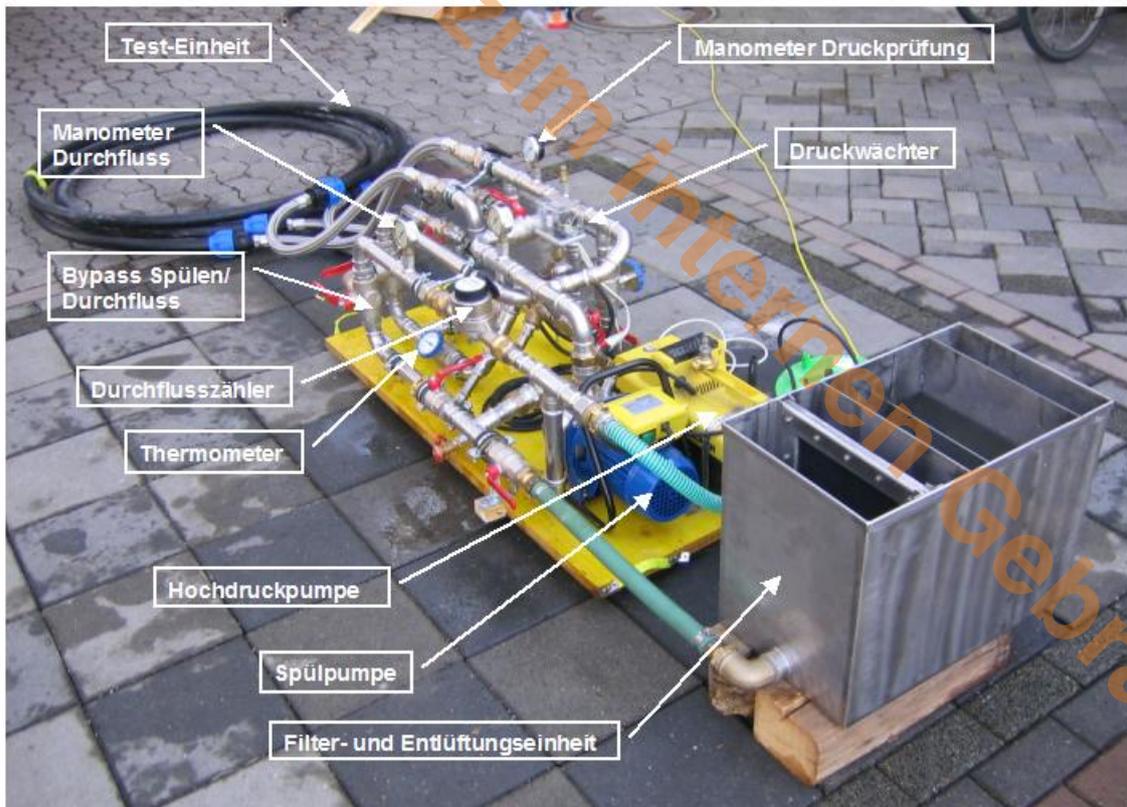
- Blau: Druck- und Durchflussprüfmodul
- Grün: Spül- und Durchflussmodul mit Umkehrventilen, Spülpumpe und Wasserzähler
- Magenta: Filter- und Entlüftungseinheit, damit das Wasser beim Spülen wieder verwendet werden kann
- Rot: Druckhalteeinheit; Der Druck wird über den Pressostaten gehalten



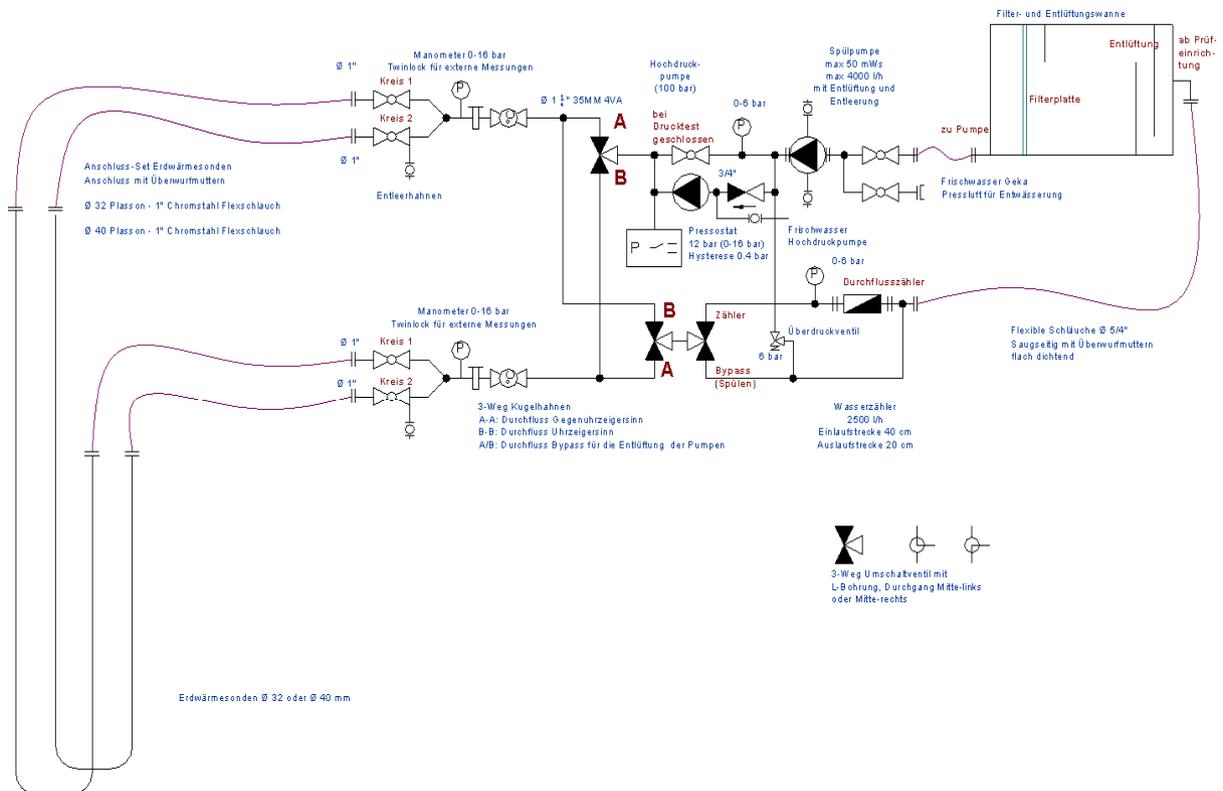
Figur 10: Modulare Druck- und Durchflussprüfeinrichtung

Für die in diesem Bericht dargestellten Messungen wurde von der ENGEO AG Arnegg die in Figur 11 gezeigte Messapparatur gebaut. Das Prinzipschema ist in Figur 12 dargestellt. Sie umfasst alle Module aus Figur 10. Um die Beeinflussung der Messresultate durch die Prüfeinrichtung möglichst gering zu halten, wurde die Verrohrung in einem grossen Durchmesser (\varnothing 35mm) und Chromstahl (MM V4A) ausgeführt. Damit kann von einer kurzen 50 m \varnothing 32 mm bis zur tiefen 350m \varnothing 40 mm Erdwärmesonde alles gemessen werden. Die Filter- und Entlüftungseinheit erlaubt es, das System zuverlässig und schnell zu entlüften und verschmutzte Erdwärmesonden zu spülen. Die Bedienung ist im Kapitel 4 detailliert beschrieben. Die Prüfeinrichtung hat folgende Funktionen:

- Restfüllen der Erdwärmesonden
- Entlüften mit Umkehrung von Vor- und Rücklauf ohne Umhängen der Anschlüsse über Entlüftungseinheit
- Spülen der Erdwärmesonden über Bypass und Filtereinheit mit Spülpumpe ($H_0 = 50$ mWs, $V_{\max} = 4000$ l h⁻¹)
- Durchflussmessung mit Präzisionsmanometer und Wasserzähler über Messstrecke
- Druckprüfung nach DIN V 4279-7. Der Anfangsdruck von 12 bar wird mit einer Hochdruckpumpe und Pressostat aufgebracht.
- Zusätzliche Twinlock Messeinsätze für Drucksensoren und Temperaturfühler



Figur 11: Prüfgerät, wie es in diesem Bericht eingesetzt wurde.

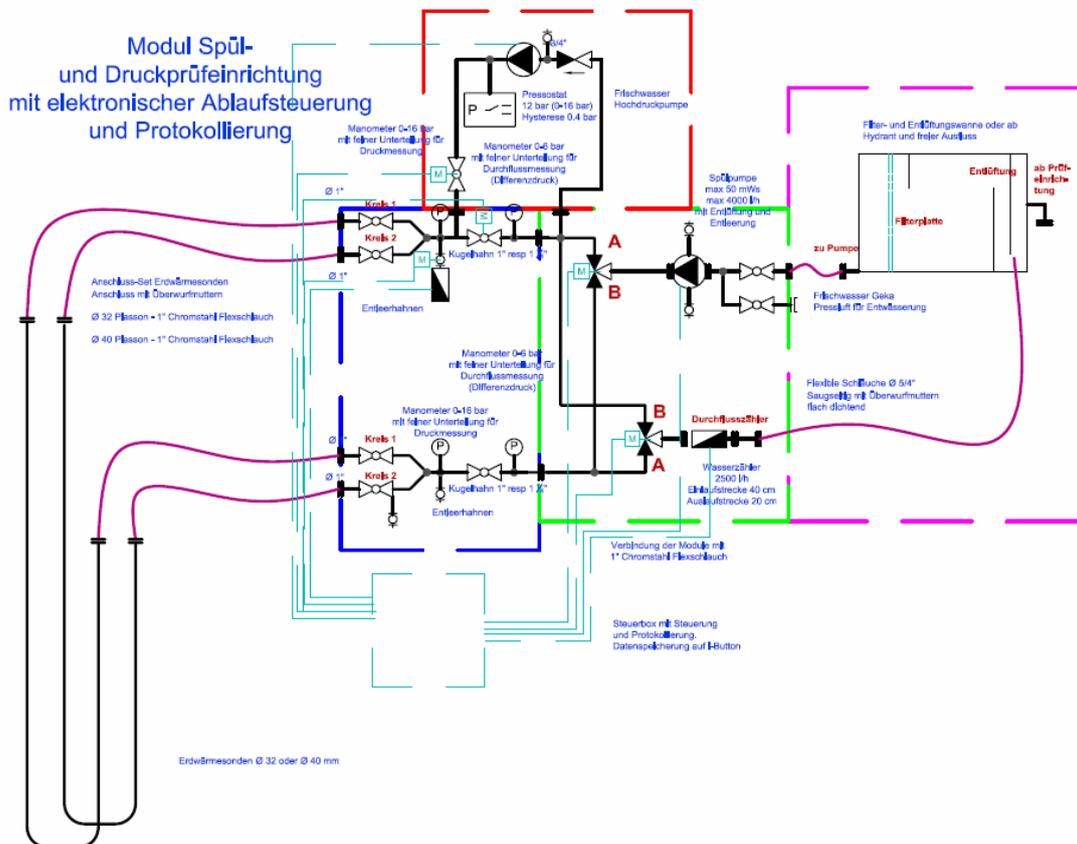


Figur 12: Schema der Messeinrichtung, wie sie in diesem Bericht eingesetzt wurde.

Für den Betrieb auf einer Baustelle ist diese Einrichtung zu schwer. Die Firma HASTAG AG hat eine Messeinrichtung gebaut (Figur 13), die von der Funktion her den Modulen blau, rot und grün gemäss Figur 10 entspricht. Die Anschlüsse sind jedoch nur in der Dimension 1/2" ausgeführt. Ein Durchflusstest kann darum nur bedingt ausgeführt werden. In Figur 14 ist das Schema einer Prüfeinrichtung mit elektronischer Ablaufsteuerung und Datenerfassung gezeigt. Mit einer solchen Einrichtung, handlich konstruiert, könnte die Qualität der Messung standardisiert werden.



Figur 13: Prüfgerät, wie es von der Firma HASTAG AG eingesetzt wird.



Figur 14: Prinzipschema Prüfeinrichtung mit elektronischer Ablaufsteuerung

4. Versuchsdurchführung und Auswertung

In diesem Kapitel wird die praktische Durchführung detailliert beschrieben und illustriert. Im Anhang sind die entsprechenden Protokolle und Diagramme enthalten.

4.1 Protokoll

Das Protokoll ist wie folgt aufgebaut und kann unter www.fws.ch heruntergeladen werden:

Bohr AG		Prüf- und Abnahmeprotokoll					
		Durchflusstest und Druckprüfung von Erdwärmesonden in Anlehnung an DIN V 4279-7					
Objekt		Auftrag					
Bauleitung		Seite Nr.					
Umfang der Arbeiten							
Erdwärmesonde Nr.							
Fabrikationsnummer							
Länge [m]							
Durchmesser aussen/ Wandstärke [mm]							
Zuleitung ja/nein Y-Formstück ja/nein		Y:				Y:	
ø [mm], einfache Länge [m] Zuleitung (Grabenlänge)		L=				L=	
Durchflussprüfung							
Prüfdatum							
Zeit							
		Kreis 1	Kreis 2	Zuleitung mit Y	Kreis 1	Kreis 2	Zuleitung mit Y
Wasserdurchflussmenge [l/Min]							
Druck EWS Eintritt [bar]							
Druck EWS Austritt [bar]							
Differenzdruck [bar]							
Bedingung erfüllt ja/nein							
EWS gespült ja/nein							
Temperatur EWS am EWS Anfang ¹⁾							
Temperatur EWS max.[°C] (nach halber Spüldauer) ¹⁾							
Druckprüfung nach DIN V 4279-7							
Prüfdatum / Zeit / mit Y-Formstück ja-nein							
		Dauer	Zeit	EWS	Dauer	Zeit	EWS
1	Nachprüfung (ja/nein) Ruhezeit 60 Minuten	60 Min			60 Min		
2	Prüfdruck aufbringen (12 bar +/- 1 bar)	<10 Min	-10 Min		<10 Min	-10 Min	
3	Druckhaltephase (Min. 10 bar) (3E)	10 Min	0 Min		10 Min	0 Min	
4	Ruhezeit Druckabfall max. 30% ab Anfang Ruhezeit (4E)	60 Min	60 Min		60 Min	60 Min	
5	Druck um 2 bar reduzieren (5E)						
Menge des abgelassenen Wassers in Liter							
6	Hauptprüfung (Dauer 30 Minuten) (6A)	10 Min	70 Min		10 Min	70 Min	
	(6B)	10 Min	80 Min		10 Min	80 Min	
	(6C)	10 Min	90 Min		10 Min	90 Min	
Bedingung erfüllt (ja/nein)							
Injektion (Standard 100kg Bentonit 200 kg Zement, 900 kg Wasser)		Bent.	Zement	Wasser	Bent.	Zement	Wasser
Bentonit / Zement / Wasser in Liter resp. Kg							
oder Fertigmischung, Fabrikat, Wasser pro 100 kg							
Bis UKT verfüllt ja/nein bei nein Meter UKT		Meter UKT				Meter UKT	
Abnahme		Bauherr oder Vertreter			Geräteführer		
Ort und Datum							

Kopfdaten für die Qualitätssicherung

Grunddaten für maximal 2 EWS

Durchflussprüfung für maximal 2 EWS, Unterscheidung für Einzelmessungen oder Messung einer EWS, die mit Y-Formstück angeschlossen ist. Details siehe Kapitel 4.4

Druckprüfung für maximal 2 EWS in Anlehnung an DIN V 4279-7, Details siehe Kapitel 4.5

Daten über die Injektion für die kantonalen Gewässerschutzbehörden

Abnahme nach SIA 118

¹⁾ optional, gehört nicht zum Test

4.2 Füllen, Entlüften der Prüfeinrichtung und der Erdwärmesonden

Bevor die Druckprüfung durchgeführt werden, sind einige vorbereitenden Arbeiten nötig, wie Füllen, Entlüften und Spülen der Prüfeinrichtung und der Erdwärmesonden. Dies wird nachfolgend detailliert beschrieben. Die Beschreibung bezieht sich auf die in Kapitel 3.2 vorgestellte Messapparatur (Variante ENGEO AG).

Bei den 3-Weg Kugelhähnen ist die Stellung, respektive Durchflussrichtung an den Pfeilen erkennbar.



Vorgehen

1. Prüfeinrichtung neben Erdwärmesonde aufbauen und Erdwärmesonden mit den flexiblen Metallgewebesläuchen (Inox) mit Kunststoff-Klemmringverschraubungen an die Prüfeinrichtung anschliessen. Den einen Erdwärmesondenkreis an die oberen beiden Hähnen (Kreis 1) anschliessen, den anderen an die unteren (Kreis 2).



2. Sämtliche Entwässerungshähnen schliessen.

3. Filtereinheit mit Wasser füllen, entweder direkt oder über den Füllanschluss. Die Filterplatte muss sauber sein. Es darf kein Schmutz in der Wanne liegen.



4. Spülpumpenentlüftungshähnen öffnen bis Wasser austritt, dann schliessen.



5. Prüfeinrichtung entlüften.
a. Hähnen für Durchflusstest öffnen



- b. Spülpumpe einschalten.
c. 3-Weg Kugelhähnen auf Bypassstellung A/B stellen bis keine Luft mehr in die Filtereinheit gepumpt wird. Der eine Hahn (1) wird auf A, der andere (2) auf B gestellt.
d. Beide 3-Weg Kugelhähnen umschalten auf Stellung B/A, um 2-ten Bypass zu spülen

Hahn 1



Hahn 2



- e. 3-Weg Kugelhähnen für Zähler/Bypass umschalten, um sowohl den Zähler, wie auch die Bypassstrecke zum Spülen zu entlüften. Anschliessend auf Stellung Bypass (unten) stehen lassen.

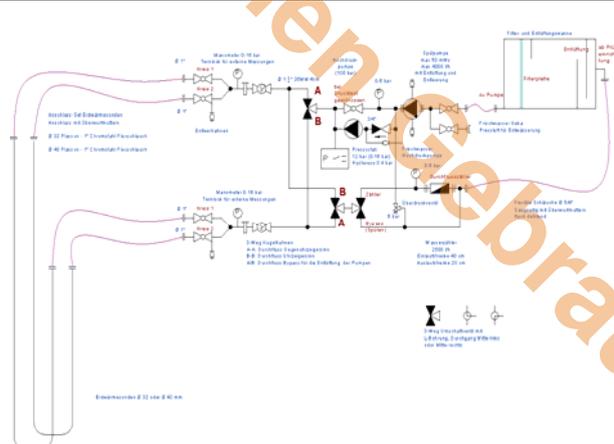


- f. Hähnen für Durchflusstest schliessen und damit Hochdruckpumpe füllen, Hochdruckpumpe einschalten und kurz laufen lassen, anschliessend die Bypasshähnen wieder öffnen



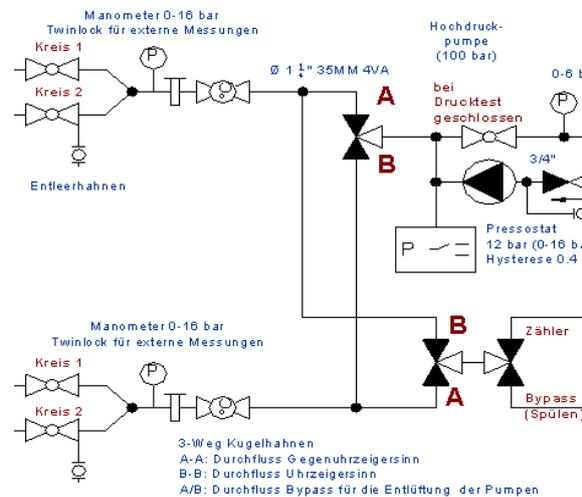
6. Erdwärmesonden und eventuell angeschlossene Zuleitung füllen und entlüften.

- a. Spülpumpe einschalten, Hähnen für Durchflusstest öffnen
b. Die Erdwärmesonden werden pro Kreis einzeln entlüftet. Kreis 1 öffnen, Kreis 2 schliessen.



(siehe Figur 10)

- c. Zuerst werden beide 3-Weg Hähnen auf Stellung A gestellt. Die Erdwärmesonden werden im Gegenuhrzeigersinn gespült. Es wird so lange gespült, bis keine Luft mehr in die Entlüftungswanne einströmt. Bei teilweise gefüllten Zuleitungen genügend lang spülen. Auf den Wasserstand in der Wanne achten, genügend Wasser nachströmen lassen. Die Spülzeit für Stellung A-A notieren



- d. Optional kann die Temperatur beim Austritt der Erdwärmesonde notiert werden (Protokoll). Die Temperatur ist für den Planer ein wichtiger Hinweis für die Dimensionierung der Erdwärmesonden. Eintrag am Anfang, d.h. ca. 30 Sekunden nach Einschalten der Spülpumpe und anschliessen beim Maximum (halbe Spüldauer).



Thermometer für Erdwärmesondentemperatur

- e. Hahn auf B-B umschalten. Es wird über die bereits entlüftete Seite Wasser in die Erdwärmesonde gestossen. Eingeschlossene Luft auf der anderen Seite wird in die Entlüftungswanne befördert. Um sicher zu sein, dass keine Luft mehr im System ist mindestens solange zu Spülen wie bei Stellung A-A notiert wurde.

- f. Hahn wieder auf A-A umschalten, Kreis 1 schliessen, Kreis 2 öffnen und die Prozedur ab Punkt c für den zweiten Kreis wiederholen.

4.3 Spülen der Erdwärmesonden

Falls die Möglichkeit besteht, dass Sand oder anderer Schmutz in die Erdwärmesonde gelangen konnte, wird die Erdwärmesonde über die Filtereinheit gespült. Für die notwendige Mindestspüldauer sind Diagramme für \varnothing 32 und \varnothing 40 mm Erdwärmesonde unterschiedlicher Tiefe in Figur 15 und Figur 16 enthalten. Die Kreise werden einzeln gespült.

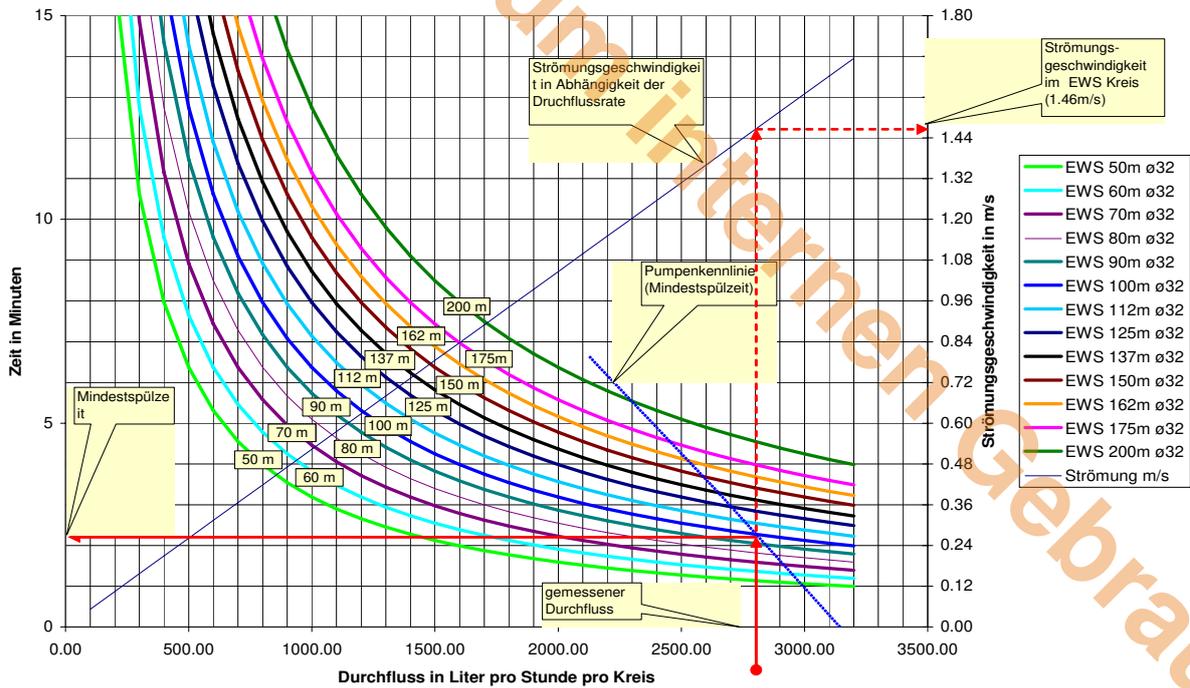
Um einen Erdwärmesondenkreis sicher von Schmutz zu befreien, muss die Sondenflüssigkeit mindestens einen vollständigen Umlauf durch den Kreis zurückgelegt haben. Anhand der Figur 15 (Beilage im Anhang) wird für eine 100 m lange, \varnothing 32 mm Erdwärmesonde gezeigt, wie die Kreise zu spülen sind:

1. 3-Weg Kugelhähnen auf Zähler stellen und Durchfluss ablesen (l pro min.), Beispiel 46.3 l pro min.
2. 3-Weg Kugelhähnen wieder auf Bypass stellen, damit kein verschmutztes Wasser den Zähler beschädigt.
3. Wert auf der Durchflussachse eintragen und eine Linie nach oben ziehen, bis sie die eingebaute Sondenlänge schneidet (Beispiel: 100m).
4. Linie nach links ziehen und Mindestspülzeit ablesen (Beispiel: 2 Min 20 Sec.).

Im vorliegenden Fall würde man also ca. 3 Minuten lang zuerst den einen, dann der anderen Erdwärmesondenkreis spülen. Wenn nötig muss zwischendurch die Wanne gesäubert werden. Der Thermometer zeigt nach der halben Spülzeit die maximale Temperatur an (Sondenfuss). Dieser Wert kann im Protokoll vermerkt werden. Ist bereits eine Y-Verlängerung angeschlossen, ist die Zeit mindestens zu verdoppeln.

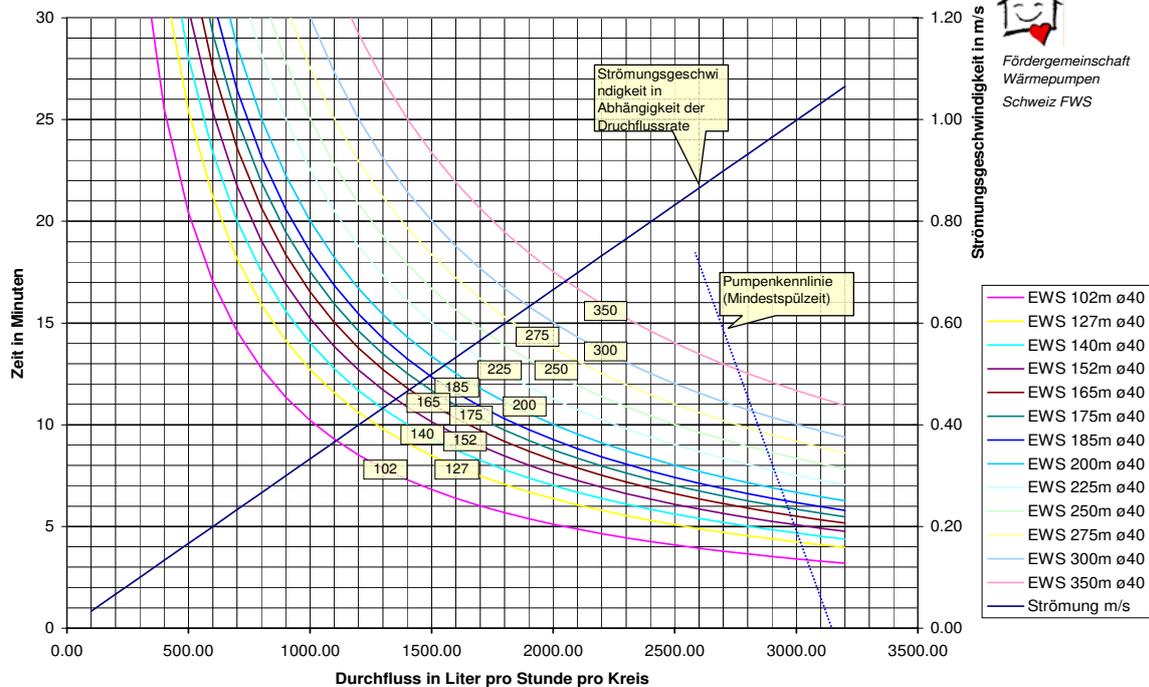
In den Diagrammen gemäss Figur 15 und Figur 16 ist noch eine Pumpenkennlinie eingezeichnet. Diese entspricht der Pumpe aus der Einrichtung gemäss Figur 11. Zum Spülen sollte, wie im Beispiel gezeigt, eine genügend starke Pumpe eingesetzt werden, damit die Spülzeiten nicht zu lange sind und damit auch Steinchen heraufgespült werden können.

Mindestspüldauer für einen Umgang bei $\phi 32\text{mm}$ EWS pro Kreis



Figur 15: Mindestspüldauer für $\phi 32\text{mm}$ Erdwärmesonden verschiedener Tiefe (pro Kreis). Ist bereits eine Y-Verbindung an der Sonde angeschlossen, muss die Spüldauer mindestens verdoppelt werden.

Mindestspüldauer für einen Umgang bei 40 mm EWS



Figur 16: Mindestspüldauer für $\phi 40\text{mm}$ Erdwärmesonden verschiedener Tiefe (pro Kreis). Ist bereits eine Y-Verbindung an der Sonde angeschlossen, muss die Spüldauer mindestens verdoppelt werden.

4.4 Durchflusstest

Wird bei der bereits entlüfteten Erdwärmesonde beim Spülen zusätzlich die Durchflussmenge und die Druckdifferenz beim Ein- und Austritt gemessen, kann überprüft werden, ob Quetschungen, Querschnittsverengungen (ovale Rohre) oder grössere Fremdkörper den Durchfluss behindern. In diesem Fall wäre die Funktion der Erdwärmesonde eingeschränkt. Um diesem Qualitätskriterium Rechnung zu tragen ist im Protokoll Kapitel 4.1 ein entsprechender Abschnitt eingefügt.

Die Durchführung eines Durchflusstests mit der in Kapitel 3.2 vorgestellten Messapparatur wird nachfolgend beschrieben (siehe auch Figur 11 und Figur 12). Die Kapitel 4.4.1 und 4.4.2 zeigen als Beispiel gemessene Durchflusstests für eine 100 m tiefe, \varnothing 32 mm Erdwärmesonde ohne und mit angeschlossenem Y-Verbindungsstück.

Vorgehen: Jeder Erdwärmesondenkreis wird einzeln gespült.

<ol style="list-style-type: none">1. 3-Weg Hähnen auf Durchflusszähler stellen.2. Die beiden anderen 3-Weg Hähnen auf die gleiche Stellung schalten (A-A).	
<ol style="list-style-type: none">3. Den oberen Erdwärmesondenkreis öffnen (Kreis 1), Unterer (Kreis 2) schliessen	
<ol style="list-style-type: none">4. Durchflusszähler ablesen. Am einfachsten ist es sich den Durchfluss zu notieren, eine Minute zu warten und den Durchfluss erneut zu notieren. Die Differenz ist die Durchflussmenge in l pro min.. Der Zähler zeigt im Zählwerk M³.LLL an, d.h. die roten Ziffern sind direkt Liter. Der Zeiger hat eine 0.1 l Einteilung. Die errechnete Durchflussmenge im Protokoll eintragen.	

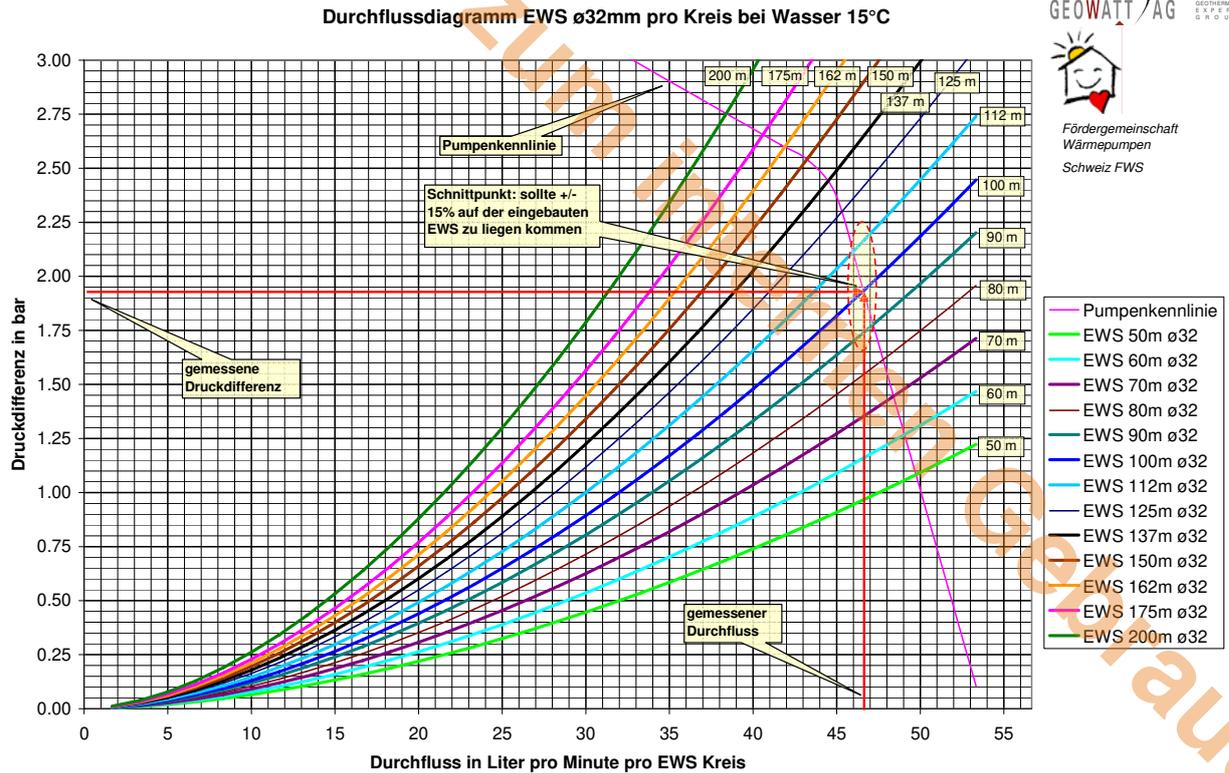
<p>5. Druck der beiden Präzisionsmanometer im Protokoll eintragen. Druckdifferenz berechnen.</p>	
<p>6. Durchfluss und Druckdifferenz (Ein- Austritt Erdwärmesonde) im Durchflussdiagramm nachschauen, ob die Werte im Toleranzband von $\pm 15\%$ liegen (siehe Kapitel 4.4.1). Das Resultat im Protokoll eintragen. Die Diagramme sind für Wasser von 15 °C berechnet worden. Die Abweichung im Bereich von 5 bis 20 °C ist gering und können vernachlässigt werden. Sie gelten jedoch nicht für mit Frostschutz gefüllte Erdwärmesonden.</p> <ol style="list-style-type: none">Ist die Abweichung grösser als $\pm 15\%$ liegt ein Fehler vor.Prüfeinrichtung prüfen („Kurzschluss“ zwischen den Anschlusshähnen und mit einem Reststück Sondenrohr herstellen. Die Druckdifferenz sollte beinahe 0 sein).Ist die gemessene Druckdifferenz wesentlich grösser als die gerechnete, so liegt eine Quetschung oder Verschmutzung vor. → Sonde spülen. Falls sich der Durchfluss nicht korrigieren lässt, muss mit dem Auftraggeber Kontakt aufgenommen werden.	
<p>7. Die Prozedur für den anderen Kreis wiederholen</p>	

4.4.1 Durchflusstest am Beispiel einer $\varnothing 32$ mm Erdwärmesonde 100 m

Der Durchflusstest soll am Beispiel einer 100m Erdwärmesonde $\varnothing 32$ mm erläutert werden. In der Figur 17 sind die Druckverluste verschiedener handelsüblichen Erdwärmesonden mit $\varnothing 32$ mm in Abhängigkeit der Durchflussmenge dargestellt. Im Beispiel wurden folgende Werte gemessen und lassen sich gemäss Figur 17 wie folgt interpretieren.

- Durchfluss des ersten Kreises messen. Er beträgt 46.7 l pro min..
- Diesen Wert auf der Achse "Durchfluss in Liter pro Minute pro Erdwärmesonde Kreis" eintragen
- Eine Linie nach oben ziehen, bis sie die verwendete Erdwärmesonde (100m) schneidet.
- Die berechnete Druckdifferenz (1.94 bar) auf der linken Seite ablesen und mit der gemessenen vergleichen (2.0 bar), Abweichung 3 %, im Beispiel liegt man im Toleranzband ($\pm 15\%$). Im Protokoll kann unter "Bedingungen erfüllt" ein "ja" vermerkt werden.

Analoges gilt für $\varnothing 40$ mm Sonden (Diagramm im Anhang).



Figur 17: Durchflussdiagramm für eine Erdwärmesonde mit 32 mm Rohrdurchmesser

4.4.2 Durchflussprüfung von Erdwärmesonden mit angeschlossener Y-Verlängerung

Je nach Kundenwunsch schliessen die Bohrfirmen die Verlängerungen direkt an die Erdwärmesonde an. Üblicherweise werden die beiden Vor- und Rückläufe über ein Y-Formstück zu einem Vor- und Rücklauf zusammengefasst. Um dieses Gesamtbauwerk zu überprüfen ist beim Durchflusstest der geänderten Hydraulik Rechnung zu tragen. In der Figur 18 sind die entsprechenden Kurven dargestellt. Dieses Diagramm wurde nach den Formeln von Prandtl, Kármán und Colebrook für Wasser mit 15° Medientemperatur erstellt.

Die Druckdifferenz ist wesentlich geringer, als wenn pro Kreis geprüft wird (vergleiche Figur 18 mit Figur 17). Im Diagramm ist zudem eine Druckkurve für eine 100 m lange Zuleitung mit ø 40mm (einfache Distanz, d.h. Grabenlänge) eingetragen. Üblicherweise ist diese wesentlich kürzer (z.B.: Vor- und Rücklauf je 10 m). Die Durchflussprüfung wird am Beispiel einer 100m ø 32mm Sonde erklärt:

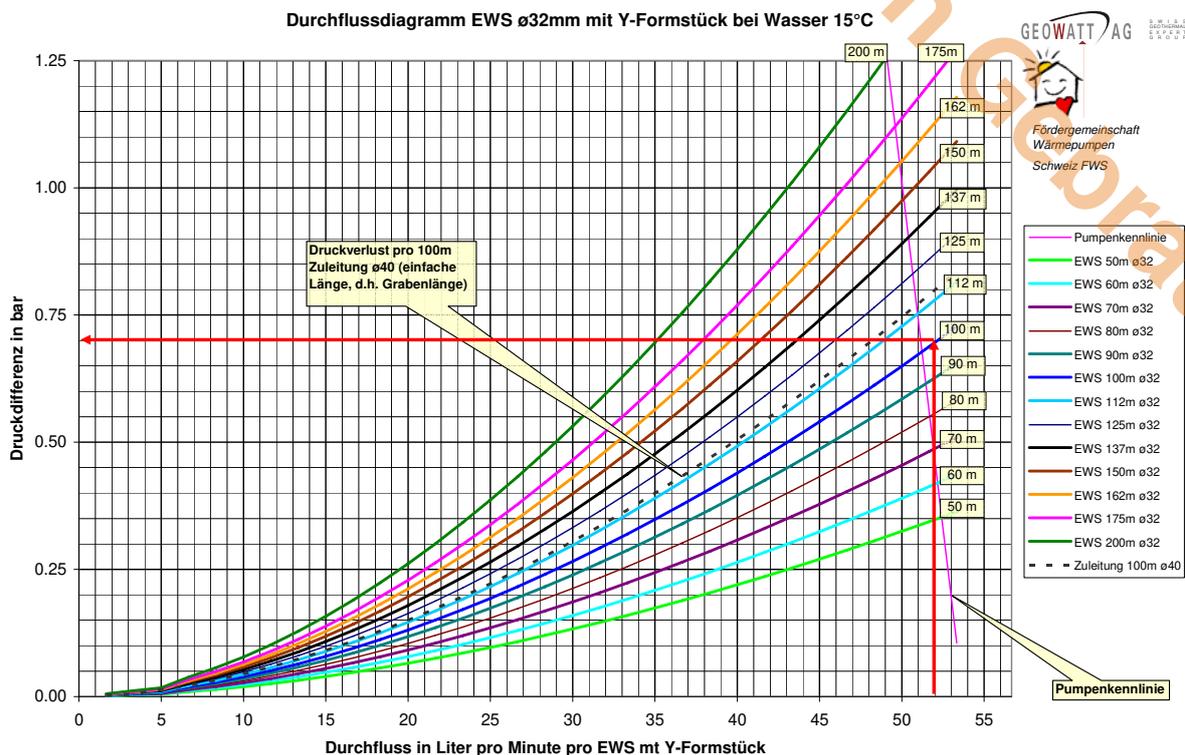
1. Durchfluss und Druckdifferenz messen. (Beispiel: 52 l pro min, Druckdifferenz 0.8bar)
2. Den Durchflusswert auf der Achse "Durchfluss in Liter pro Minute pro Erdwärmesonde mit Y-Formstück" eintragen (Beispiel 52 l pro min.).
3. Eine Linie nach oben ziehen, bis sie die Kurve "Zuleitung 100m" schneidet. Druckdifferenz auf der linken Seite ablesen (0.7 bar)
4. Druckdifferenz für die effektiv berechnete Zuleitung berechnen

$$\text{Druckdifferenz_Zuleitung} = \frac{\text{abgelesene_Druckdifferenz} * \text{effektive_Zuleitungslänge}}{100\text{m}}$$

Beispiel : 0.76*10/100 → 0.076 bar

5. Diese berechnete Druckdifferenz der Zuleitung von der gemessenen (Beispiel 0.8 bar) abziehen. Damit erhält man die Druckdifferenz für die Erdwärmesonde allein (Beispiel 0.8 bar - 0.076 bar → 0.724 bar)
6. Den korrigierten Wert (0.724 bar) mit dem Wert aus dem Diagramm (0.7 bar) vergleichen. Die Differenz sollte höchstens ±15% vom berechneten Wert abweichen. Falls dies nicht der Fall ist wie in Kapitel 4.4 beschrieben vorzugehen. In unserem Beispiel beträgt die Differenz $0.7/(0.724-0.7) \rightarrow 3.5\%$, d.h. die Bedingung ist erfüllt.

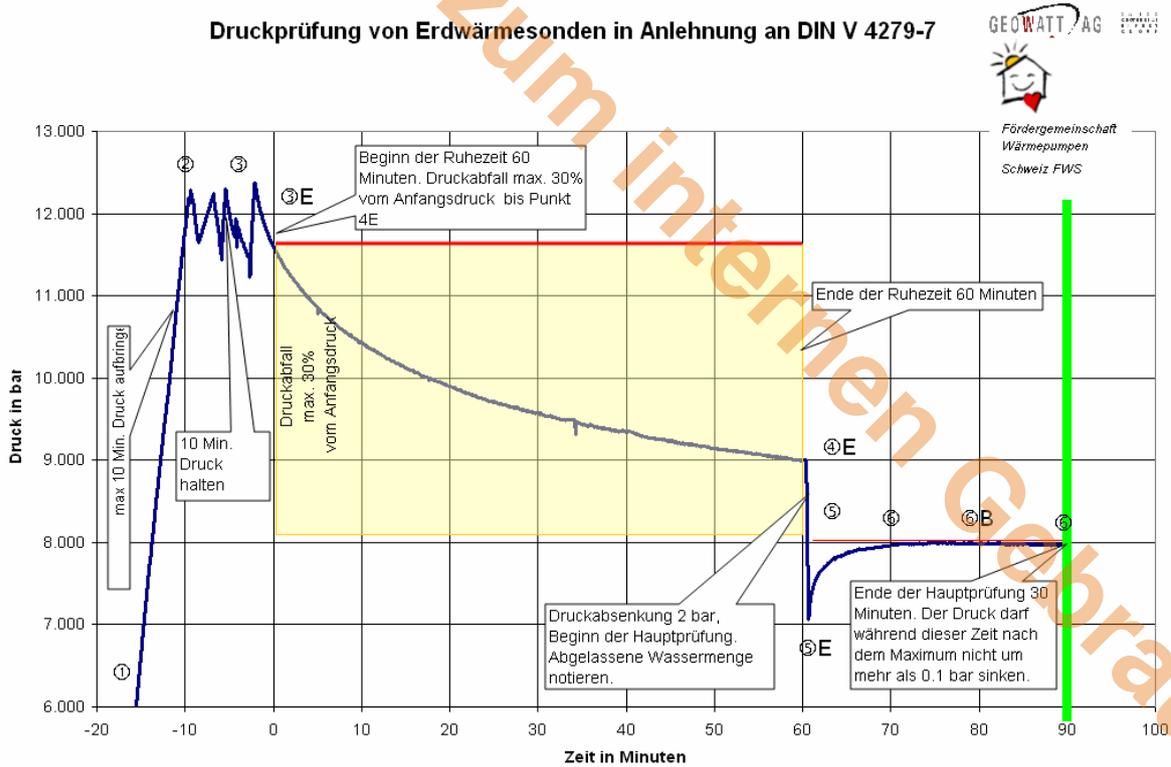
Wie das Beispiel zeigt, macht die Zuleitung 10 % des Druckverlustes der gesamten Erdwärmesonde aus. Dies veranschaulicht, dass eine kurze Zuleitung einen geringen Einfluss auf den Durchfluss hat und für die Prüfung meist vernachlässigt werden kann.



Figur 18: Durchflussdiagramm für eine Erdwärmesonde mit 32 mm Rohrdurchmesser und angeschlossenem Y-Formstück.

4.5 Druckprüfung

Nach dem Durchflusstest wird die Druckprüfung durchgeführt. Die nachfolgende detaillierte Beschreibung folgt dem in Kapitel 2 erarbeiteten Verfahren und basiert auf einer Druckprüfung, die in einer 200 m tiefen Erdwärmesonde durchgeführt wurde (siehe Figur 19). Die Punkte, die in der untenstehenden Checkliste "Vorgehen" aufgeführt werden, beziehen sich auf diese Figur. Die Anzeigen der Manometer stammen von einer anderen Messung (kurze EWS) und stimmen nicht mit der Figur 19 überein. Die Fotos zeigen aber das Vorgehen, wie es für eine Handmessung ohne Datenerfassung sinnvoll ist.



Figur 19: Beispiel für die Auswertung einer Druckprüfung

Vorgehen: Es wird die komplette Erdwärmesonden zusammen geprüft. Auf eine Ruhephase kann üblicherweise verzichtet werden, es sein denn, es wird eine Nachprüfung gemacht. Wichtig zu beachten ist, dass keine Anschlüsse geöffnet werden, damit in die gemäss Kapitel 4.2 entlüftete Erdwärmesonde keine Luft gelangen kann. Zudem sind die in Kapitel 2 erwähnten Randbedingungen zu beachten. Die nachstehenden Verweise beziehen sich auf Figur 19 und das Testprotokoll in Kapitel 4.1.

<p>1. 3-Weg Hahn auf Stellung (A-A) schalten.</p>	
<p>2. Kugelhähnen (Thermometerhahn) am Austritt der Erdwärmesonde schliessen. Der Ausgang zur Filtereinheit ist geschlossen</p>	

3. Der Druck für die Druckprüfung kann an den Druckmanometern 0-16 bar abgelesen werden. Die einzelnen Druckpunkte gemäss Protokoll werden mit Filzstift auf dem Glas des Manometers markiert (wasserfest, mit Sprit reinigen).



4. Druckaufbauphase

Spülpumpe laufen lassen, bis ein Druck von ca. 4 bis 5 bar auf dem System aufgebracht ist.

- a. Bypass Hochdruckpumpe schliessen und Hochdruckpumpe einschalten. Sie wird über den Druckwächter geregelt, d.h. schaltet selbständig bei ca. 12 bar wieder ab. Falls kein Druckwasser am Anschluss zu Hochdruckpumpe angeschlossen werden kann, die Spülpumpe während der Druckhaltephase laufen lassen.
- b. Die Zeit bis die Hochdruckpumpe das erste Mal abschaltet darf 10 Minuten nicht überschreiten.



5. Druckhaltephase.

- a. Druckhaltephase beginnt, wenn die Hochdruckpumpe das erste Mal abschaltet. Zeit notieren. Entspricht Punkt 2 im Diagramm.
- b. Die **Druckhaltephase** dauert **10 Minuten**. Der Druck muss am Ende zwischen 10 bis 13 bar liegen. Punkt 3E. Druck im Protokoll notieren und auf dem Manometer markieren
- c. Nach Ablauf der Druckhaltephase Kugelhähnen (Thermometerhahn) am Eintritt der Erdwärmesonden ebenfalls schliessen und anschliessend Pumpen abschalten.



Punkt 3E mit Blau auf dem Manometer markiert.

Zeitpunkt 0 Minuten

6. **Ruhezeit** Dauer **60 Minuten** ab Ende (3E) der Druckhaltephase bis zum Punkt 4E im Diagramm (Figur 19). Druck auf Manometer markieren (grüner Strich) und auf dem Protokollblatt eintragen

Punkt 4E,
Zeitpunkt
60 Minuten



7. Druckabsenkung: Den Druck um 2 bar reduzieren

- a. Messgefäß unter Entleerhähnen bei den Anschlüssen halten
- b. Entleerhähnen vorsichtig öffnen und so viel Wasser ablassen, bis der Druck 2 bar tiefer liegt als zum Zeitpunkt 4E
- c. Druck auf Manometer markieren (roter Strich) und auf dem Protokollblatt eintragen (Punkt 5E)
- d. Abgelassene Wassermenge im Protokoll notieren. Sie darf nicht grösser sein, als in der untenstehenden Tabelle angegeben. Sonst war noch Luft im System und der Test muss wiederholte werden. Vor einer erneuten Prüfung muss der Druck für mindestens eine Stunde abgelassen werden (Entspannungsphase 1 siehe Figur 2)



Punkt 5E, Zeitpunkt 60 Minuten

Kontraktion für PE-100 SDR 11 Rohre bei $P_{ab} = 2$ bar

Rohr	ø25 mm	ø32 mm	ø40 mm	ø50 mm	ø63 mm	ø75 mm	PE-100
Sondendurchmesser da	25	32	40	50	63	75	mm
Wandstärke s	2.3	2.9	3.7	4.6	5.8	6.8	mm
pro m in ml	0.9187	1.5421	2.3315	3.67	5.83	8.46	ml/m
max. Wasservolumen bei handelsüblichen Erdwärmesonden				Zuleitung pro Rohr			
ø32 mm	Volumen	ø40 mm	Volumen	Länge	ø32 mm	ø40 mm	ø50 mm
EWS 50m	0.308 Liter	EWS 102m	0.951 Liter	5 m	0.008 Liter	0.012 Liter	0.018 Liter
EWS 60m	0.370 Liter	EWS 127m	1.184 Liter	10 m	0.015 Liter	0.023 Liter	0.037 Liter
EWS 70m	0.432 Liter	EWS 140m	1.306 Liter	15 m	0.023 Liter	0.035 Liter	0.055 Liter
EWS 80m	0.493 Liter	EWS 152m	1.418 Liter	20 m	0.031 Liter	0.047 Liter	0.073 Liter
EWS 90m	0.555 Liter	EWS 165m	1.539 Liter	25 m	0.039 Liter	0.058 Liter	0.092 Liter
EWS 100m	0.617 Liter	EWS 175m	1.632 Liter	30 m	0.046 Liter	0.070 Liter	0.110 Liter
EWS 112m	0.691 Liter	EWS 185m	1.725 Liter	35 m	0.054 Liter	0.082 Liter	0.129 Liter
EWS 125m	0.771 Liter	EWS 200m	1.865 Liter	40 m	0.062 Liter	0.093 Liter	0.147 Liter
EWS 137m	0.845 Liter	EWS 225m	2.098 Liter	45 m	0.069 Liter	0.105 Liter	0.165 Liter
EWS 150m	0.925 Liter	EWS 250m	2.331 Liter	50 m	0.077 Liter	0.117 Liter	0.184 Liter
EWS 175m	1.079 Liter	EWS 300m	2.798 Liter	55 m	0.085 Liter	0.128 Liter	0.202 Liter
EWS 200m	1.234 Liter	EWS 350m	3.264 Liter	60 m	0.093 Liter	0.140 Liter	0.220 Liter

8. **Hauptprüfung:** Den Druck während 30 Minuten alle 10 Minuten im Protokoll notieren. Der Druck muss während dieser Zeit von Messung zu Messung ansteigen oder gleich bleiben. Würde er auf dem Manometer sichtbar absinken, ist dies ein Zeichen für ein Leck. Bei elektronischen Drucksensoren mit hoher Auflösung ist eine max. Toleranz ab dem Maximum von 0.1 bar zulässig. Den Druck für die Zeitpunkte 6A, 6B, 6C im Protokoll notieren und auf dem Manometer markieren. Den Punkt 6A auf dem Manometer als Vergleichswert markieren. Der Zeiger muss gegenüber dem grünen Strich ansteigen, **dann ist die Prüfung erfüllt**. Ansonsten muss das Leck gesucht werden:

- a. **Prüfeinrichtung überprüfen, Anschlüsse, Hähnen**
- b. **Prüfung pro Kreis einzeln wiederholen.** Vorgängig eine Stunde Entspannung einlegen, d.h. Druck ablassen und warten

Achtung: Das Prüfverfahren kann sehr kleinen Leckagen nicht auflösen (siehe Kapitel 5.2)



Punkt 6A, Zeitpunkt 70 Minuten



Punkt 6B, Zeitpunkt 80 Minuten



Punkt 6C, Zeitpunkt 90 Minuten

5. Praxiserfahrung

5.1 Erfahrungen mit der Messmethodik und der Messapparatur

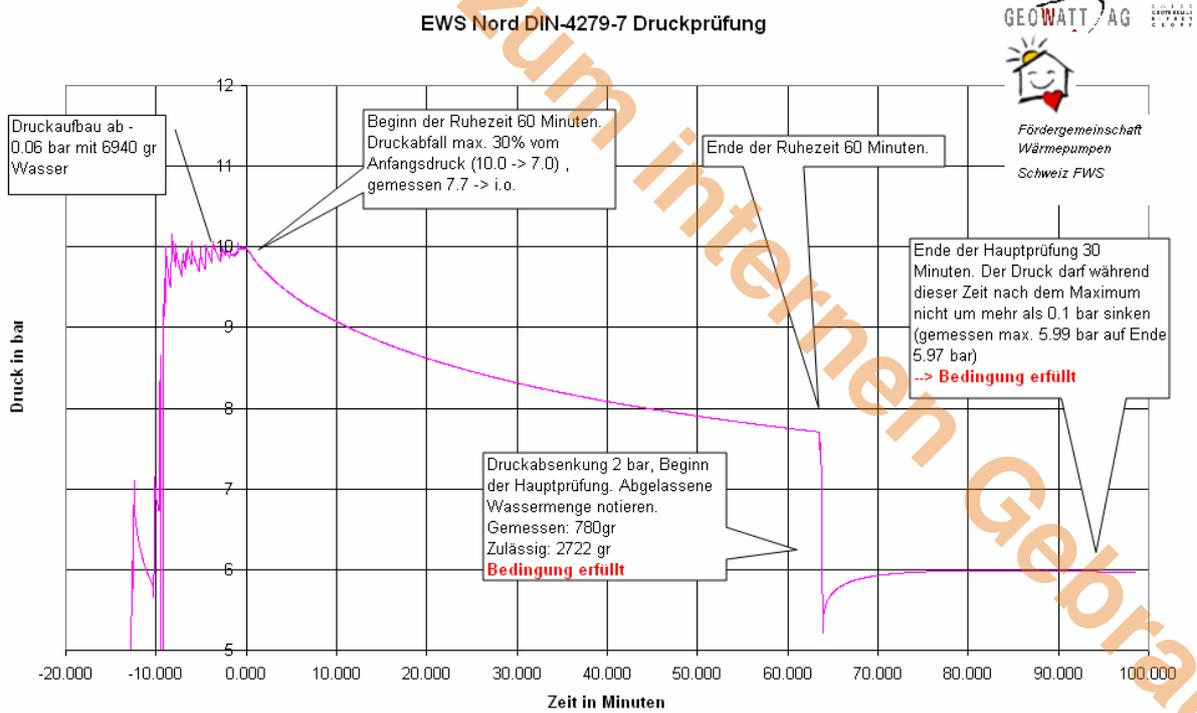
Im Rahmen dieser Arbeit wurden verschieden lange Erdwärmesonden und ganze Erdwärmesondenfelder ausgemessen. Es zeigte sich, dass für die Druckprüfung auch einfache Apparaturen genügen (siehe Figur 7). Das Verhalten aller gemessenen Anlagen ist sehr ähnlich. Wichtig sind jedoch gute und regelmässig gewartete Klemmringverschraubungen und Manometer mit einer guten Auflösung (Präzisionsmanometer Klasse 1). Seit dem 1. Januar 2005 ist die Methode für die unter dem FWS-Gütesiegel "Erdwärmesonde" zertifizierten Bohrfirmen (ca. 90 % Marktvolumen) Pflicht und wird seit 2004 bei den FWS-Bohrmeisterschulungen integraler Bestandteil. Die Rückmeldungen sind positiv.

5.2 Einsatzgrenzen

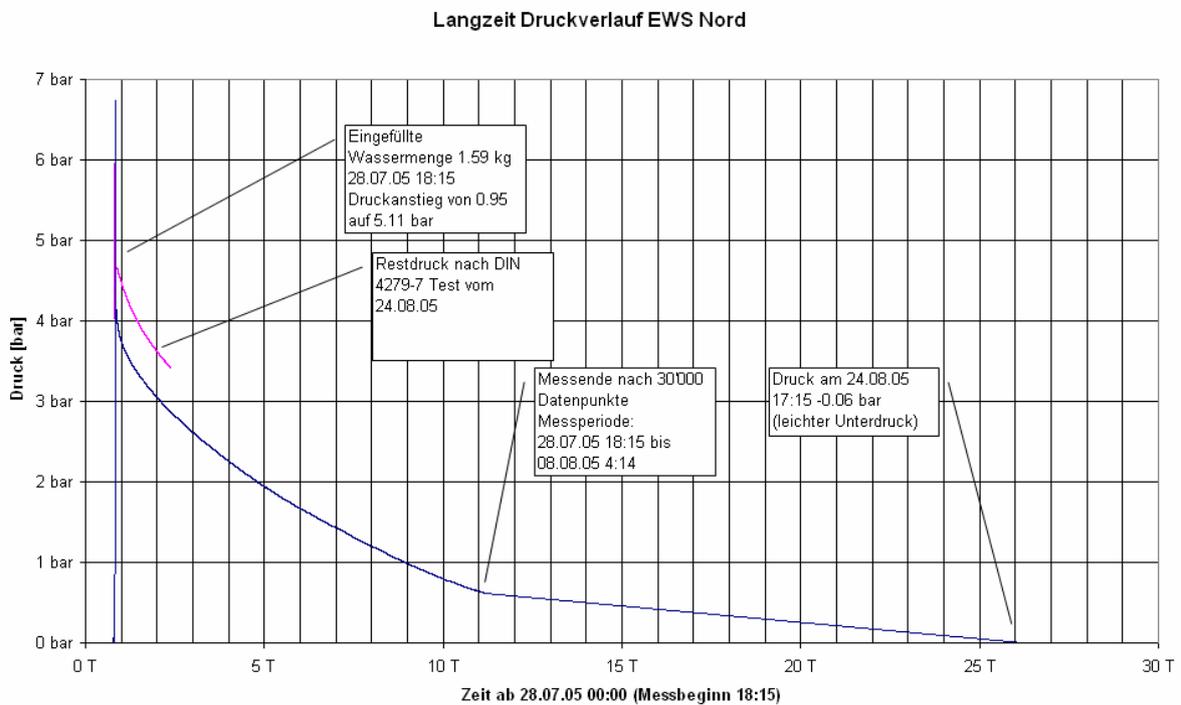
Ist die Leckage einer Erdwärmesonde sehr kleine, kann das Druckprüfverfahren nach DIN V 4279-7 möglicherweise zeitlich zu kurz sein. Ein entsprechender Fall ist bei einer Anlage mit zwei Erdwärmesonden aufgetreten. Die Sonden wurden in Herbst 2004 von der Bohrfirma gemäss FWS-Gütesiegel "Erdwärmesonde" eingebracht. Im Januar 2005 fiel die Anlage wegen Ansprechen des Druckschalters (Leckageüberwachung) aus. Die beiden EWS wurden erneut abgepresst. Es konnte aber keine Leckage festgestellt werden, resp. es konnte nicht herausgefunden werden, welche der beiden Erdwärmesonden leck ist. Die Figur 20 zeigt die Auswertung der Druckprüfung für die später als leck identifizierte Erdwärmesonde "EWS Nord". Der Druck in der Erdwärmesonde fiel während der 30-minütigen Hauptprüfung um weniger als 0.1 bar ab. Gemäss Druckprüfverfahren nach DIN V 4279-7 wäre die Sonde folglich dicht. Die Leckage ist somit geringer als durch den Test nachweisbar.

Um die Leckage dennoch nachweisen zu können, wurde ein Druckfühler mit Datenerfassung in die Erdwärmesonde eingebaut und eine Langzeitmessung (30 Tage) durchgeführt. Der Druckabfall ist in Figur 21 dargestellt. Während 11.5 Tagen wurde der Druck ab dem Anfangsdruck von 5.1 bar aufgezeichnet. Der Druck fiel in dieser Zeit deutlich unter 1 bar. Nach 26 Tagen wurde eine abschliessende Einzeldruckmessung gemacht. Es herrschte ein leichter Unterdruck von -0.06 bar. Die Messungen weisen eindeutig auf eine Leckage hin. Eine Leckage ist allerdings sehr gering und liegt in der Grössenordnung von ca. 7 ml pro Stunde.

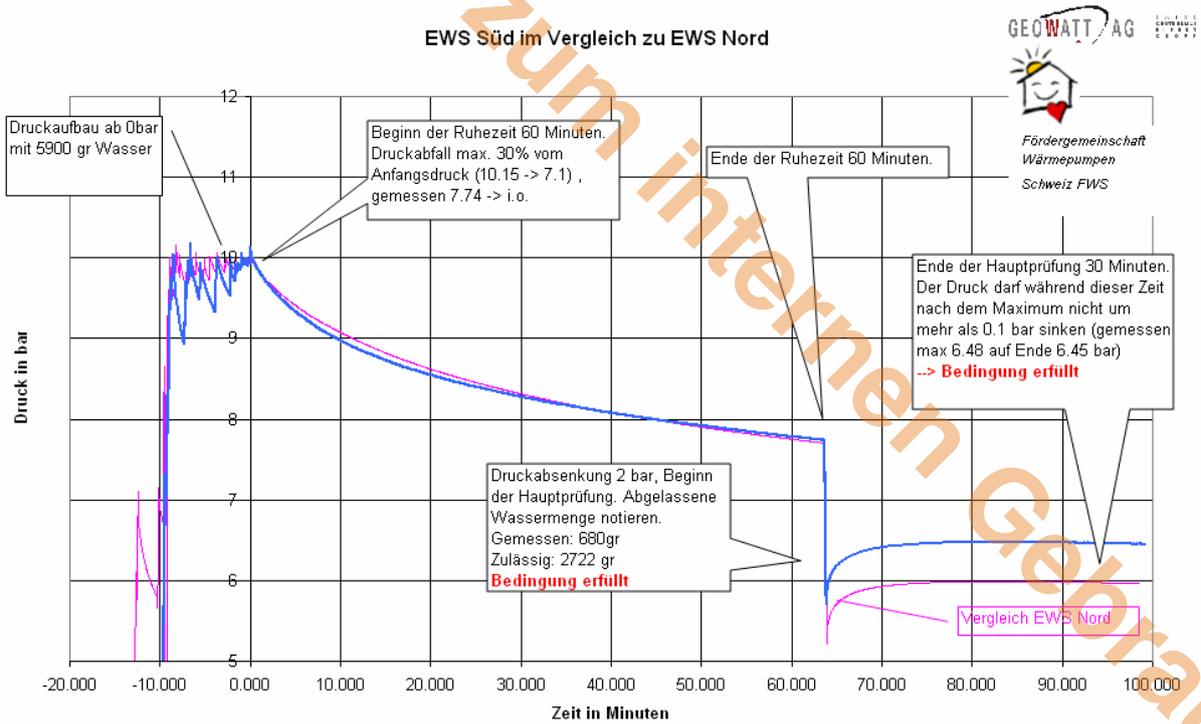
Die gleichen Messungen wurde auch für die dichte Erdwärmesonde "EWS Süd" durchgeführt nach. Die Druckprüfung nach DIN V 4279-7 zeigt ein analoges Verhalten wie bei der undichten Erdwärmesonde "EWS Nord" (vergleiche Figur 20 und Figur 22). Hingegen zeigt die Langzeitdruckmessung einen klaren Unterschied zwischen lecker und dichter Erdwärmesonde (Figur 23).



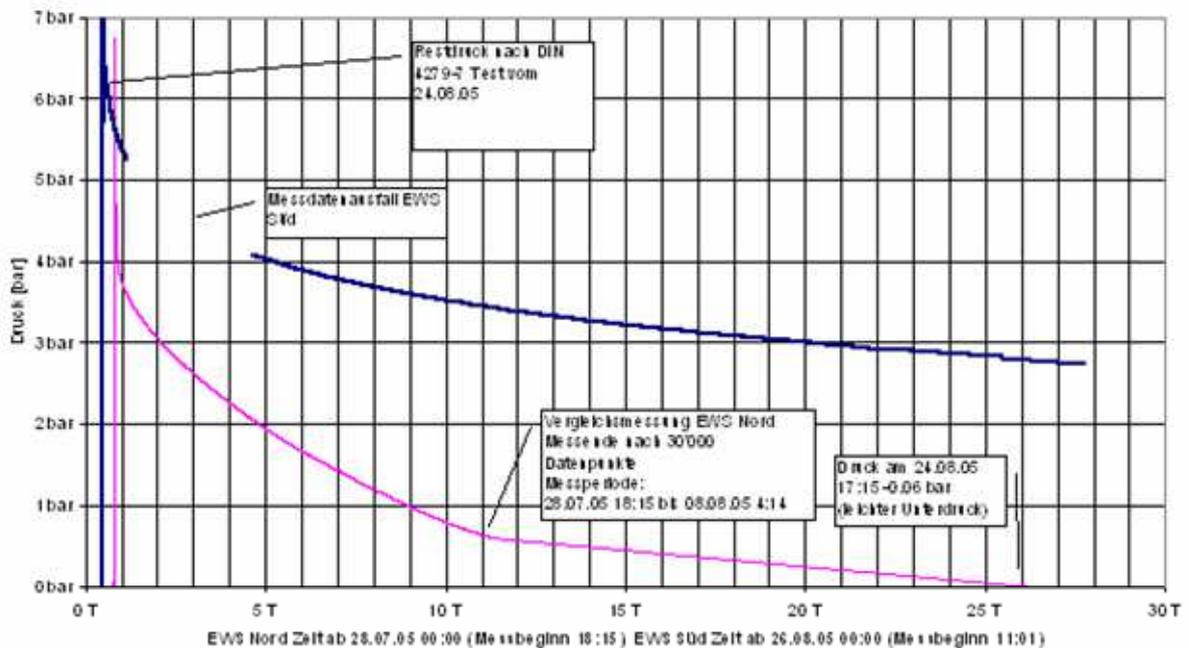
Figur 20: Druckprüfung in Anlehnung an die DIN V 4279-7 zeigt für die getestete Erdwärmesonde keine Leckage.



Figur 21: Langzeitdruckmessung in der Erdwärmesonde zeigt deutlich eine Leckage.



Figur 22: Vergleich der beiden EWS (Nord Magenta leak, Süd blau dicht)



Figur 23: Langzeitdruckprüfung (Magenta EWS Nord leak, blau EWS Süd dicht)

6. Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Druckprüfung in Anlehnung DIN V 4279-7 zur Dichtigkeitsprüfung von vertikalen Erdwärmesonden entwickelt. Diese Druckprüfung dient in erster Linie der Qualitätssicherung der Erdwärmesonde. Sie soll verhindern, dass leckere Erdwärmesonden der Bauherrschaft übergeben werden, was später zu einem Versagen führen kann (wie Ausfall der Heizung). Wird ein Defekt frühzeitig erkannt, kann die Erdwärmesonde mit wesentlich geringeren Kosten ersetzt werden als zu einem späteren Zeitpunkt. Der Test dient aber auch zum Schutz der Bohrunternehmen. Er ist eine klare Systemtrennung zu den nachfolgenden Arbeiten (Installateur, Bauunternehmen,). Deshalb ist diese Druckprüfung seit 1. Januar 2005 auch Bestandteil des FWS-Gütesiegels "Erdwärmesonde".

Die hier skizzierte Vorgehensweise bei der Druckprüfung erlaubt genaue und schnelle Messungen der Dichtigkeit von Erdwärmesonden (Testzeit ca. 1.5 Stunden). Die für diesen Bericht gebaute Messapparatur erlaubt sämtliche Messungen präzise durchzuführen. Sie ist aber sehr gross und deshalb werden in der Praxis einfachere Apparaturen eingesetzt. Etliche Bohrfirmen wünschen die Entwicklung einer vollautomatischen Messeinrichtung gemäss der Figur 14. Ein Knackpunkt ist aber die praxisorientierte Ablaufsteuerung und Datenerfassung.

7. Literaturverzeichnis

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 1994. Wassergefährdende Flüssigkeiten: Wegleitung für die Wärmenutzung mit geschlossenen Erdwärmesonden.

DIN 4279. Teil 1 – Innendruckprüfung von Rohrleitungen für Wasser, Allgemeine Angaben.

DIN V 4279-7. Innendruckprüfung von Rohrleitungen für Wasser – Druckrohre aus Polyethylen geringer Dichte PE-LD, Druckrohre aus Polyethylen hoher Dichte PE-HD (PE 80 und PE 100), Druckrohre aus vernetztem Polyethylen PE-X, Druckrohre aus weichmacherfreien Polyvinylchlorid PVC-U..

Rohner, E., Rybach, L., Salton, M., 2000. Lebensdauer von Erdwärmesonden in Bezug auf Druckverhältnisse und Hinterfüllung. BFE Schlussbericht.

Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW), 1975. W4d – Richtlinien für die Planung, Projektierung sowie Bau, Betrieb und Unterhalt von Trinkwasserversorgungssystemen ausserhalb von Gebäuden.

Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW), SVGW-Zirkular 98-24d

8. Anhang

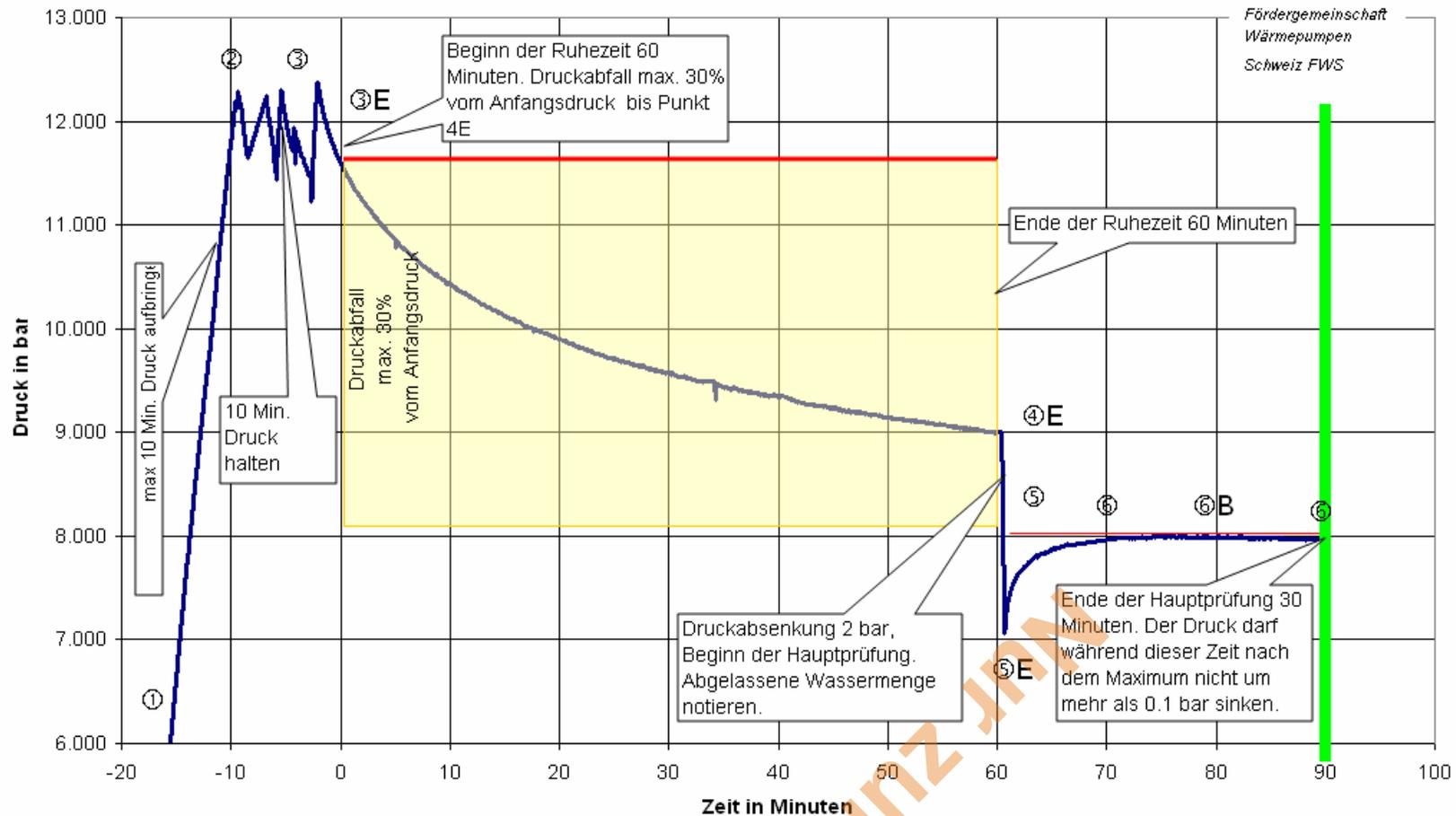
8.1 Protokoll: Durchflusstest und Druckprüfung von Erdwärmesonden in Anlehnung an DIN V 4279-7

Bohr AG		Prüf- und Abnahmeprotokoll					
		Durchflusstest und Druckprüfung von Erdwärmesonden in Anlehnung an DIN V 4279-7					
Objekt		Auftrag					
Bauleitung		Seite Nr.					
Umfang der Arbeiten							
Erdwärmesonde Nr.							
Fabrikationsnummer							
Länge [m]							
Durchmesser aussen/ Wandstärke [mm]							
Zuleitung ja/nein Y-Formstück ja/nein		Y:			Y:		
ø [mm], einfache Länge [m] Zuleitung (Grabenlänge)		L=			L=		
Durchflussprüfung							
Prüfdatum Zeit							
		Kreis 1	Kreis 2	Zuleitung mit Y	Kreis 1	Kreis 2	Zuleitung mit Y
Wasserdurchflussmenge [l/Min]							
Druck EWS Eintritt [bar]							
Druck EWS Austritt [bar]							
Differenzdruck [bar]							
Bedingung erfüllt ja/nein							
EWS gespült ja/nein							
Temperatur EWS am EWS Anfang ¹⁾							
Temperatur EWS max.[°C] (nach halber Spüldauer) ¹⁾							
Druckprüfung nach DIN V 4279-7							
Prüfdatum / Zeit / mit Y-Formstück ja-nein							
		Dauer	Zeit	EWS	Dauer	Zeit	EWS
1	Nachprüfung (ja/nein) Ruhezeit 60 Minuten	60 Min			60 Min		
2	Prüfdruck aufbringen (12 bar +/- 1 bar)	<10 Min	-10 Min		<10 Min	-10 Min	
3	Druckhaltephase (Min. 10 bar) (3E)	10 Min	0 Min		10 Min	0 Min	
4	Ruhezeit Druckabfall max. 30% ab Anfang Ruhezeit (4E)	60 Min	60 Min		60 Min	60 Min	
5	Druck um 2 bar reduzieren (5E)						
Menge des abgelassenen Wassers in Liter							
6	Hauptprüfung (Dauer 30 Minuten) (6A)	10 Min	70 Min		10 Min	70 Min	
	(6B)	10 Min	80 Min		10 Min	80 Min	
	(6C)	10 Min	90 Min		10 Min	90 Min	
Bedingung erfüllt (ja/nein)							
Injektion (Standard 100kg Bentonit 200 kg Zement, 900 kg Wasser)		Bent.	Zement	Wasser	Bent.	Zement	Wasser
Bentonit / Zement / Wasser in Liter resp. Kg							
oder Fertigmischung, Fabrikat, Wasser pro 100 kg							
Bis UKT verfüllt ja/nein bei nein Meter UKT		Meter UKT			Meter UKT		
Abnahme		Bauherr oder Vertreter			Geräteführer		
Ort und Datum							

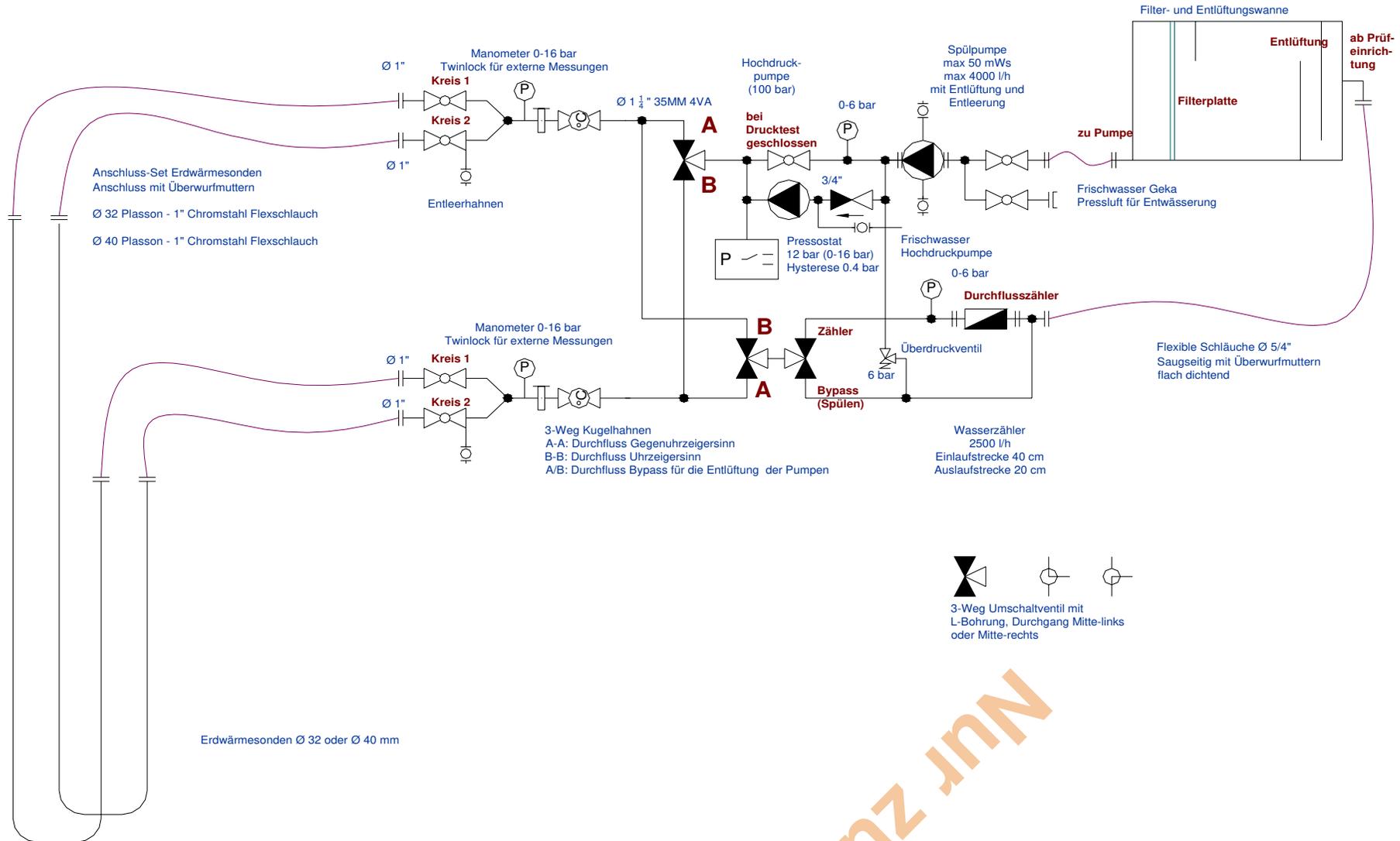
¹⁾ optional, gehört nicht zum Test

8.2 Beispiel Druckprüfung in Anlehnung an DIN V 4279-7

Druckprüfung von Erdwärmesonden in Anlehnung an DIN V 4279-7

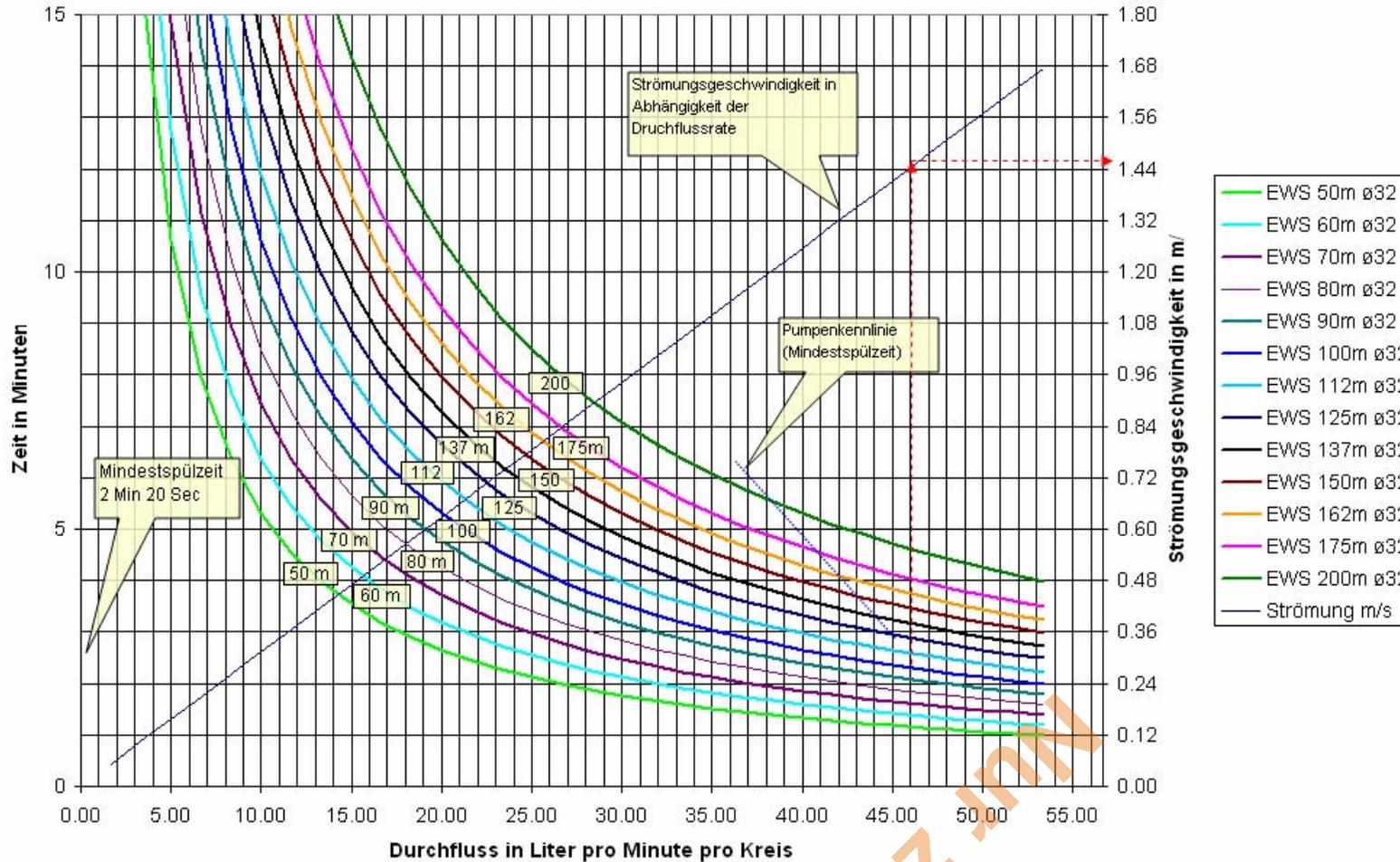


8.3 Schema Prüfeinrichtung

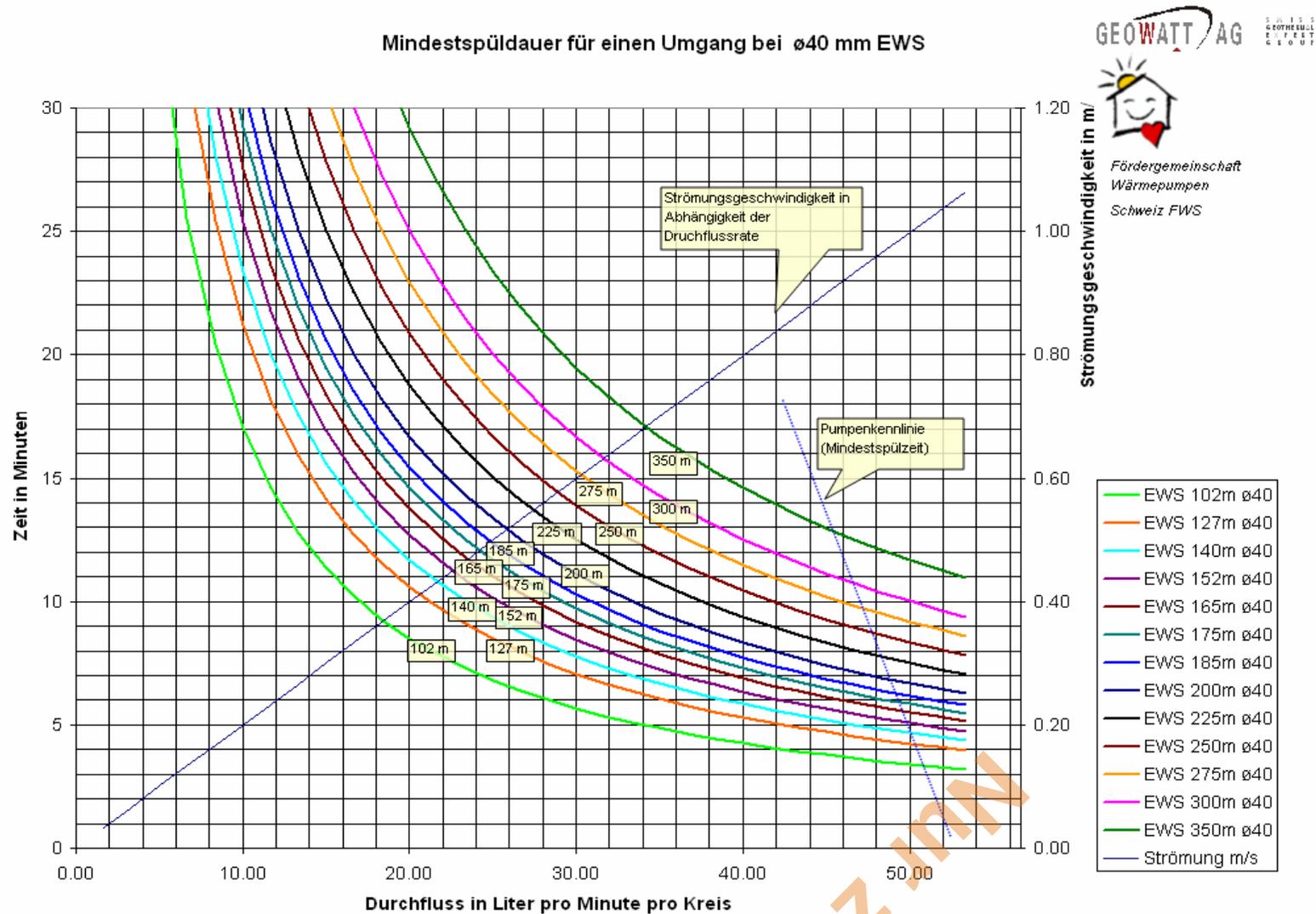


8.4 Mindestspüldauer für einen Umgang bei 32mm Erdwärmesonde pro Kreis

Mindestspüldauer für einen Umgang bei ø32mm EWS pro Kreis

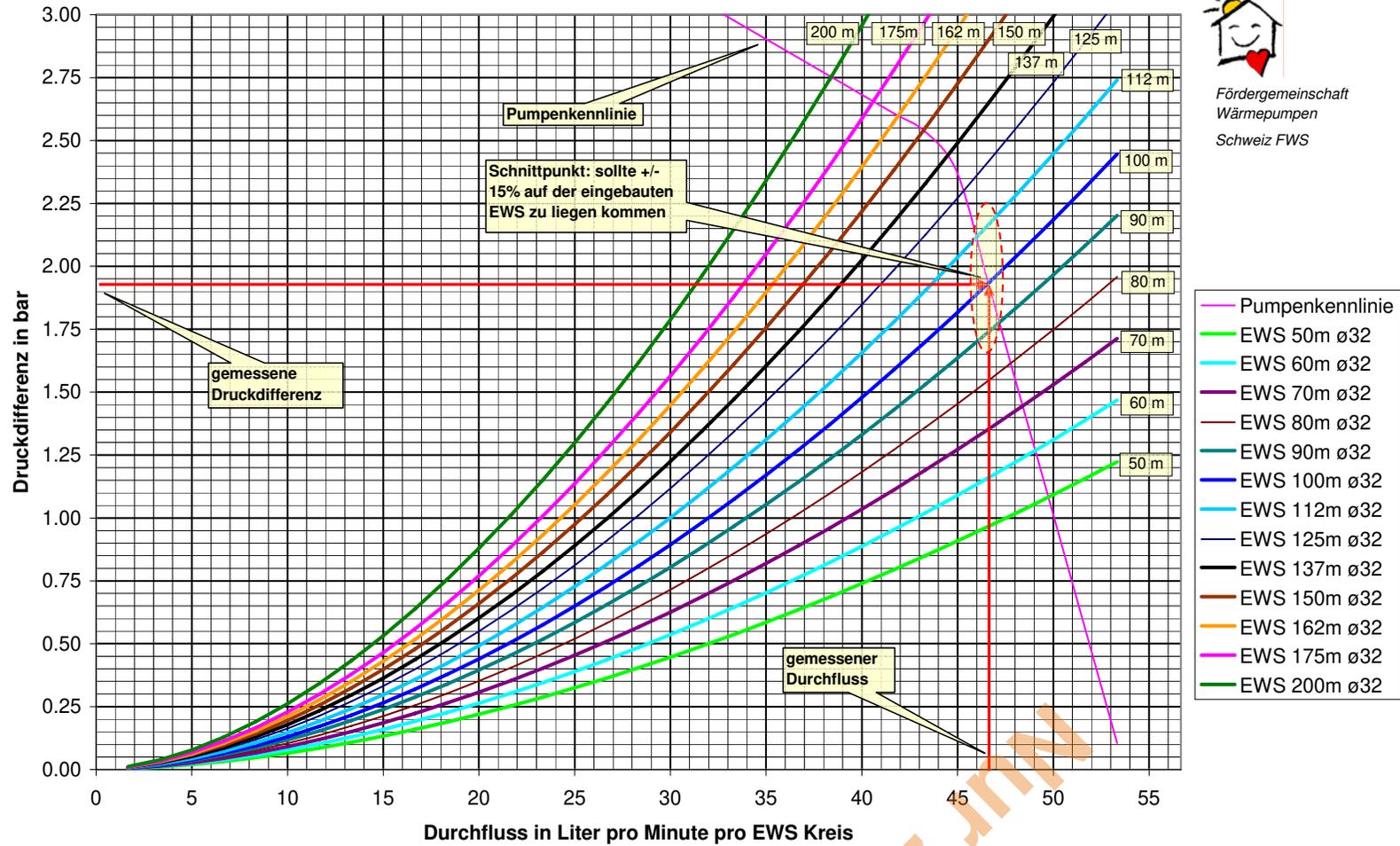


8.5 Mindestspüldauer für einen Umgang bei 40mm Erdwärmesonde pro Kreis



8.6 Durchflussdiagramm Erdwärmesonde 32mm pro Kreis bei Wasser 15°C

Durchflussdiagramm EWS ø32mm pro Kreis bei Wasser 15°C



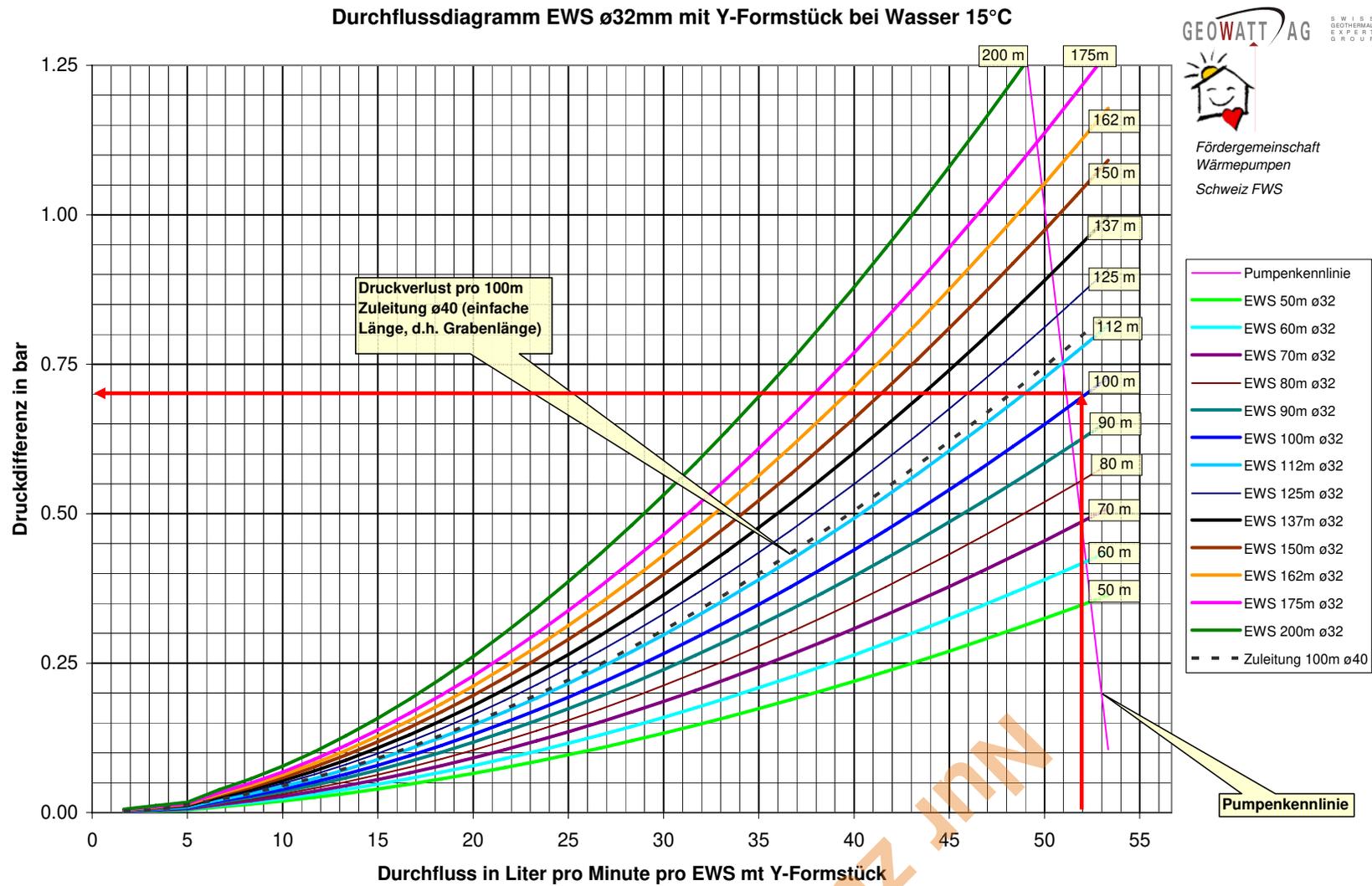
GEOWATT AG S W I S S G E O T H E R M A L E X P E R T G R O U P



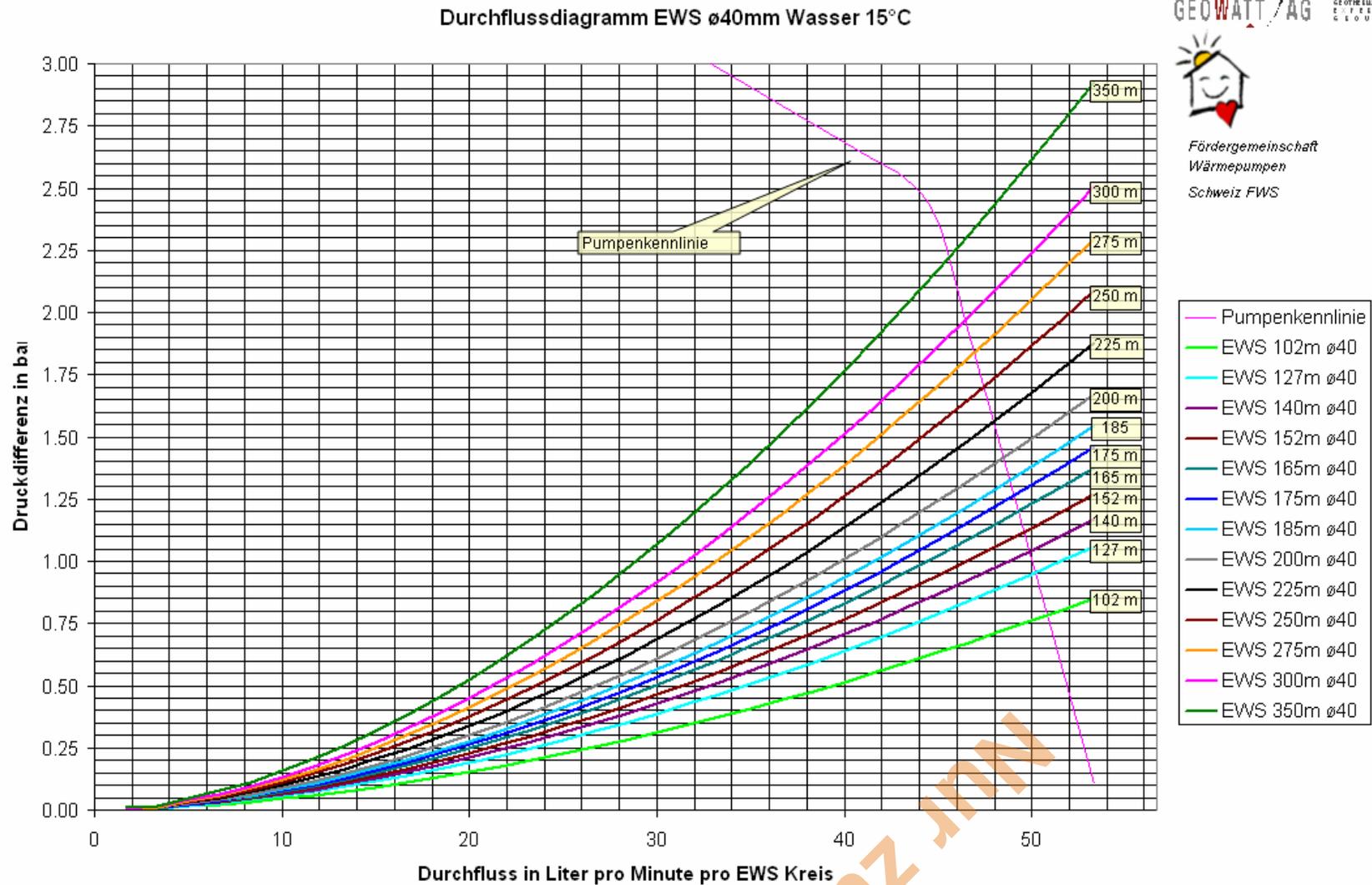
Fördergemeinschaft
Wärmepumpen
Schweiz FWS

Nur zum internen Gebrauch

8.7 Durchflussdiagramm Erdwärmesonde 32mm mit Y-Formstück bei Wasser 15°C



8.8 Durchflussdiagramm Erdwärmesonde 40mm pro Kreis bei Wasser 15°C



GEOWATT AG
S. 10.15
GEOTREIBUNG
E-17 263
E 1007



Fördergemeinschaft
Wärmepumpen
Schweiz FWS

8.9 Durchflussdiagramm Erdwärmesonde 40mm mit Y-Formstück bei Wasser 15°C

Durchflussdiagramm EWS ø40 mm mit Y-Formstück bei Wasser 15°C

