

Trendanalyse des Solothurner Grundwassers

-Grundwasserspiegel

& Grundwassertemperatur-

Stefanie Hübner

24.04.2014

Inhaltsverzeichnis

1	Abstrakt	8
2	Einleitung.....	8
3	Untersuchungsgebiet	8
4	Daten	10
5	Methode	12
5.1	Mann-Kendall Trendtest.....	12
5.2	Trend - Klassifizierung Grundwasserspiegel und Grundwassertemperatur	14
6	Hypothesen	15
7	Problemdarstellung.....	15
8	Ergebnisse	16
8.1	Aaregäu	17
8.1.1	Limnigraf Unter-Forenban (Fulenbach).....	17
8.1.2	Pumpwerk Wolfwil (Wolfwil).....	19
8.1.3	Pumpwerk Wolfwil online (Wolfwil)	20
8.1.4	Fazit Aaregäu	21
8.2	Dünnerngäu	22
8.2.1	Pumpwerk Härkingen (Härkingen).....	22
8.2.2	Pumpwerk Zelgli (Kappel)	23
8.2.3	Limnigraf Kestenholz (Kestenholz).....	24
8.2.4	Pumpwerk Neufeld (Neuendorf)	26
8.2.5	Limnigraf Oberbuchsiten (Oberbuchsiten).....	27
8.2.6	Pumpwerk Moos (Oensingen).....	29
8.2.7	Limnigraf Oensingerfeld (Oensingen)	30
8.2.8	Pumpwerk Gheid 2 (Olten).....	32
8.2.9	Pumpwerk Wangen (Wangen b. Olten)	33
8.2.10	Fazit Dünnerngäu	33
8.3	Lüsseltal	35
8.3.1	Limnigraf Grien (Breitenbach)	35
8.3.2	Pumpwerk Längacker (Breitenbach).....	37

8.3.3	Fazit Lüsseltal	37
8.4	Niederamt.....	39
8.4.1	Limnigraf Dängertwäldli (Däniken).....	39
8.4.2	Pumpwerk Kürzefeld (Däniken).....	41
8.4.3	Pumpwerk Ey (Dulliken)	42
8.4.4	Kiesgrube Belser (Erlinsbach)	43
8.4.5	Pumpwerk Gillacker (Erlinsbach)	44
8.4.6	Limnigraf Schachen (Erlinsbach)	45
8.4.7	Falkensteinquelle (Lostorf).....	47
8.4.8	Pumpwerk Insel (Niedergösgen).....	49
8.4.9	Pumpwerk Obergösgen-Lostorf (Obergösgen).....	50
8.4.10	Pumpwerk Spitzacker (Schönenwerd).....	51
8.4.11	Pumpwerk Dellen (Trimbach).....	52
8.4.12	Fazit Niederamt.....	52
8.5	Thal	54
8.5.1	Pumpwerk Grossmatt 1 [Klus] (Balsthal)	54
8.5.2	Limnigraf Rumimoos (Balsthal)	55
8.5.3	Hammerrainquelle (Herbetswil).....	56
8.5.4	Pumpwerk Laupersdorf (Laupersdorf).....	58
8.5.5	Limnigraf Stockmatt (Laupersdorf).....	59
8.5.6	Pumpwerk Kätzlimatt (Mümliswil)	61
8.5.7	Fazit Thal	61
8.6	Wasseramt	62
8.6.1	Limnigraf Luterbachstrasse (Deitingen)	63
8.6.2	Limnigraf Grütt (Derendingen).....	65
8.6.3	Limnigraf Mitteldorf (Derendingen)	66
8.6.4	Limnigraf Gerlafingen (Gerlafingen).....	67
8.6.5	Pumpwerk Biberist (Kriegstetten).....	68
8.6.6	Limnigraf Eichholz (Kriegstetten)	69
8.6.7	Pumpwerk Dörnischlag (Luterbach)	71
8.6.8	Pumpwerk Ruchacker (Luterbach)	72
8.6.9	Limnigraf Obergerlafingen (Obergerlafingen).....	76

8.6.10	Pumpwerk Tannwald (Obergerlafingen)	78
8.6.11	Pumpwerk Erlenmoos (Rechterswil).....	79
8.6.12	Limnigraf RKO (Rechterswil).....	80
8.6.13	Limnigraf Stöckleten (Rechterswil)	82
8.6.14	Limnigraf Pfaffenweiher (Subingen)	84
8.6.15	Limnigraf Subingen (Subingen)	86
8.6.16	Limnigraf Waldhaus (Subingen)	87
8.6.17	Pumpwerk Rütifeld (Zuchwil).....	89
8.6.18	Fazit Wasseramt	90
9	Quintessenz – Analyse der Grundwasserspiegelzeitreihen	91
10	Quintessenz – Analyse der Grundwassertemperaturzeitreihen	94
11	Resümee	96
12	Outlook.....	97
	Literaturverzeichnis.....	99

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anzahl der Messstationen pro Gebiet, Grundwasser	9
Abbildung 2: Anzahl der Messstationen pro Gebiet, Grundwassertemperatur.....	9
Abbildung 3: Verteilung Länge der Zeitreihen, Grundwasserspiegel (nach Jahren)	10
Abbildung 4: Verteilung Länge der Zeitreihen, Grundwassertemperatur (nach Jahren).....	11
Abbildung 5: Limnigraf Unter-Forenban (Fulenbach).....	17
Abbildung 6: Grundwassertemperatur Unter-Forenban (Fulenbach).....	18
Abbildung 7: Pumpwerk Wolfwil (Wolfwil).....	19
Abbildung 8: Pumpwerk Wolfwil online (Wolfwil)	20
Abbildung 9: Grundwassertemperatur Pumpwerk Wolfwil (Wolfwil)	21
Abbildung 10: Pumpwerk Härkingen (Härkingen).....	22
Abbildung 11: Pumpwerk Zelgli (Kappel)	23
Abbildung 12: Limnigraf Kestenholz (Kestenholz).....	24
Abbildung 13: Grundwassertemperatur Kestenholz (Kestenholz).....	25
Abbildung 14: Pumpwerk Neufeld (Neuendorf)	26
Abbildung 15: Limnigraf Oberbuchsiten (Oberbuchsiten)	27
Abbildung 16: Grundwassertemperatur Oberbuchsiten (Oberbuchsiten).....	28
Abbildung 17: Pumpwerk Moos (Oensingen).....	29
Abbildung 18: Limnigraf Oensingerfeld (Oensingen).....	30
Abbildung 19: Grundwassertemperatur Oensingerfeld (Oensingen)	31
Abbildung 20: Pumpwerk Gheid 2 (Olten).....	32
Abbildung 21: Pumpwerk Wangen (Wangen b. Olten).....	33
Abbildung 22: Limnigraf Grien (Breitenbach)	35
Abbildung 23: Grundwassertemperatur Grien (Breitenbach)	36
Abbildung 24: Pumpwerk Längacker (Breitenbach).....	37
Abbildung 25: Limnigraf Dängertwäldli (Däniken).....	39
Abbildung 26: Grundwassertemperatur Dängertwäldli (Däniken).....	40
Abbildung 27: Pumpwerk Kürzefeld (Däniken).....	41
Abbildung 28: Pumpwerk Ey (Dulliken)	42
Abbildung 29: Kiesgrube Belser (Erlinsbach)	43
Abbildung 30: Pumpwerk Gillacker (Erlinsbach)	44
Abbildung 31: Limnigraf Schachen (Erlinsbach)	45
Abbildung 32: Grundwassertemperatur Schachen (Erlinsbach)	46
Abbildung 33: Falkensteinquelle (Lostorf).....	47
Abbildung 34: Wassertemperatur Falkensteinquelle (Lostorf).....	48
Abbildung 35: Pumpwerk Insel (Niedergösgen)	49
Abbildung 36: Pumpwerk Obergösgen-Lostorf (Obergösgen).....	50
Abbildung 37: Pumpwerk Spitzacker (Schönenwerd)	51
Abbildung 38: Pumpwerk Dellen (Trimbach).....	52

Abbildung 39: Pumpwerk Grossmatt 1 [Klus] (Balsthal)	54
Abbildung 40: Limnigraf Rumimoos (Balsthal)	55
Abbildung 41: Hammerrainquelle (Herbetswil).....	56
Abbildung 42: Wassertemperatur Hammerrainquelle (Herbetswil)	57
Abbildung 43: Pumpwerk Laupersdorf (Laupersdorf).....	58
Abbildung 44: Limnigraf Stockmatt (Laupersdorf).....	59
Abbildung 45: Grundwassertemperatur Stockmatt (Laupersdorf).....	60
Abbildung 46: Pumpwerk Kätzlimatt (Mümliswil)	61
Abbildung 47: Limnigraf Luterbachstrasse (Deitingen)	63
Abbildung 48: Grundwassertemperatur Luterbachstrasse (Deitingen)	64
Abbildung 49: Limnigraf Grütt (Derendingen).....	65
Abbildung 50: Limnigraf Mitteldorf (Derendingen)	66
Abbildung 51: Limnigraf Gerlafingen (Gerlafingen).....	67
Abbildung 52: Pumpwerk Biberist (Kriegstetten).....	68
Abbildung 53: Limnigraf Eichholz (Kriegstetten)	69
Abbildung 54: Grundwassertemperatur Eichholz (Kriegstetten)	70
Abbildung 55: Pumpwerk Dörnischlag (Luterbach)	71
Abbildung 56: Pumpwerk Ruchacker (Luterbach)	72
Abbildung 57: Limnigraf Wylihofstrasse (Luterbach).....	73
Abbildung 58: Grundwassertemperatur Wylihofstrasse (Luterbach).....	74
Abbildung 59: Pumpwerk XI (Luterbach)	75
Abbildung 60: Limnigraf Obergerlafingen (Obergerlafingen).....	76
Abbildung 61: Grundwassertemperatur Obergerlafingen (Obergerlafingen).....	77
Abbildung 62: Pumpwerk Tannwald (Obergerlafingen)	78
Abbildung 63: Pumpwerk Erlenmoos (Rechterswil).....	79
Abbildung 64: Limnigraf RKO (Rechterswil).....	80
Abbildung 65: Grundwassertemperatur RKO (Rechterswil).....	81
Abbildung 66: Limnigraf Stöckleten (Rechterswil)	82
Abbildung 67: Grundwassertemperatur Stöckleten (Rechterswil)	83
Abbildung 68: Limnigraf Pfaffenweiher (Subingen)	84
Abbildung 69: Grundwassertemperatur Pfaffenweiher (Subingen)	85
Abbildung 70: Limnigraf Subingen (Subingen)	86
Abbildung 71: Limnigraf Waldhaus (Subingen)	87
Abbildung 72: Grundwassertemperatur Waldhaus (Subingen)	88
Abbildung 73: Pumpwerk Rütifeld (Zuchwil).....	89
Abbildung 74: Verteilung der Trendformen, Grundwasser	92
Abbildung 75: Verteilung der Trendformen pro Gebiet, Grundwasser	94
Abbildung 76: Verteilung der Trendformen, Grundwassertemperatur	95
Abbildung 77: Verteilung der Trendformen pro Gebiet, Grundwassertemperatur	96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der tau-Werte (t)	14
Tabelle 2: Einteilung der Trendindikatoren Grundwasserspiegel/Pumpmenge.....	14

1 Abstrakt

Es gilt herauszufinden, wie sich die Grundwasserspiegel und deren Temperaturen im Kanton Solothurn in den Jahren der Datenaufzeichnung verändert haben. Sind die Grundwasserspiegel und die Grundwassertemperaturen gestiegen, gesunken oder sind die Schwankungen im Langzeitverlauf ausgeglichen?

Diese Analyse wird anhand des Mann-Kendall Trendtest durchgeführt. Der Mann-Kendall Trendtest stellt die Entwicklung der Messreihen bis heute dar. Er trifft jedoch keine Aussage darüber, wieso es zu einer bestimmten Entwicklung gekommen ist, noch wie es sich zukünftig entwickeln wird. Es ist eine Momentaufnahme, die einen Überblick gibt und anhand derer weitere Beobachtungen, Handlungsbedarf und weitere Analysen abgeleitet werden können.

2 Einleitung

Wie haben sich die Grundwasserspiegel und die Grundwassertemperaturen im Kanton Solothurn im Laufe der Jahre verändert? Diese Frage ist Gegenstand dieser Untersuchung.

Mit Hilfe des Mann-Kendall Trendtest soll herausgefunden werden, ob es einen Trend in den vorhandenen digitalen Messreihen der Grundwasserspiegel und der Grundwassertemperaturen gibt. In den Resultaten würde ein positiver Trend einen Anstieg des Spiegels bzw. der Temperatur bezeichnen und ein negativer Trend ein Absinken des Spiegels bzw. der Temperatur. Ohne einen Trend in der Ganglinie sind die Schwankungen der Grundwasserspiegel und -temperaturen ausgeglichen und bewegen sich auf dem gleichen etwa auf dem gleichen Niveau. Auskunft über die Gründe von positiven und negativen Trends kann der Mann-Kendall Trendtest nicht geben. Naheliegende Ursachen sind zu diesem Zeitpunkt nur Annahmen, da sie statistisch nicht belegt sind und es keine langjährigen Analysen von Zusammenhängen möglicher einflussnehmenden Faktoren gibt.

Das Ergebnissen soll als Momentaufnahme dem Überblick dienen, aus dem gezielte Beobachtungen und Analysen angestrebt werden können, um mögliche Ursachen und Einwirkungen auf das Verhalten der jeweiligen Grundwasserkörper ermitteln zu können.

3 Untersuchungsgebiet

Im Kanton Solothurn werden insgesamt 49 Grundwassermessstationen (Abbildung 1) in sechs hydrogeologische Gebiete überwacht.

Die drei grossen Areale sind das Dünnerngäu mit neun Stationen, das Niederamt mit 11 Stationen und das Wasseramt stellt mit 19 Stationen das grösste Gebiet dar. In Thal sind es sechs und in Aaregäu und Lüsseltal jeweils zwei Messstandorte.

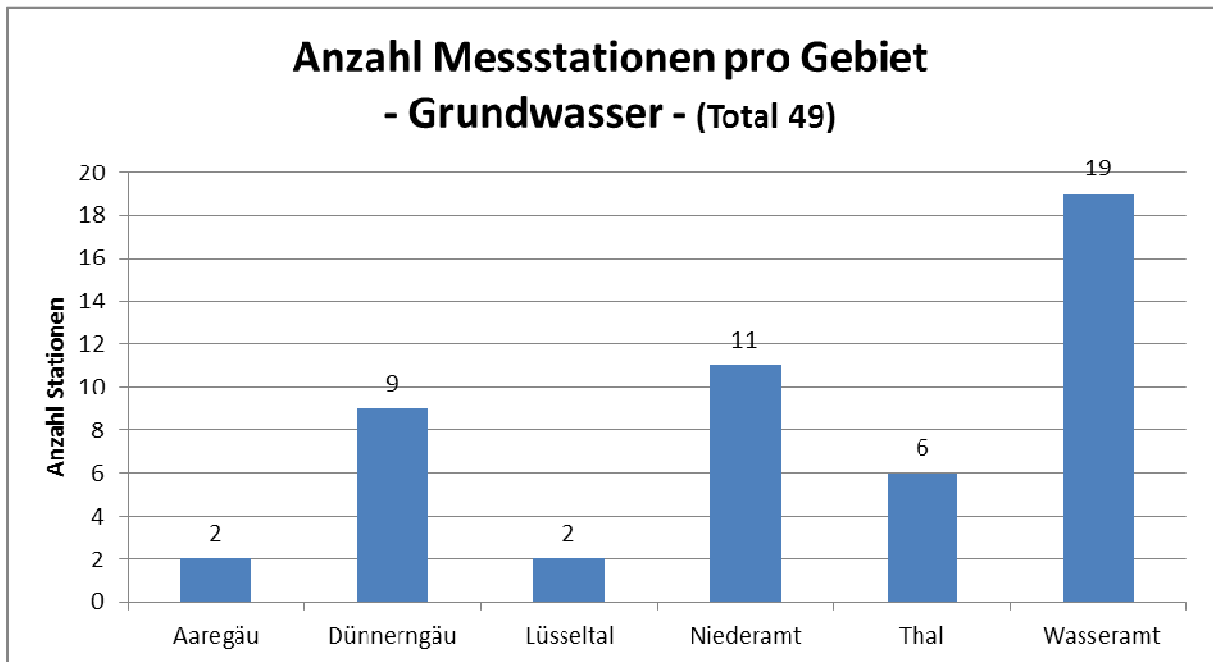


Abbildung 1: Anzahl der Messstationen pro Gebiet, Grundwasser
Total 49 Stationen, x-Achse: Gebiete, y-Achse: Anzahl der Stationen

Es ist zwischen Limnigrafen und Pumpwerken (PW) zu unterscheiden. Limnigrafen bezeichnen Messstandorte in ungestörten Grundwasserkörpern. Dahingegen stellen Pumpwerke durch ihre Pumpaktivität eine Störung des Grundwasserkörpers dar.

Insgesamt gibt es 25 Pumpwerke (PW), 23 Limnigrafen, eine Kiesgrube (KG) und zwei Quellen.

An 19 Standorten wird zudem die Grundwassertemperatur gemessen (Abbildung 2). Im Wasseramt findet dies an acht Messstationen, in Dünnerngäu und Niederamt in jeweils drei Stationen statt. Zwei Temperaturmessreihen gibt es in Aaregäu und Thal, sowie eine im Lüsseltal.

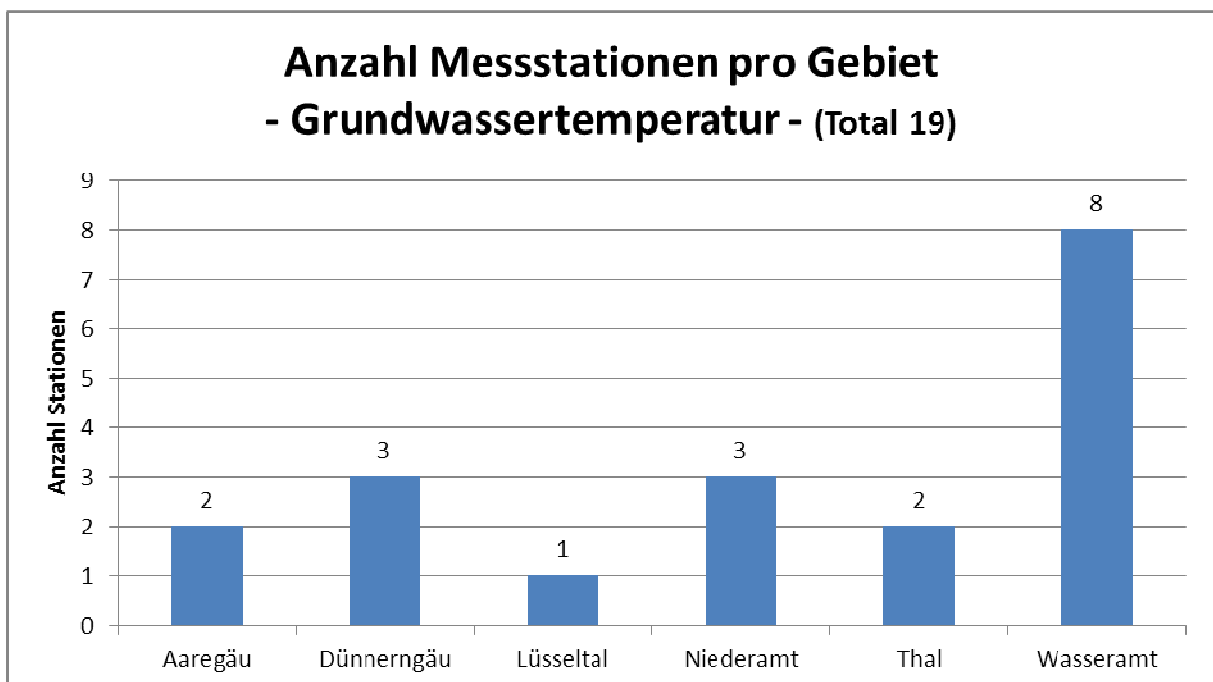


Abbildung 2: Anzahl der Messstationen pro Gebiet, Grundwassertemperatur
Total 19 Stationen, x-Achse: Gebiete, y-Achse: Anzahl der Stationen

4 Daten

Von den 49 Grundwassermessstationen gibt es 50 Zeitreihen, da die Station Wolfwil (PW) im Aaregäu zwei Messreihen besitzt. Zuzüglich der pumpwerkseigenen Messsonde wurde im Jahre 2008 eine online geschaltete Messsonde durch den Kanton installiert.

Die Datenanalyse erfolgt bis einschliesslich Ende des Jahres 2012.

Sechs Zeitreihen reichen nicht bis zum Jahre 2012. Im Falle der Grundwassertemperatur betrifft dies eine Station.

Fünf dieser Messstationen sind ausser Betrieb und bei einer Station lagen die Daten aus 2012 zum Zeitpunkt der Analyse noch nicht vor.

Es ist jedoch aufschlussreich, wie sich der Verlauf dieser Stationen bis zum Zeitpunkt der Schliessung oder Nutzungsänderung entwickelt hat.

Die Datenreihen umfassen unterschiedlich lange Zeiträume (Abbildungen 3, 4).

Bei den Grundwasserzeitreihen beginnen die Ältesten im Jahre 1968. Es sind die Datensätze der Messstationen Oberbuchsitzen im Dünnerngäu und Subingen im Wasseramt.

29 Langzeitreihen beinhalten Messwerte aus 20 bis zu 44 Jahren (Abbildung 3), wobei 15 Zeitreihen über 30 Jahre alt sind. Acht Messreihen haben ein Altern von 15 bis 19 Jahren und weiter acht umfassen 10 bis 14 Jahre. Weniger als zehn Jahren mit Daten besitzen vier Messreihen, darunter die jüngste Zeitreihe, die im Jahre 2011 beginnt. Diese gehört zu dem Standort Schachen im Niederamt.

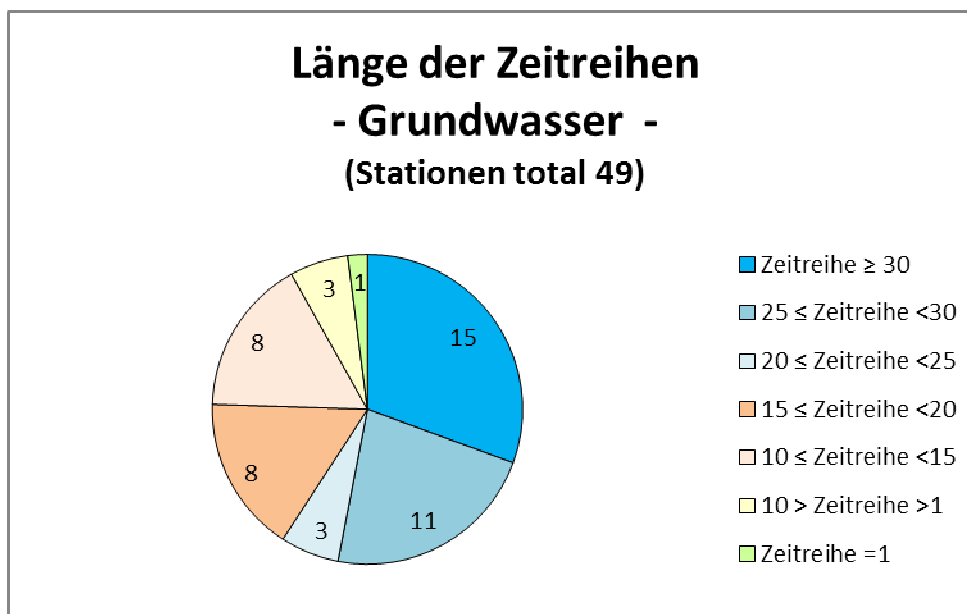


Abbildung 3: Verteilung Länge der Zeitreihen, Grundwasserspiegel (nach Jahren)

Der Beginn der flächenmässigen Grundwassertemperaturüberwachung liegt in den 90er Jahren. Daher sind die ältesten Temperaturmessreihen aus dem Jahre 1994. Diese 19jährigen Zeitreihen gehören zu den Standorten Unter-Forenban im Aaregäu (Fulenbach), Oensingerfeld im

Dünnerngäu (Oensingen) und zu den im Wasseramt gelegenen Stationen Pfaffenweiher (Subingen), RKO (Rechterswil) und Wylihofstrasse (Luterbach).

Insgesamt verzeichnen neun Messreihen Werte mit 15 bis 19 Jahren, weiter vier Datensätze sind 10 bis 14 Jahre alt (Abbildung 4). Sechs Zeitreihen umfassen weniger als 10 Jahre. Auch hier ist die Station Schachen im Niederamt mit einem Jahr an Datenaufzeichnung die jüngste Temperaturmessreihe.

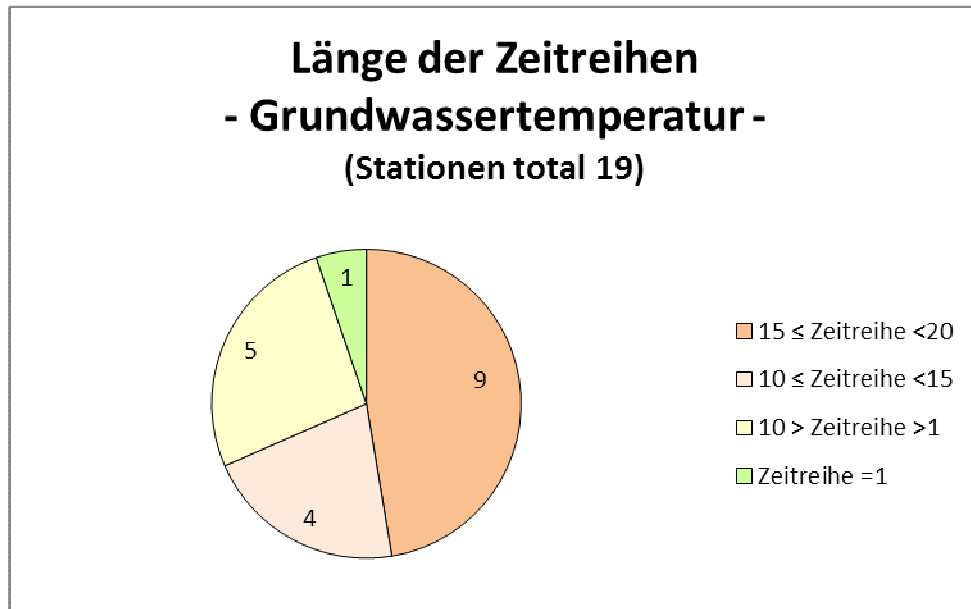


Abbildung 4: Verteilung Länge der Zeitreihen, Grundwassertemperatur (nach Jahren)

Allen verwendeten Messreihen liegen tägliche Messwerte zugrunde. Die Grundwasserspiegeldaten werden in Metern angegeben und die Grundwassertemperaturdaten in Grad Celsius. Mit dem Abfluss in Litern pro Minute erfolgt die Angabe der zwei Quellen.

Innerhalb der Zeitreihen kann es fehlenden Daten geben, die sich zum einen in den Grafiken als Lücke darstellen und als NA (Not Available) vermerkt sind. Zum anderen können die Zeitreihen auch nicht sichtlich fehlende Daten enthalten. Diese sind sowohl in der Grafik, als auch im Abschnitt der jeweiligen Station aufgeführt.

5 Methode

Um herauszufinden, wie sich die Grundwasserspiegel und deren Temperaturen in den Jahren der Datenaufzeichnung verändert haben bedarf es einen Trendtest.

Der Mann-Kendall Trendtest eignet sich besonders, da er nicht nur eine Aussage darüber treffen kann, ob es einen Trend gibt, sondern auch wie stark dieser ausgeprägt ist. Zudem ist es ein nicht-parametrischer Trendtest, der auf nicht normal-verteilte Daten, wie sie hier in diesem Fall vorliegen, angewendet werden kann.

Zurückzuführen ist der Trendtest auf den britischen Statistiker Maurice George Kendall (1907-1983 England) und den US-amerikanischen Mathematiker Henry Berthold Mann (1905-2000 Österreich/Arizona).

Mit diesem Trendtest wird ermittelt, ob die vorliegenden Zeitreihen einen positiven, einen negativen oder keinen Trend aufweisen.

Ein negativer Trend im Grundwasser würde bedeuten, dass der Grundwasserspiegel bzw. die -temperaturen gesunken sind. Im Gegensatz dazu würde ein positiver Trend einen Anstieg des Grundwasserspiegels bzw. der -temperaturen bezeichnen. Ohne einen Trend würden sich der Spiegel und die Temperaturen in etwa auf dem gleichen Niveau bewegen bzw. wären die Schwankungen ausgeglichen.

Bei einem negativen Trend und dessen Weiterführung könnten die Grundwasserreserven in der Zukunft gefährdet sein.

Ebenso kann ein Anstieg des Grundwasserspiegels zu Problematiken führen, wenn ein geringer Flurabstand vorhanden ist und das Grundwasser in Wechselwirkung mit der Oberfläche tritt.

5.1 Mann-Kendall Trendtest

In diesem Trendtest wird der Kendall **Score (S)** verwendet. **S** ist das Resultat der Rangverteilung zwischen x_j und x_k , wobei **j** und **k** die Position des Wertes repräsentieren. (PANU, U.S. et. al: 1994, S. 248ff)

$$S = \sum_{k=1} \sum_{j=k+1} \text{sgn}(x_j - x_k)$$

PANU, U.S. et. al: 1994, S. 248

Die Rangverteilung erfolgt über die Signum-Funktion (**sgn**), (signum, lat.: Vorzeichen), welche definiert ist durch:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & \text{für } x > 0 \\ 0, & \text{für } x = 0 \\ -1, & \text{für } x < 0 \end{cases}$$

STRY, Y., SCHWENKERT, R.: 2010, S. 63

Wenn x_i (ein Punkt in der Zeitreihe) > 1 (die Anfangsposition der Zählung in der Zeitreihe $k=1$), wird der Rang zugeordnet mit $+1$, ($j=k+1$). Wenn $x_i < 1$, wird dies als -1 zugeordnet, ($j=k-1$). Wenn $x_i = 1$, wird es als 0 vermerkt, dies resultiert in der Summe der $k = 1$ Werte. S gibt somit nach der Zählung die Summe der Werte aus, bei denen die x_j Werte die der x_k Werte übersteigt ($j > k$).

Der höchste **Score** wird erreicht, wenn $x_1 < x_2 < x_3, \dots < x_n$. Den theoretisch höchstmöglichen Score zeigt der **Denominator (D)** im Output des Mann-Kendall Trendtests auf.

Aus dem Verhältnis von S zu D (S/D) wird **Mann-Kendall's Rang-Korrelationskoeffizient tau (t)** berechnet. (PANU, U.S. et. al: 1994, S. 248ff; FUERST, J. et. al: 2008, S. 8)

Tau liegt in einem Rang zwischen $-1 \leq t \leq 1$.

An diesem Wert kann man ablesen, ob es einen Trend gibt bzw. welche Ausprägung der Trend hat. Je näher tau an ± 1 liegt, desto stärker ist der Trend.

$$t = S/D$$

FUERST, J. et. al: 2008, S. 8

Die Null-Hypothese (H_0) geht von dem Fall aus, dass alle Werte unabhängig und identisch verteilt sind ($S = \sum_{k=1} \sum_{j=k+1} \text{sgn}(x_j - x_k)$, $D = n(n-1)/2$), **tau** wäre in diesem Fall Null. (PANU, U.S. et. al: 1994, S. 248ff)

Im Gegensatz dazu nimmt die Alternativ-Hypothese (H_1) an, dass ein monotoner, linearer Trend in der Zeitreihe existiert. (PANU, U.S. et. al: 1994, S. 248ff ; FUERST, J. et. al: 2008, S. 8)

Wenn **tau = 1**, liegt ein perfekter positiver linearer Trend in der Zeitreihe vor.

Wenn **tau = -1**, liegt ein perfekter negativer linearer Trend in der Zeitreihe vor.

Wenn **tau = 0**, gibt es kein Trend in der Zeitreihe.

(PANU, U.S. et. al: 1994, S. 248ff)

Bei der Ausgabe des Resultates gibt die statistische Signifikanz (**p-Wert**) an, wie gross die Wahrscheinlichkeit ist, dass der Trend durch zufällige Daten erzeugt wurde. Erst ab einem p-Wert unter **0.05** spricht man von Signifikanz, da ab einem p-Wert < 0.05 , die Wahrscheinlichkeit der zufälligen Erzeugung unter **5%** liegt, also eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% besteht. (HORTEN-ZENTRUM, 2008)

5.2 Trend - Klassifizierung Grundwasserspiegel und Grundwassertemperatur

Für die bessere Einordnung und Verdeutlichung der Ergebnisse über die Entwicklung der Grundwasserspiegel und der Grundwassertemperaturen werden die **tau**-Werte ($-1 \leq \mathbf{tau} \leq 1$) in Klassen eingeteilt.

Tabelle 1: Einteilung der tau-Werte (t)

Einteilung der tau-Werte (t)										
0	±0.1	±0.20	±0.3	±0.40	±0.5	±0.6	±0.70	±0.8	±0.90	±1
keine Prägung (kein Trend)	schwach ausgeprägt (steigend/sinkend)			ausgeprägt (steigend/sinkend)			stark ausgeprägt (steigend/sinkend)		sehr stark Ausgeprägt (steigend/sinkend) (perfekter Trend)	

Aus dieser Einteilung ergeben sich insgesamt fünf Haupt-Klassen, die die Stärke des Trends versprachlicht zum Ausdruck bringen. Ausser der ersten Klasse, besitzen alle Klassen zwei Untertypen: "steigend" und "sinkend".

"steigend" entspricht einem positiven Trend und "sinkend" einem negativen Trend.

Alle Hauptklassen sind bei den Ergebnissen der Analyse enthalten.

Tabelle 2: Einteilung der Trendindikatoren Grundwasserspiegel/Pumpmenge

Trend-Klassifizierung Grundwasserspiegel/-temperatur								
Kein Trend keine Prägung (t =0 bis ±0.19)	schwach ausgeprägt		ausgeprägt		stark ausgeprägt		sehr stark ausgeprägt	
	steigend (t ≥0.2)	sinkend (t ≤ -0.2)	steigend (t ≥ 0.4)	sinkend (t ≤ -0.4)	steigend (t ≥ 0.7)	sinkend (t ≤ -0.7)	steigend (t ≥ 0.9)	sinkend (t ≤ -0.9)
positiver Trend = steigend					negativer Trend = sinkend			

Die tau-Werte zwischen -0.19 und 0.19 liegen zu nah an der von der Null-Hypothese angenommenen Werteverteilung ($\tau = 0$) und sind somit zu gering, um diese aufheben zu können. Erfahrungsgemäss besitzen die tau-Werte unter 0.2 bzw. über -0.2 niedrige Signifikanzwerte bzw. Erwartungswerte und können die Null-Hypothese nicht aufheben. Diese Einteilung der tau-Werte ist jedoch nicht statisch, sondern immer in Abhängigkeit mit der Länge der Zeitreihe und der Statistischen Signifikanz zu beurteilen.

6 Hypothesen

Die Hypothesen für den Mann-Kendall Trendtest lauten:

Null Hypothese (H_0):

Es existiert kein linearer Trend in der Zeitreihe, alle Werte sind unabhängig und identisch verteilt ($\tau=0$).

Alternativ-Hypothese (H_1):

Es existiert ein monotoner, linearer Trend in der Zeitreihe.

Bei jedem berechneten Trend wird die statistische Signifikanz (**p-Wert**) mitangegeben, die aussagt wie gross die Wahrscheinlichkeit ist, dass der Trend durch zufällige Daten erzeugt wurde.

7 Problemdarstellung

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass eine grosse Anzahl von fehlenden Daten das Trendergebnis verfälschen kann. Durch das Fehlen von Daten kann es zur Herausbildung eines Trends kommen, der möglicherweise mit dem Vorhandensein der Werte nicht gegeben wäre. Auch der umgekehrte Fall, dass es nicht zu einem Trend kommt, könnte eintreten.

Grosse Datenlücken, die ein Jahr oder mehr umfassen, sind jedoch nur bei wenigen Messreihen vorhanden.

Ebenfalls ist es nicht auszuschliessen, dass sich durch das Austauschen von Messgeräten der Pegelbezugspunkt und der Abstich verändern, wodurch es zu einem anhaltenden Anstieg oder Absinken des Pegels kommt. Dies würde dann fälschlicherweise in einem Trend münden. Für Temperaturmessgeräte gilt dies gleichermassen.

Zudem werden die Trendergebnisse von der Länge der Zeitreihe beeinflusst. Daher muss das jeweilige Trendergebnis immer in Abhängigkeit zur Länge der Zeitreihe betrachtet werden. Bei jungen Zeitreihen (10 Jahren) ist die Beständigkeit und Aussagekräftigkeit des Trends mit Vorsicht zu anzunehmen, weil es innerhalb einer kurzen Zeitreihe schneller zu der Herausbildung eines Trends kommt.

Unter den Resultaten trifft dies bei vier Temperaturrennds zu, deren Messreihen 10 bzw. unter 10 Jahre umfassen.

Auch die Absenkungen bzw. Anstiege innerhalb einer Zeitreihe sollten immer in Relation von Schwankungsgrad, Grundwasserkörpermächtigkeit und Zeitraum betrachtet werden. Den Skalierungen der Grafiken sollte demnach eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

8 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die 50 Messreihen der Grundwasserspiegel, mit den dazugehörigen 19 Grundwassertemperaturmessreihen, und die Ergebnisse der Trendanalyse vorgestellt und interpretiert. Jeweils innerhalb des hydrogeologischen Gebiets und nach Standorten aufgeführt.

Es wird ein besonderes Augenmerk auf die Trockenjahre 2003 und 2011, wie auf das niederschlagsreiche Jahr 2006 gelegt. Diese Bezüge sind nicht statistisch belegt.

Die klimatischen Einwirkungen auf die Grundwasserkörper können direkt durch das Ausbleiben von Niederschlag und anhaltender Trockenheit bzw. hohem Niederschlag erfolgt sein, durch Infiltration und Exfiltration in den Vorfluter, sowie indirekt durch Wasserentnahme bzw. aus einer Wechselwirkung.

Bis auf einen Datensatz, wurden alle vorhandenen Zeitreihen der Grundwasserspiegel- und Grundwassertemperatur zur Ermittlung der Trends verwendet, wobei die Zeitreihen der Stationen unterschiedliche lange Zeiträume umfassen.

Die Zeitreihe der Messstation Schachen (Niederamt) besitzt nur ein Jahr mit Datenaufzeichnungen. Dies ist nicht ausreichend für eine Trendanalyse, da lediglich ein „Trend“ im Jahresgang ermittelt werden könnte. Somit kann das Ergebnis der Trendanalyse in diesem Fall nicht verifiziert werden.

Tage mit fehlerhaften Werten (entstanden durch Messfehler) wurden für die Trendanalyse nicht aus der Zeitreihe gestrichen, sondern durch NA (Not Available) ersetzt. Daher können die Grafiken Datenlücken in ihrer Ganglinie aufweisen. Die fehlenden Werte wurden bewusst nicht durch Mittelwerte ersetzt, um das Ergebnis des Trendtests nicht zu verfälschen. Bei den Berechnungen werden die NAs allerdings durch den Trendtest ignoriert.

Die Zeitreihen können auch nicht ersichtlich fehlende Daten enthalten. Diese sind sowohl in den Grafiken, als auch im Abschnitt der jeweiligen Station aufgeführt.

8.1 Aaregäu

Das Gebiet Aaregäu besitzt eine Grundwassermächtigkeit zwischen 2 und 20 Metern und umfasst zwei Grundwassermessstellen, inklusive Grundwassertemperaturmessung, welche sich in den Gemeinden Fulenbach und Wolfwil befinden. Von dem Pumpwerk Wolfwil existieren zwei Grundwassermessreihen.

8.1.1 Limnigraf Unter-Forenban (Fulenbach)

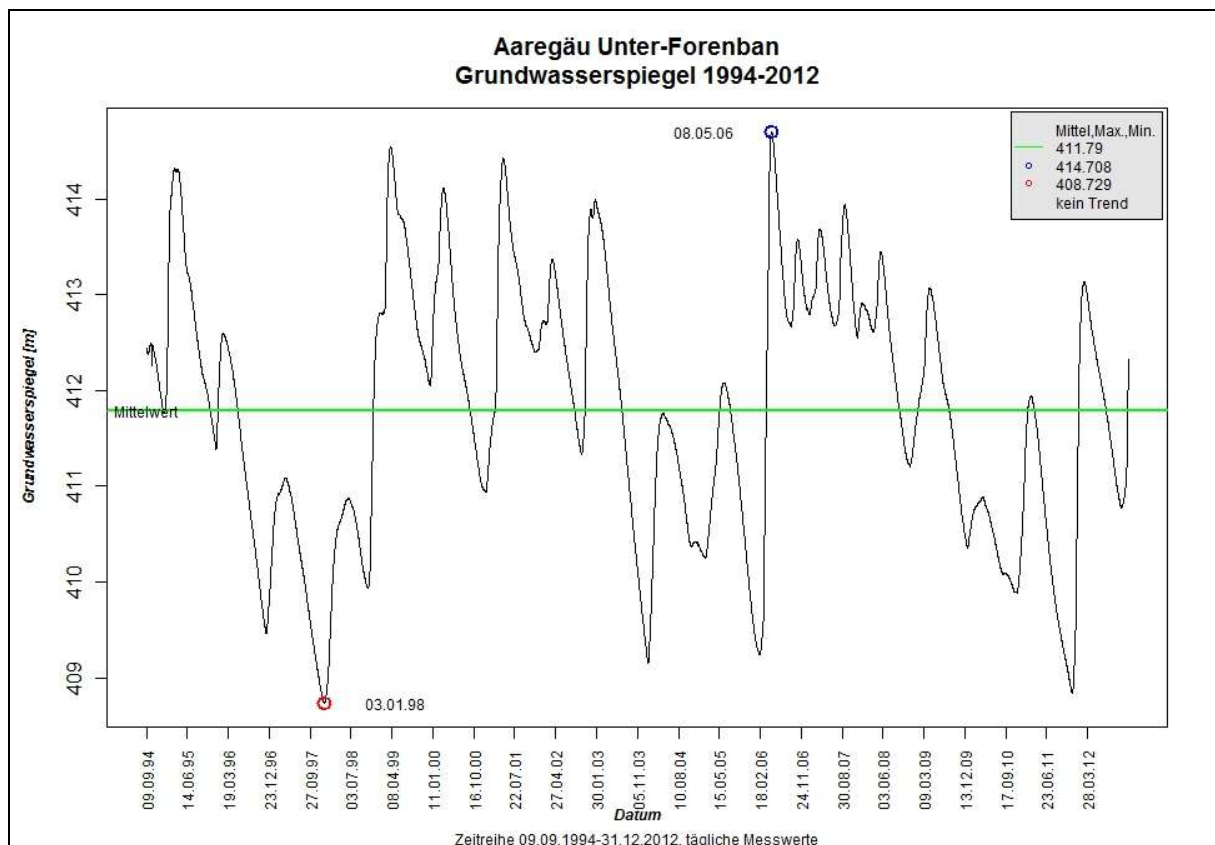


Abbildung 5: Limnigraf Unter-Forenban (Fulenbach)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Die Grundwassermessreihe von Unter-Forenban umfasst 18 Jahre und beginnt am 09.09.1994. Der Grundwasserkörper besitzt eine Mächtigkeit zwischen 10 und 20 Metern. Im Mittel beträgt der Grundwasserspiegel 411.79m. Der Maximumgrundwasserspiegel liegt bei 414.71m und ist am 08.05. im niederschlagsreichen Jahr 2006 gemessen worden. Am 03.01.1998 ist der niedrigste Spiegel mit 408.73m datiert. Dies resultiert in einen Differenzbereich von 5.98m.

Mit einem ebenfalls niedrigen Pegel sind die Trockenjahre 2003 und 2011 deutlich erkennbar. In der Grundwasserganglinie gibt es keinen Trend und die periodischen Schwankungen von Hoch- und Tiefphasen im Verlauf sind ausgeglichen.

8.1.1.1 Grundwassertemperatur Unter-Forenban (Fulenbach)

Ebenfalls seit dem 09.09.1994 wird die Grundwassertemperatur aufgezeichnet. Im Durchschnitt hat das Grundwasser eine Temperatur von 9.56°C. Die niedrigste Temperatur, mit 9.1°C, ist im Jahre 1999 (24.-26.05.99, 30.05.-28.06.99, 05.-06.07.99) gemessen worden. Die Höchsttemperatur von 9.9°C stammt aus dem Jahr 2012 (29.01.12-13.02.12, 26.12.12-31.12.12). Innerhalb dieser Amplitude von 0.8°C zeigt der Verlauf einen ausgeprägten Anstieg der. Der positive Trend besitzt einen tau-Wert von 0.564 mit einer hohen Signifikanz ($p < 2.22e-16$). Damit liegt die Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1%.

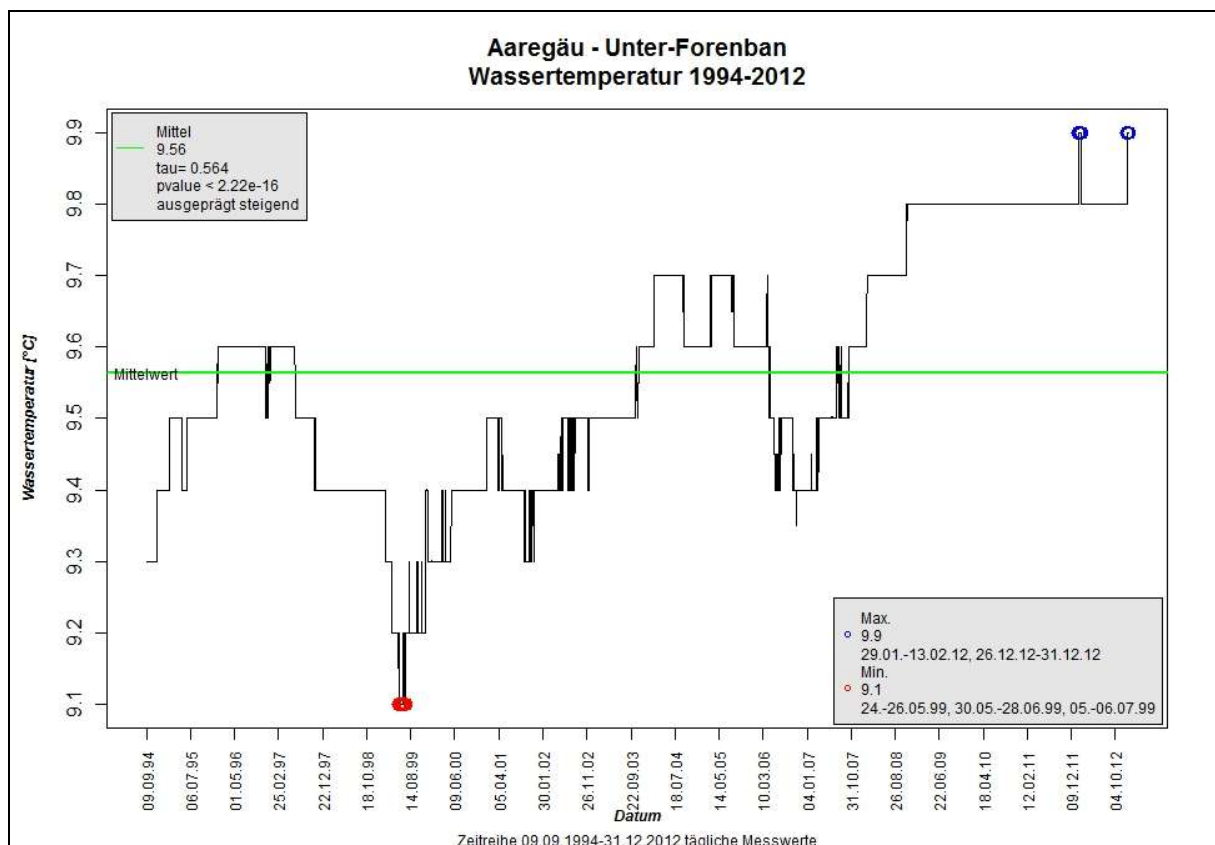


Abbildung 6: Grundwassertemperatur Unter-Forenban (Fulenbach)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C,

Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

8.1.2 Pumpwerk Wolfwil (Wolfwil)

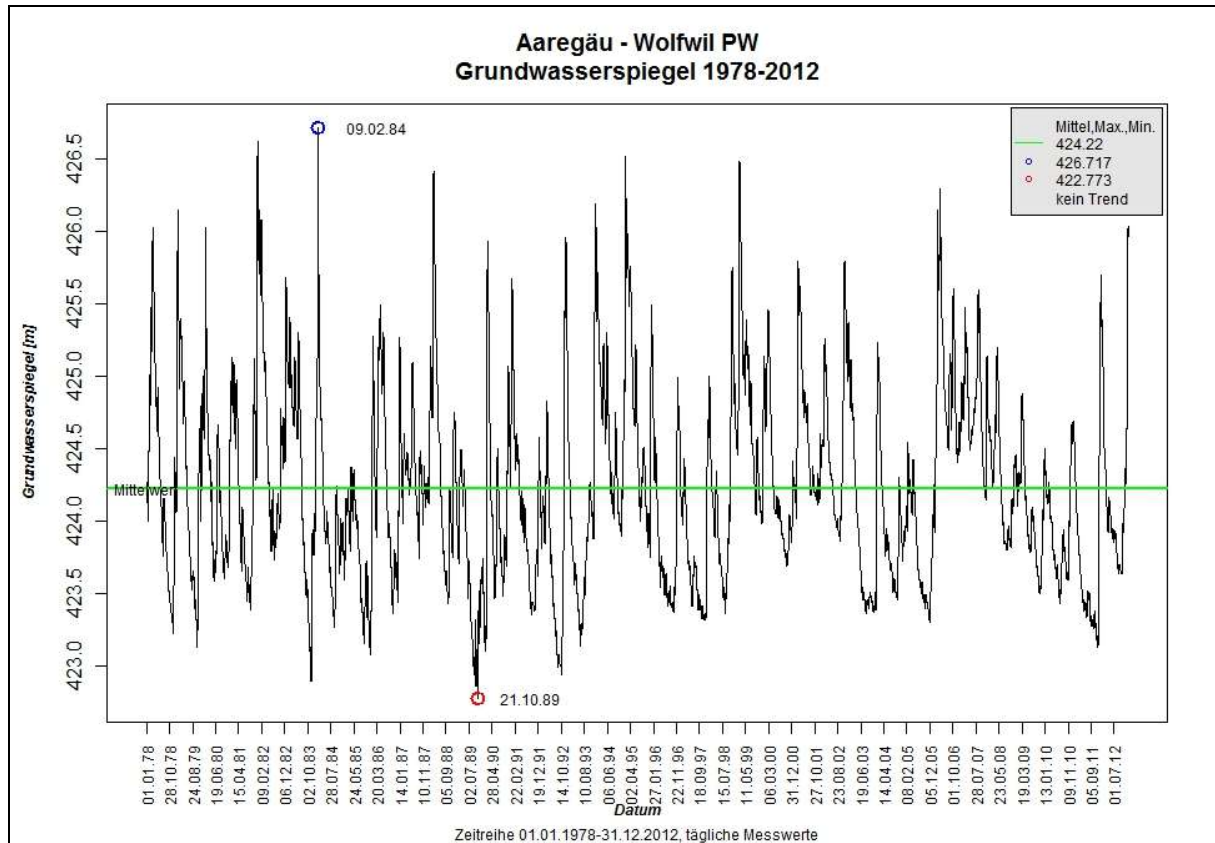


Abbildung 7: Pumpwerk Wolfwil (Wolfwil)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum

Das Pumpwerk Wolfwil liegt in einem Areal mit einer Grundwassermächtigkeit von 2 bis 10 Metern.

Bis zum 01.01.1978 reicht die Aufzeichnungen der 34 jährige Zeitreihe des Pumpwerkes zurück. Das langjährige Mittel des Grundwasserspiegels beträgt 424.22m. Am 09.02.1984 hat der Grundwasserspiegel seinen Höchststand bei 426.72m erreicht. Mit einer Differenz von 3.95m liegt der Minimumspiegel der Zeitreihe bei 422.77m, am 21.10.1989. Die relativ gleichmässig aufeinanderfolgenden Schwankungen zwischen Hoch- und Niedrigpegel beinhalten keinen Trend.

In den Trockenjahren 2003 und 2011 sind Niedrigpegel eingetreten, diese setzten sich allerdings nicht von anderen Niedrigständen ab. Die Einwirkungen des Jahres 2003 sind bis zum niederschlagsreichen Jahr 2006 zu beobachten. An das Jahr 2006 schliesst sich eine Phase mit absinkendem Grundwasserspiegel an, welche ihren Tiefpunkt im Trockenjahr 2011 erreicht und nachfolgend wieder ansteigt.

8.1.3 Pumpwerk Wolfwil online (Wolfwil)

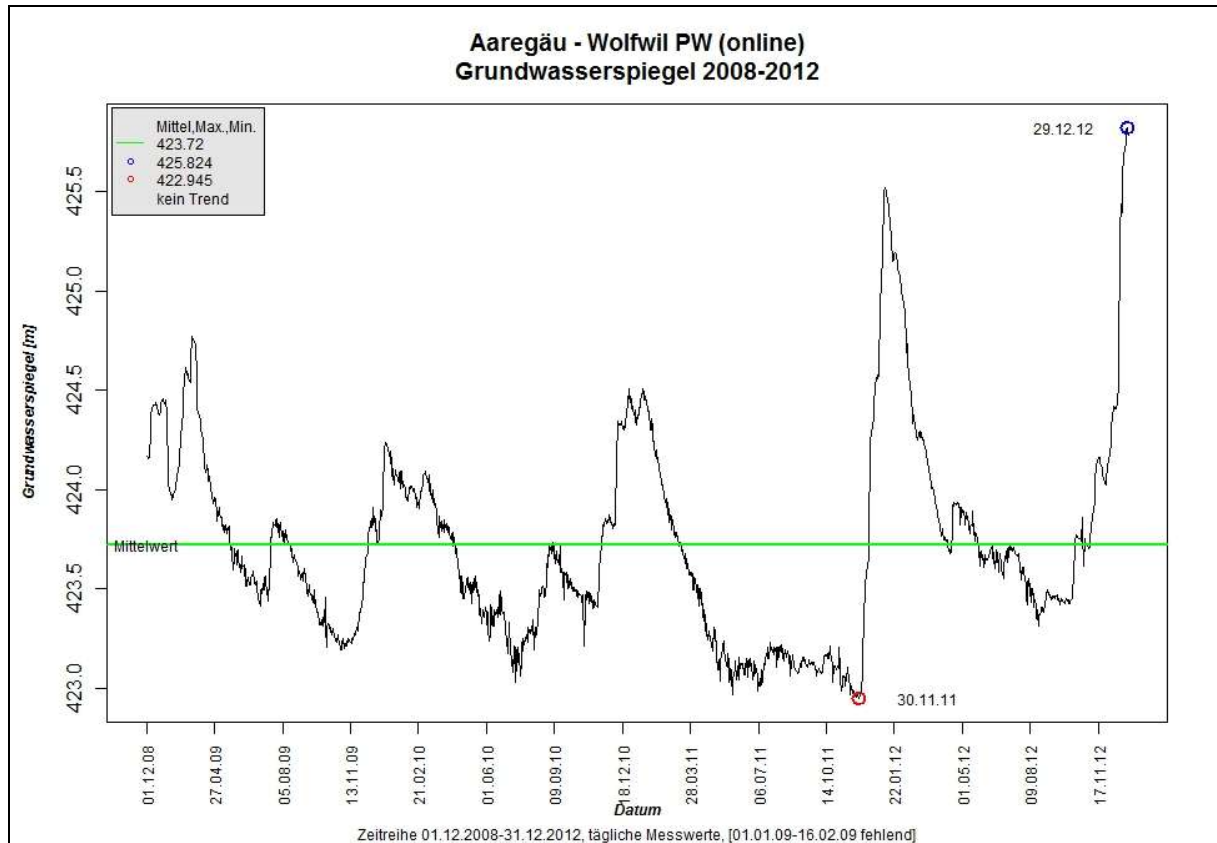


Abbildung 8: Pumpwerk Wolfwil online (Wolfwil)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Seit dem 01.12.2008 gibt es eine zusätzliche Messreihe im Pumpwerk Wolfwil. Zuzüglich der pumpwerkseigenen Messsonde wurde im Jahre 2008 eine online geschaltete Messsonde durch den Kanton installiert.

Deren mittlerer Grundwasserspiegel liegt bei 423.72m und damit einen halben Meter unter dem Mittel der Langzeitreihe.

Der höchstgemessene Pegel beträgt 425.82m, am 29.12.2012. Der niedrigste Grundwasserspiegel, mit 422.94m, wurde im Trockenjahr 2011, am 30.11.2011 gemessen. Damit hat die jüngere Zeitreihe mit 2.88m einen geringeren Schwankungsbereich. Die Hochwasserspitzen steigen ab dem Jahr 2010.

Bei der Analyse ist kein Trend ermittelt worden.

8.1.3.1 Grundwassertemperatur Pumpwerk Wolfwil (Wolfwil)

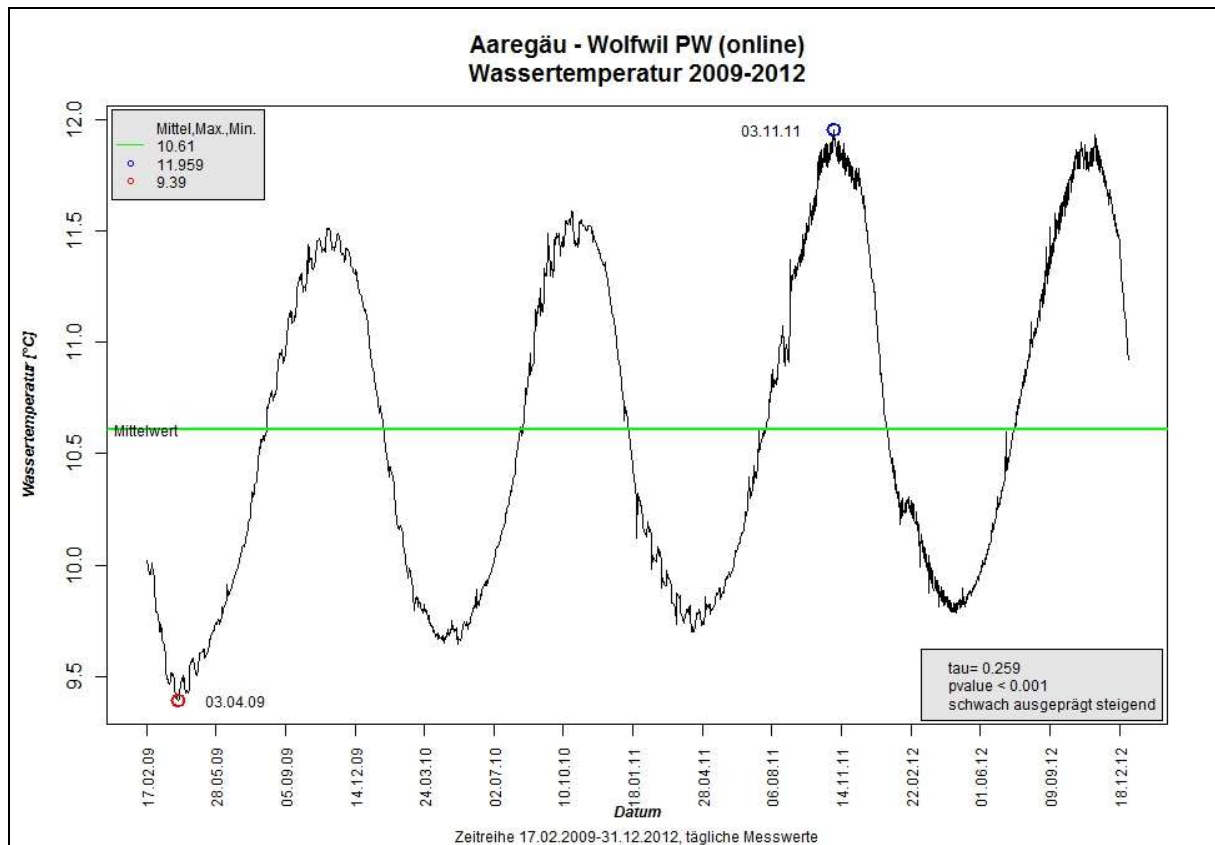


Abbildung 9: Grundwassertemperatur Pumpwerk Wolfwil (Wolfwil)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C,

Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Die Grundwassertemperatur wird in Wolfwil seit dem 17.02.2009 gemessen. Relativ zu Beginn der Zeitreihe befindet sich mit 9.39°C die niedrigste Temperatur, am 03.04.2009. Am 03.11.2011 beträgt die höchstgemessene Wassertemperatur 11.96°C und liegt somit 2.57°C über dem Minimum. Die mittlere Temperatur liegt bei 10.61°C.

Nicht nur die periodisch auftretenden jahreszeitlichen Temperaturschwankungen sind in der Ganglinie ersichtlich, sondern auch ein schwach ausgeprägter Temperaturanstieg. Dem signifikanten ($p < 2.22 \times 10^{-16}$) positiven Trend liegt, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 1%, ein tau-Wert von 0.259 zugrunde. Somit zeigt der Verlauf eine schwach ausgeprägte steigende Temperaturganglinie.

8.1.4 Fazit Aaregäu

Die drei Zeitreihen der zwei Messstationen Unter-Forenban und Wolfwil (zwei Messreihen) zeigen keinen Trend in der Entwicklung des Grundwasserspiegels und es lassen sich in den regelmässigen Schwankungen der Ganglinien keinen Tendenzen erkennen.

Dahingegen zeigen beide Datensätze der Grundwassertemperatur einen positiven Trend. Ein schwach ausgeprägter Anstieg ($\tau = 0.26$) ist in Wolfwil gegeben und in Unter-Forenban ist der Temperaturanstieg ausgeprägt ($\tau = 0.56$).

8.2 Dünnerngäu

Im Gebiet Dünnerngäu gibt es neun Grundwassermessstellen, darunter sechs Pumpwerke. Sie befinden sich in den Gemeinden Olten, Härkingen, Kestenholz, Oensingen, Neuendorf, Oberbuchsiten und Wangen b. Olten. Die Messstation Härkingen ist nicht mehr in Betrieb. Von den drei Messstellen, Kestenholz, Oberbuchsiten und Oensingerfeld gibt es zudem Zeitreihen über die Grundwassertemperatur.

Das Dünnerngäu hat sowohl geringe Grundwassermächtigkeiten zwischen 2m und 10m, als auch Areale mit Mächtigkeiten bis über 50m. Die grösste Anzahl der Messstationen liegen in Grundwassermächtigkeiten zwischen 30m und 50m.

8.2.1 Pumpwerk Härkingen (Härkingen)

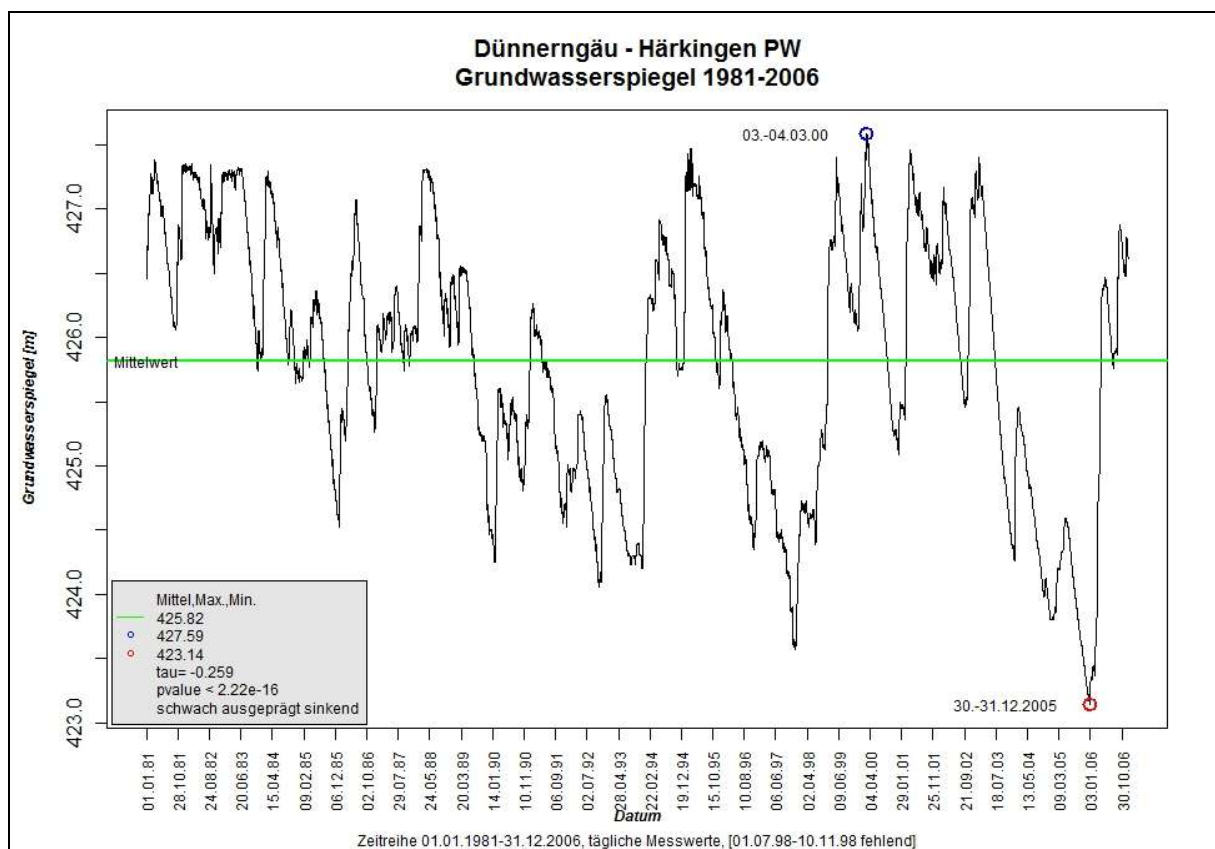


Abbildung 10: Pumpwerk Härkingen (Härkingen)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
 Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Die Zeitreihe des Pumpwerks Härkingen umfasst die Jahre vom 01.01.1981 bis zum 31.12.2006, mit fehlenden Daten in der Zeitspanne vom 01.07.1998-10.11.1998. Zwischen 30 und 40 Metern befindet sich die Mächtigkeit des Grundwasserkörpers.

An den beiden Tagen des 03. und 04.03.2000 wurde der höchste Grundwasserspiegel mit 427.59m gemessen. Der niedrigste Spiegel, mit 423.14m, ist am 30.12. und 31.12.2005 datiert. Das Mittel der Ganglinie misst 425.82m.

In dem Pegeldifferenzbereich mit 4.45m ist ein schwach sinkender Grundwasserspiegel ermittelt worden. Ein signifikanter negativer Trend ($\tau = -0.259$, $p < 2.22e-16$), der optisch durch tiefer werdende Niedrigspitzen unterstrichen wird. Die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt unter 1%.

8.2.2 Pumpwerk Zelgli (Kappel)

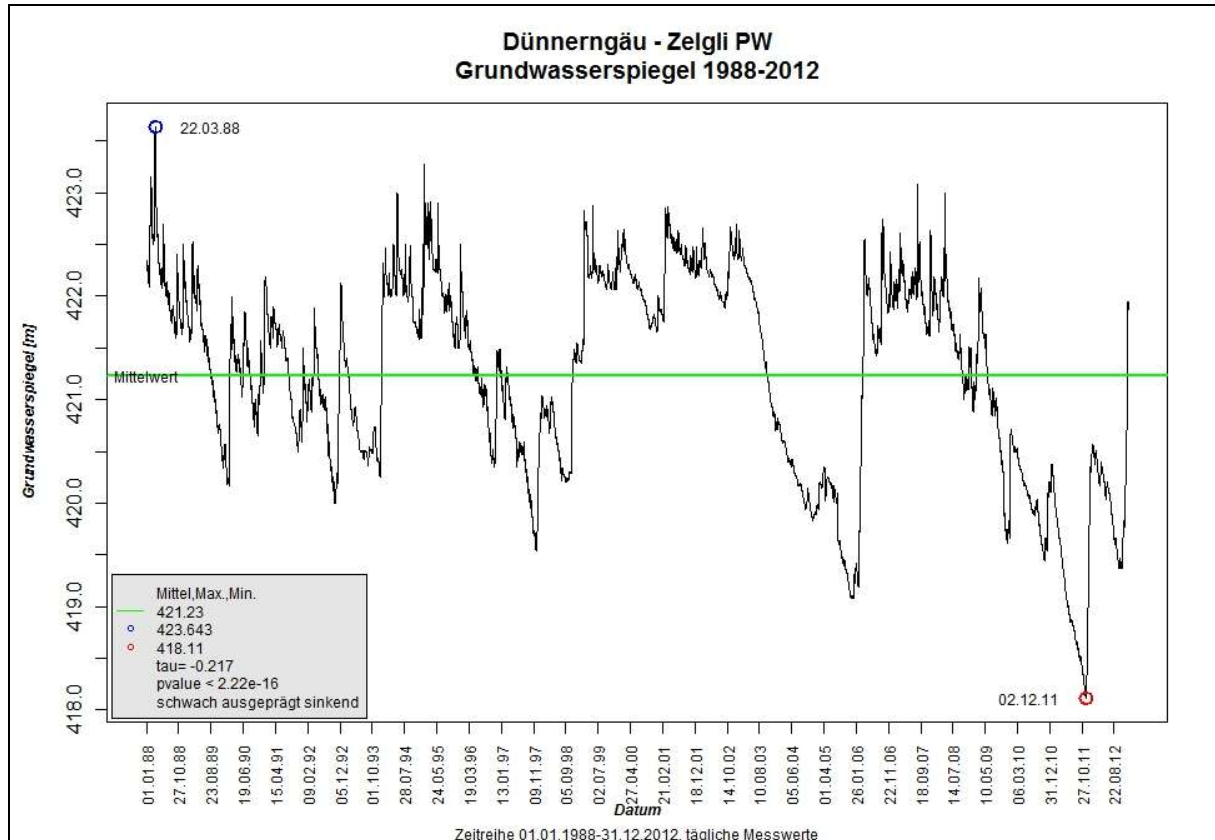


Abbildung 11: Pumpwerk Zelgli (Kappel)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
 Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Von dem Pumpwerk Zelgli liegt die Grundwasserzeitreihe seit dem 01.01.1988 vor. Der Standort Zelgli hat ein Areal mit einer 40m bis 50m tiefen Grundwassermächtigkeit und grenzt an einen Grundwasserkörper mit einer Mächtigkeit von 30 bis 40m.

Am 22.03.1988 ist der Höchststand mit 423.64m datiert. Im Winter des Trockenjahres 2011 ist an diesem Standort, am 02.12.2011, der niedrigste Pegel, mit 418.11m, gemessen worden. Dies resultiert in einer Differenz von 5.53m.

Im langjährigen Mittel beträgt der Grundwasserspiegel 421.23m. Die Grundwasserganglinie zeigt die Charakteristika eines immer tieferreichenden Pegels auf. Besonders Markant sind dabei die Jahre 2003 bis 2006 und das Trockenjahr 2011.

Ein signifikanter negativer Trend ($\tau = -0.217$, $p < 2.22e-16$), mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 1%, geht aus der Analyse hervor und bezeichnet einen schwach ausgeprägt sinkenden Grundwasserspiegel.

8.2.3 Limnigraf Kestenholz (Kestenholz)

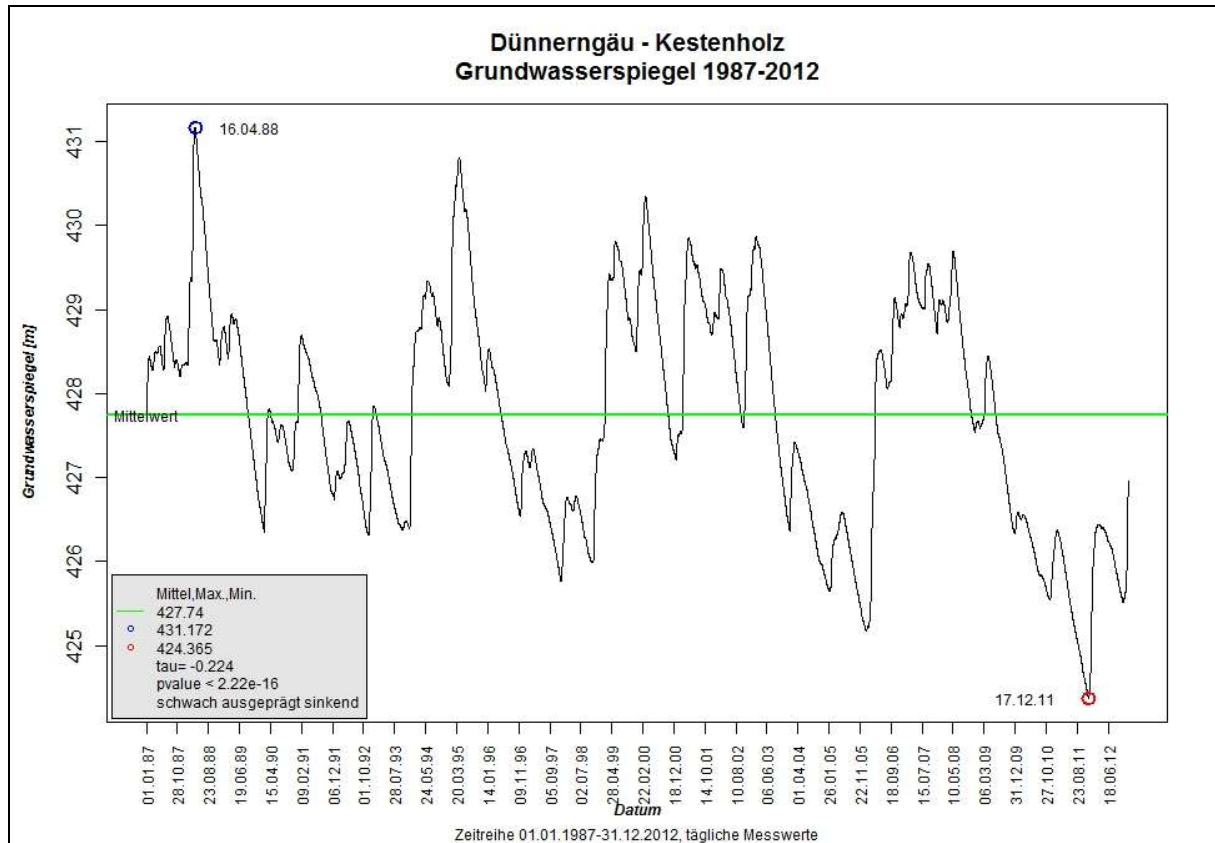


Abbildung 12: Limnigraf Kestenholz (Kestenholz)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Der Grundwasserkörper, aus dem die Messreihe des Limnigrafen Kestenholz stammt, besitzt eine Mächtigkeit zwischen 30 und 40 Metern. Die Datenreihe beginnt am 01.01.1987 und hat einen mittleren Grundwasserspiegel bei 427.74m. Im zweiten Jahr der Aufzeichnung, am 16.04.1988, befindet sich der höchstgemessene Grundwasserspiegel mit 431.17m. Der Tiefststand von 424.37m ist im Trockenjahr 2011 am 17.12. gemessen worden. Daraus resultiert ein Differenzbereich mit 6.8m, in der ausgeprägte Hoch- und Niedrigphasen aufeinander folgen. Deren Peaks werden im Verlauf niedriger.

Die Analyse hat mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 1% einen negativen signifikanten Trend in der Ganglinie ermittelt (tau = -0.224, $p < 2.22e-16$). Der Grundwasserspiegel sinkt schwach ausgeprägt.

8.2.3.1 Grundwassertemperatur Kestenholz (Kestenholz)

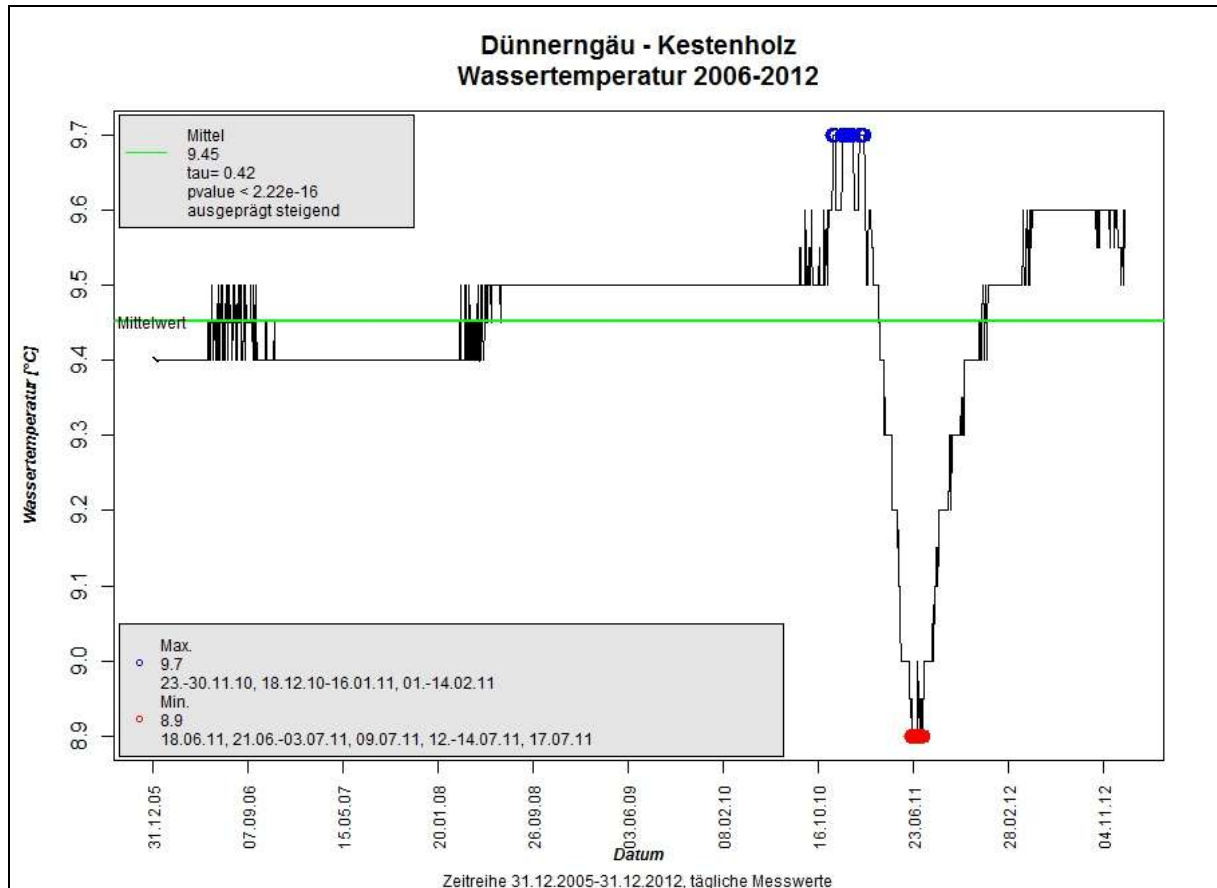


Abbildung 13: Grundwassertemperatur Kestenholz (Kestenholz)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C,

Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Die Temperaturzeitreihe in Kestenholz wird seit dem 31.12.2005 aufgezeichnet und daher erst mit dem Jahre 2006 angegeben. In dem Grundwasserkörper schwankt die Temperatur mit 0.8°C, zwischen der Maximumtemperatur mit 9.7°C und der Minimumtemperatur mit 8.9°C. Die Maxima sind in den in den Zeiträumen vom 23.-30.11.2010, 18.12.2010-16.01.2011 und vom 01.-14.02.2011 gemessen worden und ebenfalls im Trockenjahr 2011 die Minima, an den Tagen des 18.06.2011, vom 21.06.-03.07.2011, am 09.07.11, zwischen dem 12.-14.07.11 und am 17.07.11. Im Mittel beträgt die Grundwassertemperatur 9.45°C.

Auch, wenn die Minima optisch einen tiefen Schnitt in der Ganglinie darstellen, gibt es einen signifikanten positiven Trend (tau = 0.42, $p < 2.22e-16$) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1%. Die Temperatur steigt ausgeprägt über die Jahre Aufzeichnung.

Die Beständigkeit und Aussagekräftigkeit dieses Trends ist mit Vorsicht anzunehmen, weil es innerhalb einer kurzen Zeitreihe schneller zu der Herausbildung eines Trends kommt.

8.2.4 Pumpwerk Neufeld (Neuendorf)

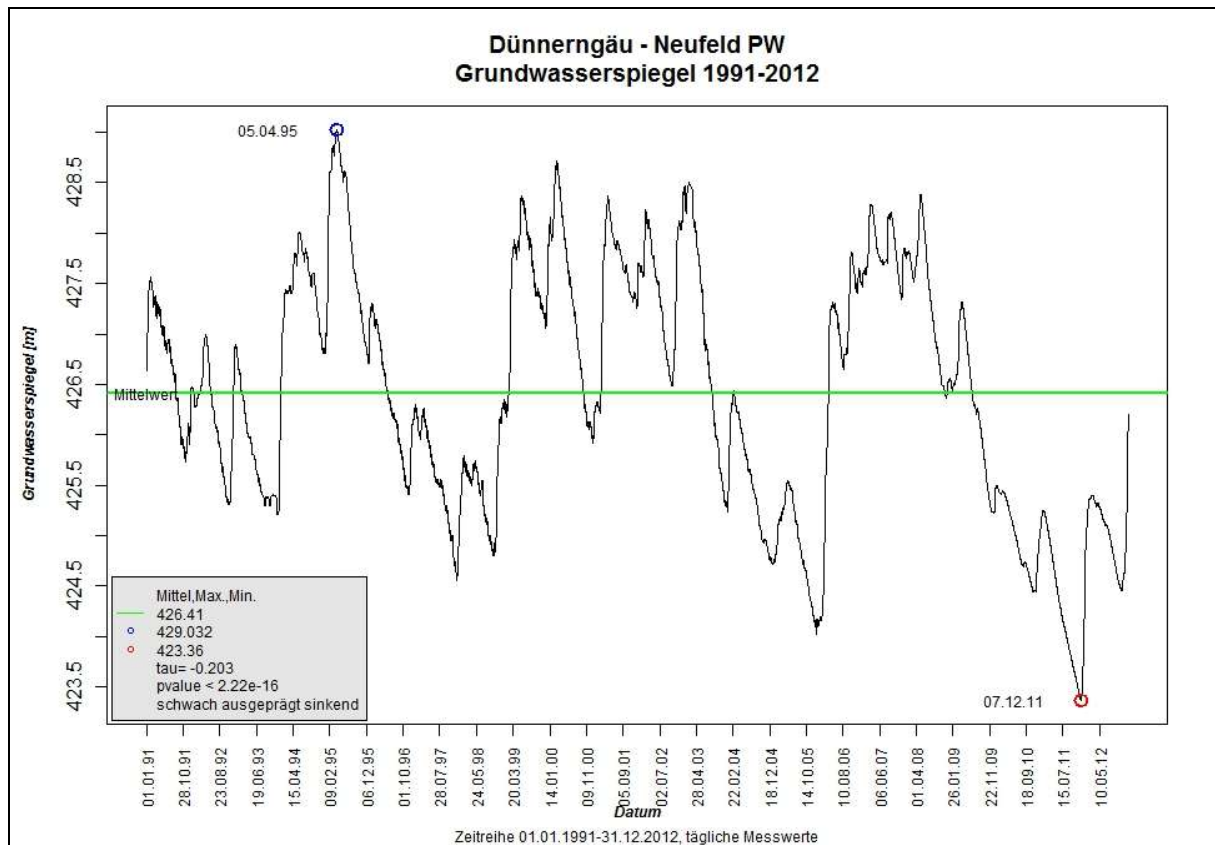


Abbildung 14: Pumpwerk Neufeld (Neuendorf)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
 Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

In einem Grundwasserkörper mit einer über 50m grossen Mächtigkeit liegt das Pumpwerk Neufeld, dessen Messreihe seit dem 01.01.1991 geführt wird.

Die Differenz zwischen dem Maximumpeak bei 429.03m, gemessen am 05.04.1995, und dem niedrigsten Spiegel mit 423.36m, gemessen am 07.12.2011, beträgt 5.67m. Im Mittel über die Jahre liegt der Grundwasserspiegel bei 426.41m.

Der Grundwassergang des Pumpwerks zeigt einen schwach sinkenden Pegel. Es gibt eine Phase niedriger Spiegelstände, inklusive dem Trockenjahr 2003, andauernd bis in Jahr 2006. Diese Phase wird durch die Minima im Trockenjahr 2011 noch weiter unterschritten. Die Ganglinie besitzt einen signifikant negativen Trend ($\tau = -0.203$, $p < 2.22 \cdot 10^{-16}$). Diesem Trend liegt eine Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1% zugrunde und lässt sich als schwach ausgeprägt sinkend formulieren.

8.2.5 Linnigrat Oberbuchsiten (Oberbuchsiten)

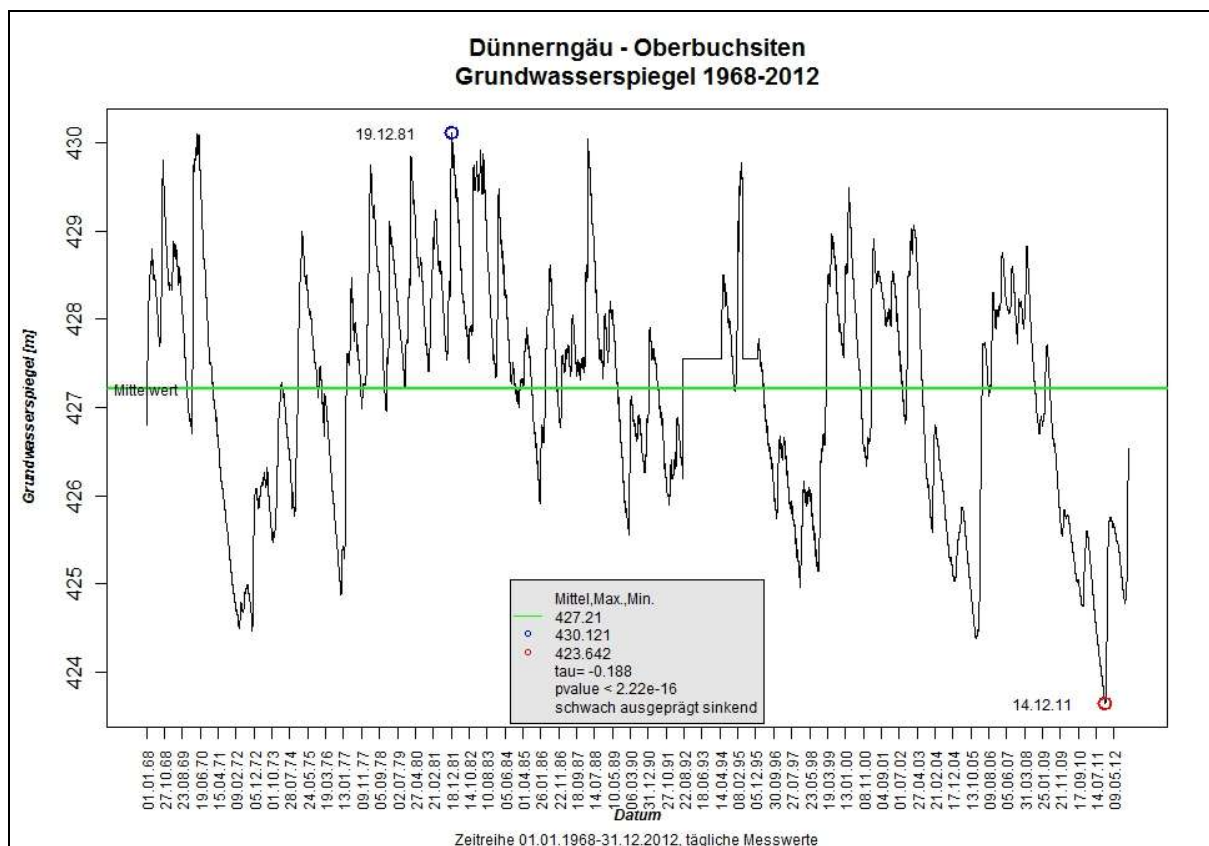


Abbildung 15: Linnigrat Oberbuchsiten (Oberbuchsiten)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,

Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Die Messstelle Oberbuchsiten ist in einem Grundwasserkörper mit einer Mächtigkeit über 50m gelegen. Oberbuchsiten besitzt eine von den zwei längsten Zeitreihen im Kanton Solothurn die 44 Jahre umfassen (aus dem Wasseramt - Subingen stammt die zweite). Ohne Datenlücken besteht die Messreihe seit dem 01.01.1968.

Das 44jährige Mittel des Grundwasserspiegels liegt bei 427.21m. Den höchsten Pegel mit 430.12m hat das Grundwasser am 19.12.1981 erreicht. Bei 423.64m liegt der niedrigste Pegel, der im Trockenjahr 2011, am 14.12.2011, datiert ist. Während die Grundwasserganglinie Ende der 70er bis Mitte der 80er Jahre fast ausschliesslich über dem langjährigen Mittel gelegen hat, ist seit Mitte der 90er Jahr eine Absenkung der Grundwasserpeaks zu beobachten. Darunter sind die Auswirkungen des Jahrhundertsommers 2003 mit einer anhaltenden Niedrigpegelperiode ersichtlich.

Innerhalb des 6.48m umfassenden Schwankungsbereiches des Grundwasserspiegels gibt es einen signifikanten ($p < 2.22e-16$) negativen Trend. Hierzu ist anzumerken, dass der tau Wert mit -0.188 zwar sehr nah an Null liegt, wie von der die Nullhypothese bei der Normalverteilung der Daten angenommen wird. Allerdings liegt die Wahrscheinlichkeit und der Erwartungswert, dass normalverteilte Daten ohne Trend diesen tau-Wert erzielen unter 1% ($p < 2.22e-16$). Daher kann die Alternativhypothese, die von einem monotonen linearen Trend ausgeht, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 1% angenommen werden.

Bei der Durchführung der Trendanalyse ab dem Jahre 1981 ist der tau-Wert mit -0.324 ($p < 2.22e-$

16) eindeutiger.

Beide Ergebnisse führen zur gleichen Interpretation von einem schwach ausgeprägt sinkend Grundwasserspiegel.

8.2.5.1 Grundwassertemperatur Oberbuchsiten (Oberbuchsiten)

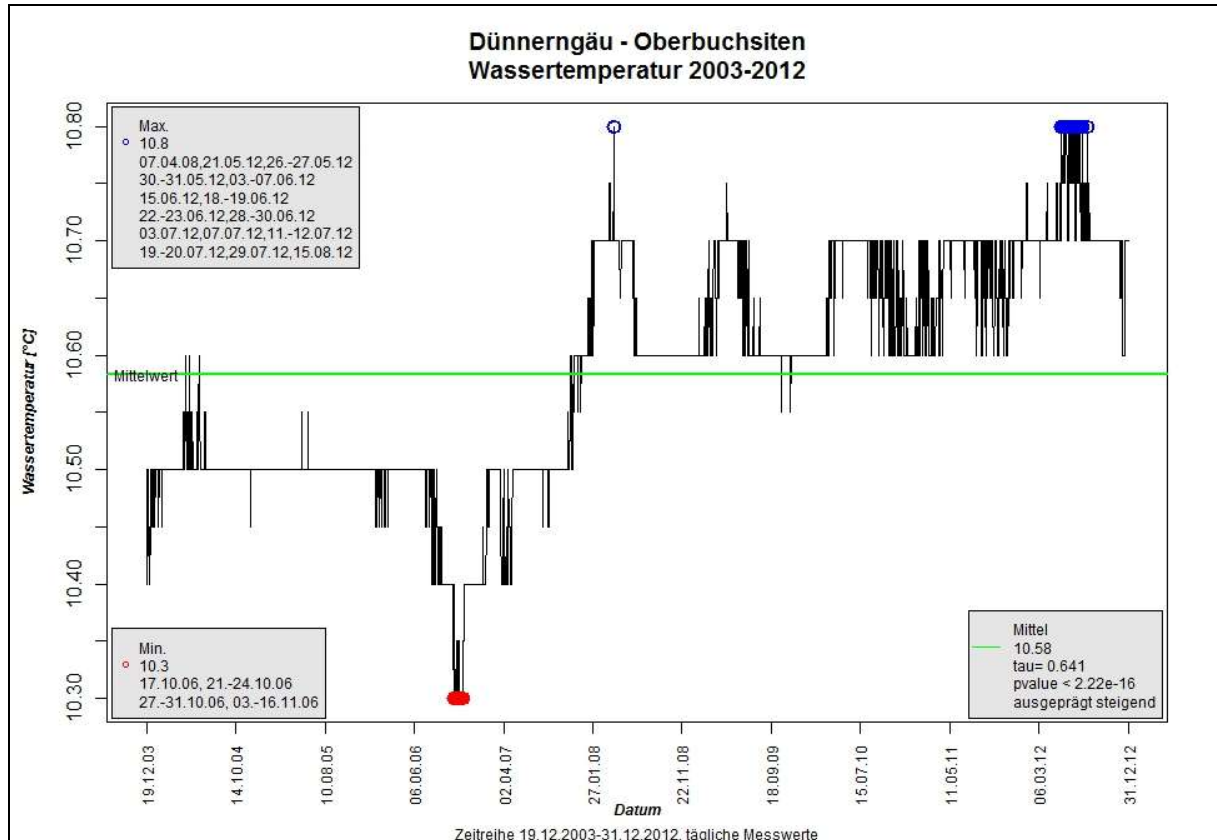


Abbildung 16: Grundwassertemperatur Oberbuchsiten (Oberbuchsiten)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C,
Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Seit dem Jahr 2004 liegen Grundwassertemperaturdaten der Messstelle Oberbuchsiten vor, die Messungen begannen korrekterweise am 19.12.2003.

Bei 10.58°C liegt die Durchschnittstemperatur der acht Jahre. Die Maximumtemperatur beträgt 10.8°C und wurde an den Tagen dieser Jahre gemessen: 07.04.2008, 21.05.2012, 26.-27.05.2012, 30.-31.05.2012, 03.-07.06.2012, 15.06.2012, 18.-19.06.2012, 22.-23.06.2012, 28.-30.06.2012, 03.07.2012, 07.07.2012, 11.-12.07.2012, 19.-20.07.2012, 29.07.2012, 15.08.2012.

Bis auf den Wert im Jahre 2008, stammen alle Maxima aus dem Frühling und Sommer des Jahres 2012. Die Minimumtemperatur mit 10.3°C wurde an folgenden Herbsttagen des Jahres 2006 gemessen: 17.10., 21.-24.10., 27.-31.10., 03.-16.11. Folglich gibt es einen Temperaturunterschied von 0.5°C.

Im Temperaturverlauf ist ein signifikanter positiver Trend ermittelt worden, mit einem tau-Wert bei 0.64 ($p < 2.22e-16$) und einer Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1%. Der Temperaturanstieg ist daher als ausgeprägt steigend zu bezeichnen.

Die Beständigkeit und Aussagekräftigkeit dieses Trends ist mit Vorsicht anzunehmen, weil es innerhalb einer kurzen Zeitreihe schneller zu der Herausbildung eines Trends kommt.

8.2.6 Pumpwerk Moos (Oensingen)

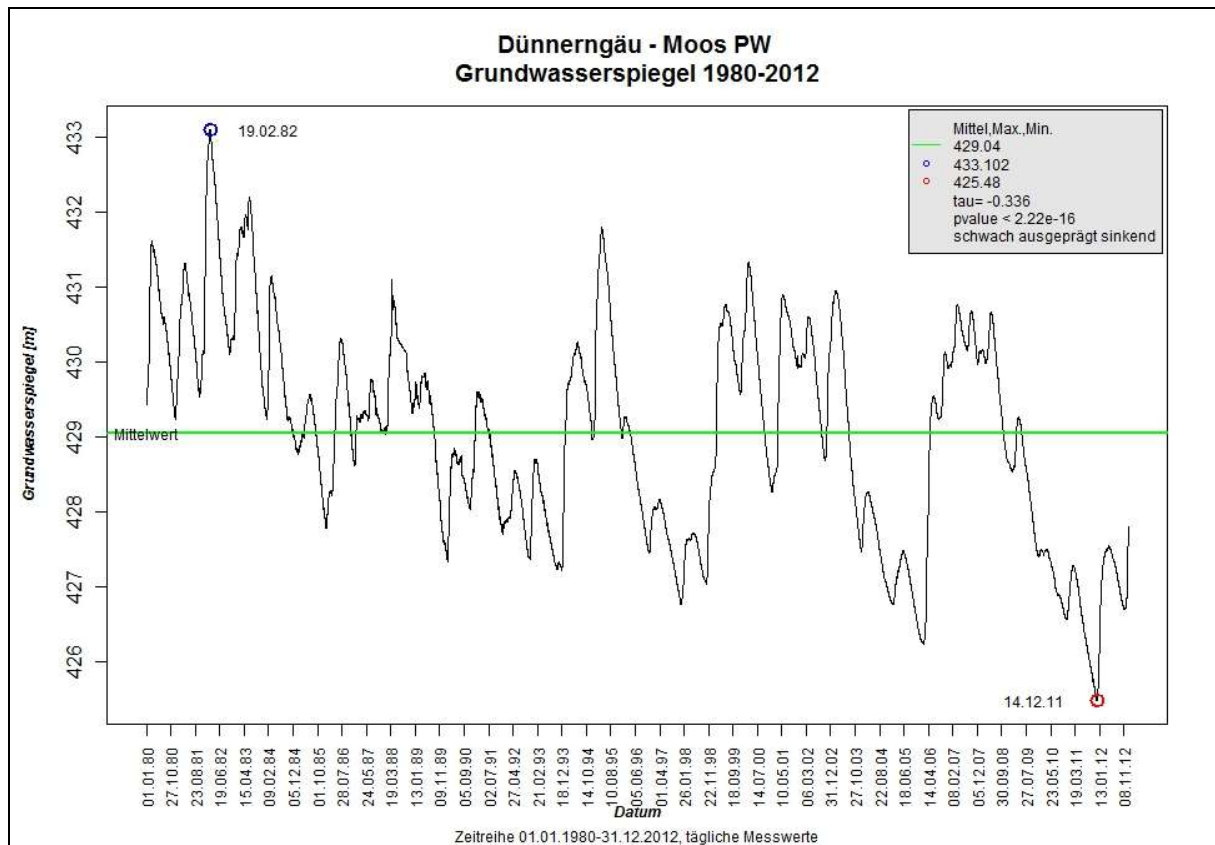


Abbildung 17: Pumpwerk Moos (Oensingen)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Seit dem 01.01.1980 wird die Zeitreihe im Pumpwerk Moos geführt. Moos befindet sich in einem Grundwasserkörper mit einer Mächtigkeit zwischen 40m und 50m.

Der mittlere Grundwasserspiegel liegt bei 429.04m und zeigt mit 7.62m den grössten Differenzbereich zwischen Maximum- und Minimumgrundwasserspiegel im Dünnerngäu. Diese liegen jeweils bei 433.1m, am 19.02.1982, und bei 425.48m, am 14.12.2011. Nicht nur die Auswirkungen des Trockenjahres 2011 sind ersichtlich, sondern auch der Jahrhundertssommer 2003 hat niedrige Pegelstände hervorgerufen. Diese Niedrigpegelperiode setzte sich bis ins Jahr 2006 fort.

Bei der Betrachtung des Verlaufs zeigt die Ganglinie eine Pegelabsenkung, die von der Analyse mit einem signifikanten negativen Trend bestätigt wird ($\tau = -0.336$, $p < 2.22 \cdot 10^{-16}$). Schwach ausgeprägt sinkend ist dieser tau-Wert einzuordnen.

8.2.7 Linnigraf Oensingerfeld (Oensingen)

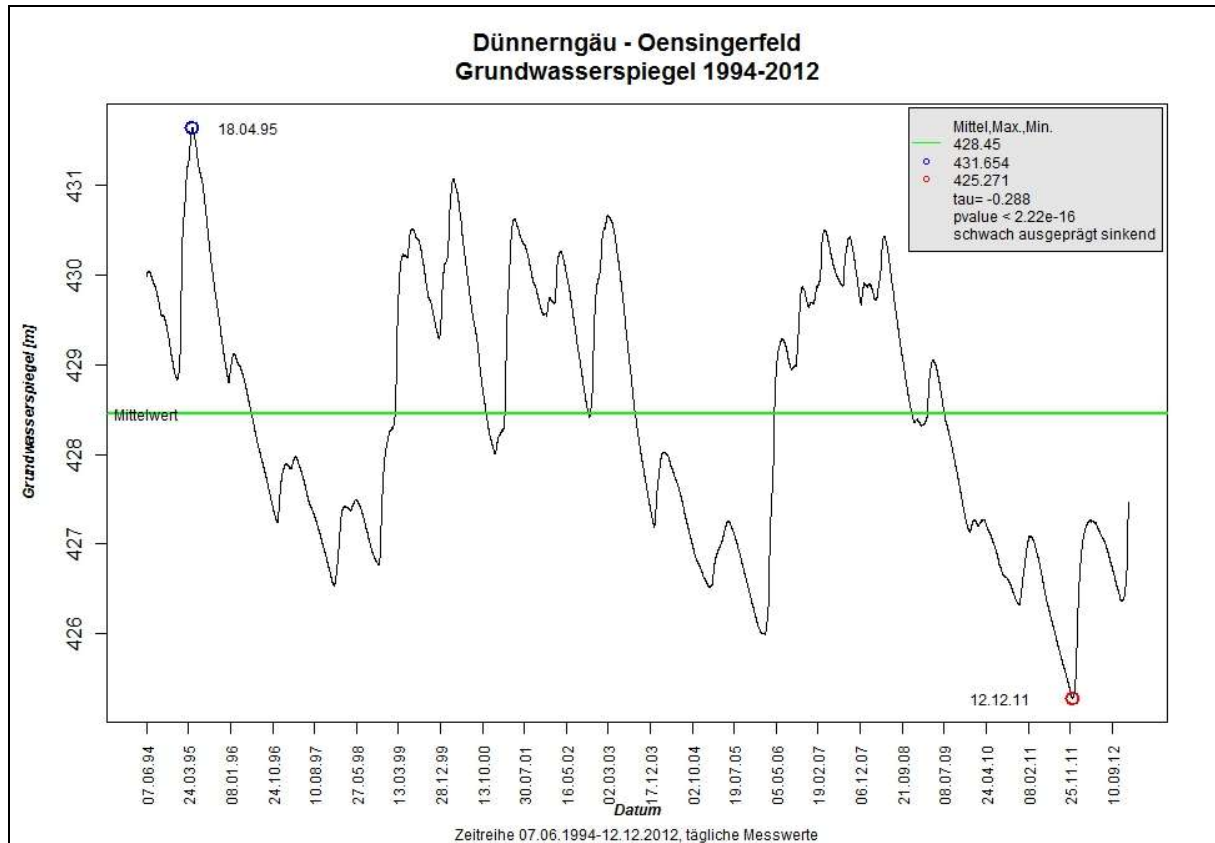


Abbildung 18: Linnigraf Oensingerfeld (Oensingen)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
 Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

In einem Grundwasserkörper mit einer 30m bis 40m tiefen Mächtigkeit befindet sich die Messstation Oensingerfeld. Die Messungen werden seit dem 07.06.1994 durchgeführt. Das langjährige Mittel liegt bei 428.45m. Im zweiten Jahr der Aufzeichnung, am 18.04.1995, ist der höchste Pegel mit 431.65m gemessen worden. Im Winter des Trockenjahres 2011, am 12.12.2011, gibt es den bislang niedrigsten Spiegel der Aufzeichnungen mit 425.27m. Damit beträgt der Differenzbereich des Grundwasserspiegels 6.38m. In der schwach ausgeprägt sinkenden Ganglinie, deren Hoch- und Tiefpeaks im Laufe der Jahre sichtlich niedriger werden, hat der signifikante negative Trend einen tau- Wert bei -0.288 ($p < 2.22 \cdot 10^{-16}$), mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1%.

8.2.7.1 Grundwassertemperatur Oensingergeld (Oensingen)

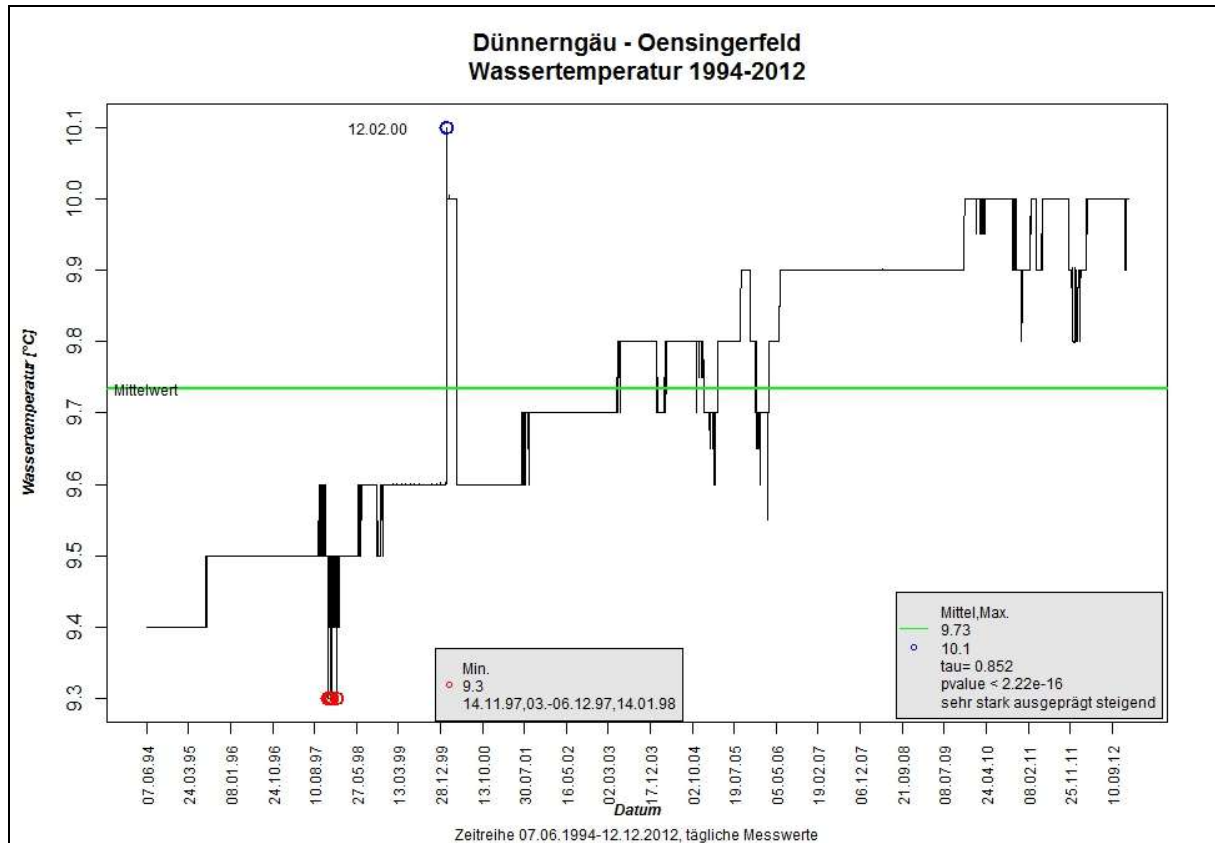


Abbildung 19: Grundwassertemperatur Oensingergeld (Oensingen)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C,

Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Die Grundwassertemperaturzeitreihe des Oensingergeld gibt es seit dem Jahre 1994.

Durchschnittlich beträgt die Temperatur des Grundwassers 9.73°C. Am 12.02.2000 ist die Höchsttemperatur von 10.1°C gemessen worden. Die niedrigste Temperatur, mit 9.3°C, stammt aus den Herbst- und Wintermonaten der Jahren 1997/98 (14.11.97, 03.-06.12.97, 14.01.98).

Daraus ergibt sich ein Temperaturunterschied von 0.8°C.

Die Temperaturganglinie in Oensingergeld besitzt mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 1% einen signifikanten positiven Trend. Der tau-Wert von 0.85 ($p < 2.22 \times 10^{-16}$) stellt den stärksten Trend aller Testergebnisse dar. Damit ist der Temperaturverlauf sehr stark ausgeprägt ansteigend.

8.2.8 Pumpwerk Gheid 2 (Olten)

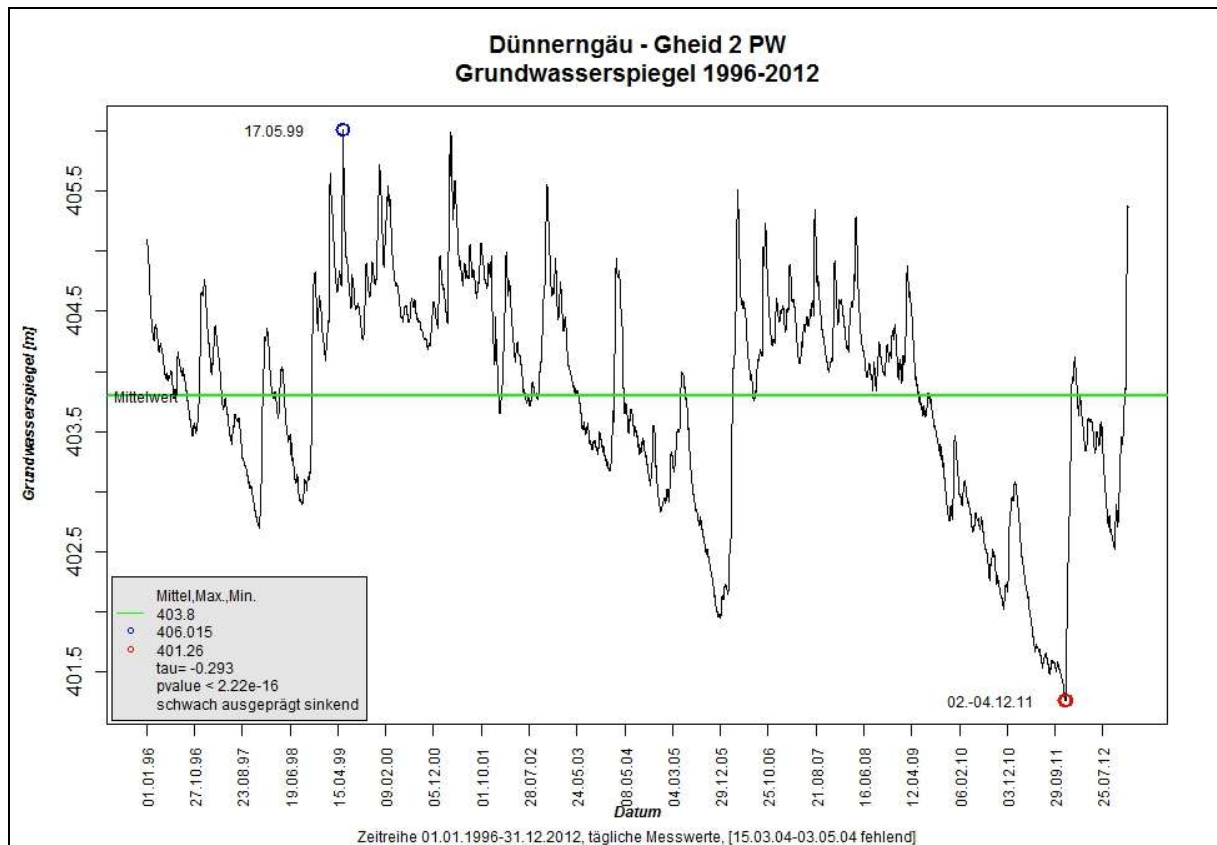


Abbildung 20: Pumpwerk Gheid 2 (Olten)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
 Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Das Pumpwerk Gheid 2 hat eine digitale Messreihe seit dem 01.01.1996. Es gibt eine Datenlücke vom 15.03.2004 bis 03.05.2004. Die Mächtigkeit des Grundwasserkörpers liegt zwischen 40m und 50m.

Der mittlere Grundwasserspiegel beträgt über die Jahre der Aufzeichnungen 403.8m. Mit einem Höchstpegel bei 406.01m, am 17.05.1999, und einem Tiefstand von 401.26m an den Tagen des 02.12. bis 04.12.2011. Daraus ergibt sich einen Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels von 4.75m. Es wurde ein signifikanter negativer Trend ermittelt ($\tau = -0.293$, $p < 2.22 \cdot 10^{-16}$), mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1%, der sich als schwach ausgeprägte Absenkung des Pegels darstellt.

Während das Trockenjahr 2011 sichtliche Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel hatte, sticht das Trockenjahr 2003 nicht mit Extremwerten aus der Ganglinie hervor. Jedoch sind dessen Einwirkungen bis ins Jahr 2005 zu sehen.

8.2.9 Pumpwerk Wangen (Wangen b. Olten)

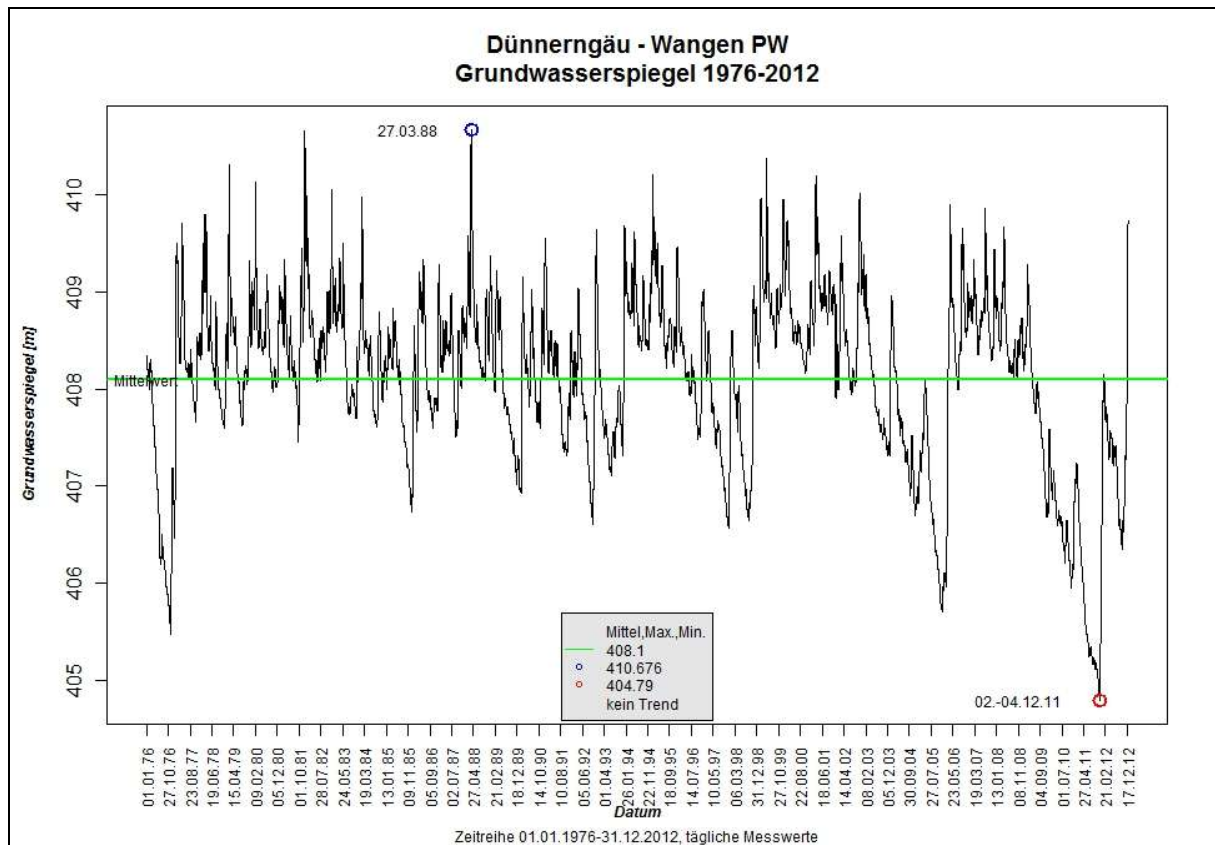


Abbildung 21: Pumpwerk Wangen (Wangen b. Olten)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Innerhalb einer Grundwassermächtigkeit mit 40m bis 50m befindet sich das Pumpwerk Wangen. Ab dem 01.01.1976 gibt es Aufzeichnungen über den Grundwasserpegel. Dieser liegt im Mittel bei 408.1m und hat einen Differenzbereich von 5.89m. Der Grundwasserhöchststand beträgt 410.68m, gemessen am 27.03.1988, und der niedrigste Pegel liegt bei 404.79m, an den Tagen vom 02. bis 04.12.2011.

Auch, wenn die Analyse keinen Trend ermittelt hat zeigt die Ganglinie des Pumpwerkes in gleicher Weise, wie die Stationen Gheid 2 (PW), Härkingen (PW), Oberbuchsiten und Zelgli (PW), eine sinkende Tendenz des Grundwasserspiegels in den gleichen Jahren. Die Zeitreihe ist im Durchschnitt 13 Jahre älter, als die die jüngeren Messreihen. In den Jahren von 1977 bis zu Beginn der 90er Jahre waren die Pegelschwankungen gleichmässiger.

Ebenfalls sind hier seit dem Jahr 2003, tiefer liegende Spiegel zu erkennen, die den Tiefstwert im Trockenjahr 2011 aufweisen.

8.2.10 Fazit Dünnerngäu

Mit Ausnahme des Pumpwerks Wangen, besitzen die Messreihen der Pumpwerke und Limnigrafen im Dünnerngäu, alle einen signifikanten negativen Trend. Die tau-Werte liegen im Bereich zwischen -0.188 und -0.336. Damit sind die Werte näher an Null gelegen (kein Trend) als an 1 bzw. -1 (perfekter Trend) und daher in allen Fällen als schwach ausgeprägt sinkende Grundwasserspiegel zu interpretieren.

Bei dem Pumpwerk Wangen ist zwar kein Trend ermittelt worden, aber die Grundwasserganglinie zeigt in gleicher Weise eine sinkende Tendenz des Grundwasserspiegels.

Die neun Ganglinien zeigen sehr ähnliche Charakteristika. Fünf Messstellen, Kestenholz, Moos (PW), Oberbuchsiten, Wangen (PW) und Zelgli (PW), haben die höchstgemessenen Grundwasserspiegel in den 80er Jahren. In den Jahren der Jahrhundertwende, jedoch spätestens ab dem Jahre 2003, werden die Phasen des Niedrigpegels ersichtlich niedriger. Dies trifft bei den Zeitreihen von Kestenholz, Moos (PW), Neufeld (PW), Oberbuchsiten und Oensingerfeld auch auf die Höchstpegelstände zu.

Gemeinsam ist ihnen allen der Minimumpegel im Dezember 2011, der als Resultat auf die vorausgegangenen Trockenperioden anzusehen ist. Ausser dem Pumpwerk Härkingen, dass den Betrieb Ende des Jahres 2006 eingestellt hat. Härkingen stellt ebenfalls zusammen mit dem Pumpwerk Gheid 2, die Ausnahme im Differenzbereich der Höchst- und Niedrigpegel. Bei den restlichen Zeitreihen liegt dieser über fünf Metern. Moos (PW) hat mit 7.62m den grössten Schwankungsbereich.

Die Schwankungsbereiche des Grundwassers, wie auch die Reaktion auf den Jahrhundertsssommer 2003, das Trockenjahr 2011 und das Niederschlagsreiche Jahr 2006 sind ein Indiz dafür, dass die Grundwasserkörper im Dünnerngäu relativ zeitnah auf klimatische Bedingungen reagieren.

Auch bei den drei Grundwassertemperaturmessreihen gibt es Trends, mit unterschiedlicher Ausprägung. Kestenholz und Oberbuchsiten besitzen eine ausgeprägt steigende Temperatur (Kestenholz: $\tau = 0.42$, Oberbuchsiten: $\tau = 0.64$).

Die Beständigkeit und Aussagekräftigkeit dieser beiden Trends ist mit Vorsicht anzunehmen, weil es innerhalb einer kurzen Zeitreihe schneller zu der Herausbildung eines Trends kommt. Der Temperaturgang in Oensingerfeld ist sehr stark ausgeprägt steigend und besitzt mit $\tau = 0.85$ den höchsten τ -Wert aller Trendergebnisse.

Die Temperaturamplituden der Langzeitreihen liegen jedoch alle unter 1°C.

8.3 Lüsseltal

Im Lüsseltal gibt es zwei Grundwassermessstellen, das Pumpwerk Längacker und den Limnigraf Grien. Sie befinden sich in der Gemeinde Breitenbach, in einem Grundwasserkörper mit einer Mächtigkeit zwischen 2m-10m.

Von der Messstelle Grien gibt es eine Temperaturzeitreihe.

8.3.1 Limnigraf Grien (Breitenbach)

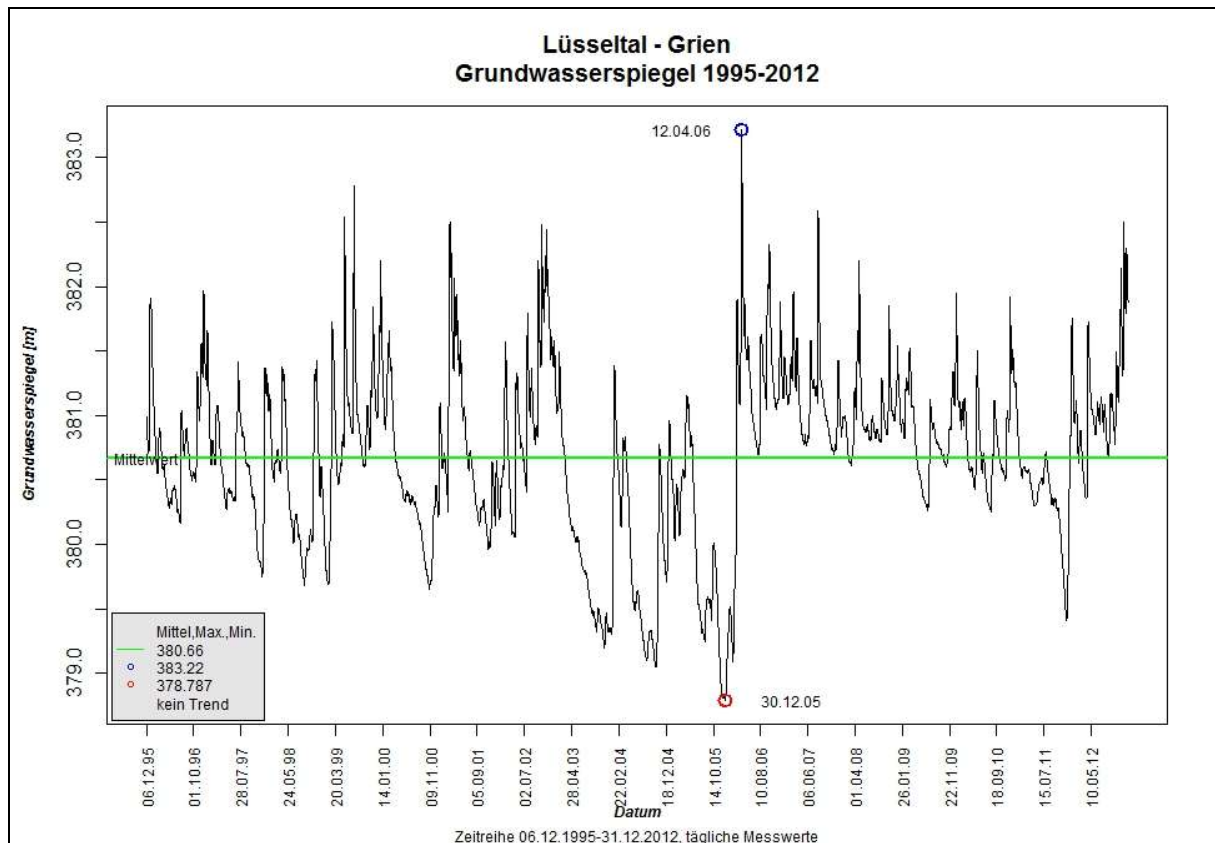


Abbildung 22: Limnigraf Grien (Breitenbach)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Seit dem 06.12.1995 wird der Grundwasserstand in dem 2-10 Meter mächtigen Grundwasserkörper des Standortes Grien datiert.

Der mittlere Grundwasserspiegel liegt bei 380.66m. Am 30.12.2005 ist der niedrigste Pegelstand gemessen worden. Er beträgt 378.79m. Im darauffolgenden Jahr, am 12.04.2006, ist der Höchstspiegel mit 383.22m verzeichnet. Die Schwankungen des Grundwasserspiegels belaufen sich damit auf 4.43m.

In der Ganglinie sind die Auswirkungen des Trockenjahres 2003 ersichtlich. Nachfolgend schliesst sich eine Periode niedrigen Pegelstandes an, bis sich der Grundwasserkörper im niederschlagsreichen Jahr 2006 erholt. Bis zum Trockenjahr 2011 liegt der Spiegel zumeist über dem langjährigen Mittel. Die Schwankungen im Grundwasserkörper sind ausgeglichen und es ist kein Trend bei der Analyse ermittelt worden.

8.3.1.1 Grundwassertemperatur Grien (Breitenbach)

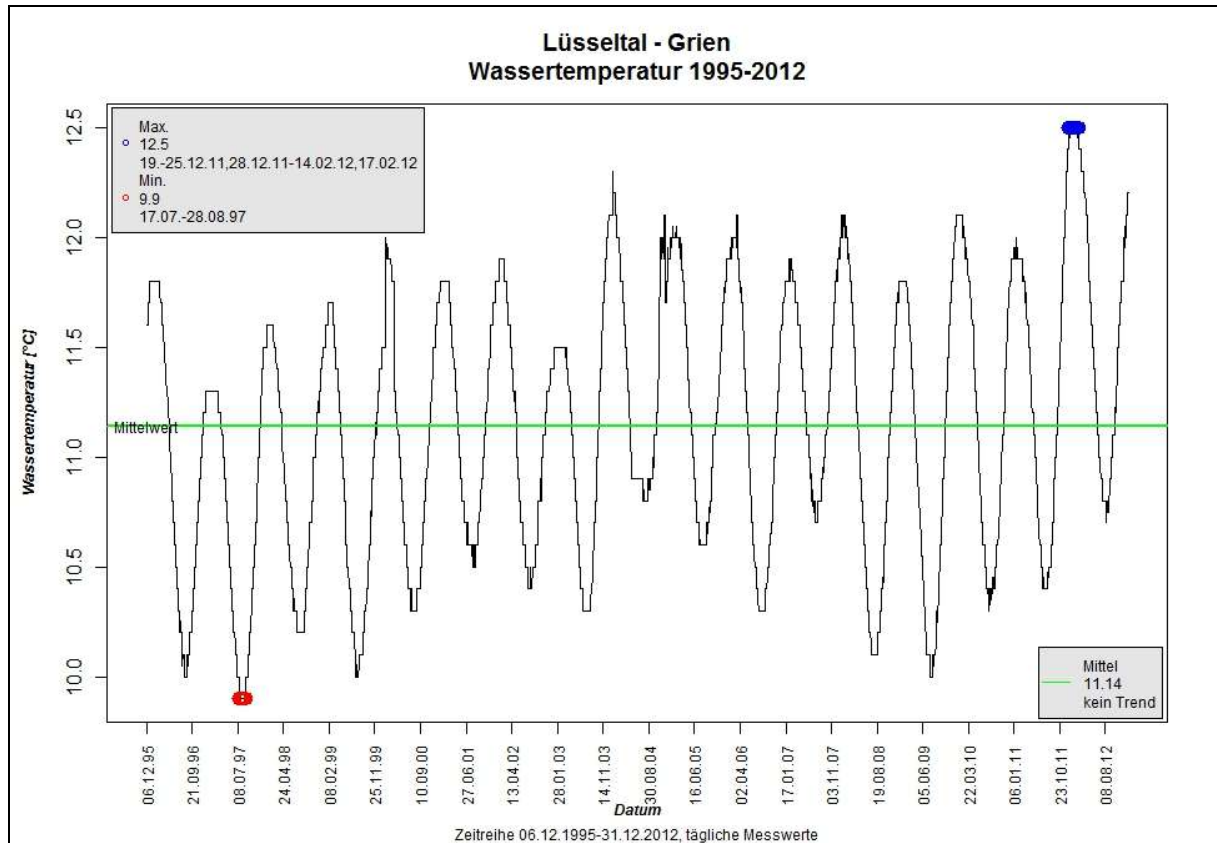


Abbildung 23: Grundwassertemperatur Grien (Breitenbach)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Die Temperaturmessreihe in Grien gibt es ebenfalls seit dem 06.12.1995.

11.14°C beträgt die mittlere Temperatur. Das Temperaturmaxima mit 12.5°C ist in den Wintermonaten der Jahre 2011 und 2012 an folgenden Tagen gemessen worden: 19.-25.12.2011, 28.12.2011-14.02.2012, 17.02.2012. Die niedrigste Wassertemperatur liegt bei 9.9°C und ist an den Tagen ab dem 17.07. bis zum 28.08.1997 datiert. Demnach schwankt die Wassertemperatur des Grundwasserkörpers in den 16 Jahren um 2.6°C.

In der Ganglinie ist seit Ende des Jahres 2003 ein Anstieg der Temperaturspitzen gegenüber den Vorjahren zu erkennen. Einen Trend gibt es nicht in der Zeitreihe.

8.3.2 Pumpwerk Längacker (Breitenbach)

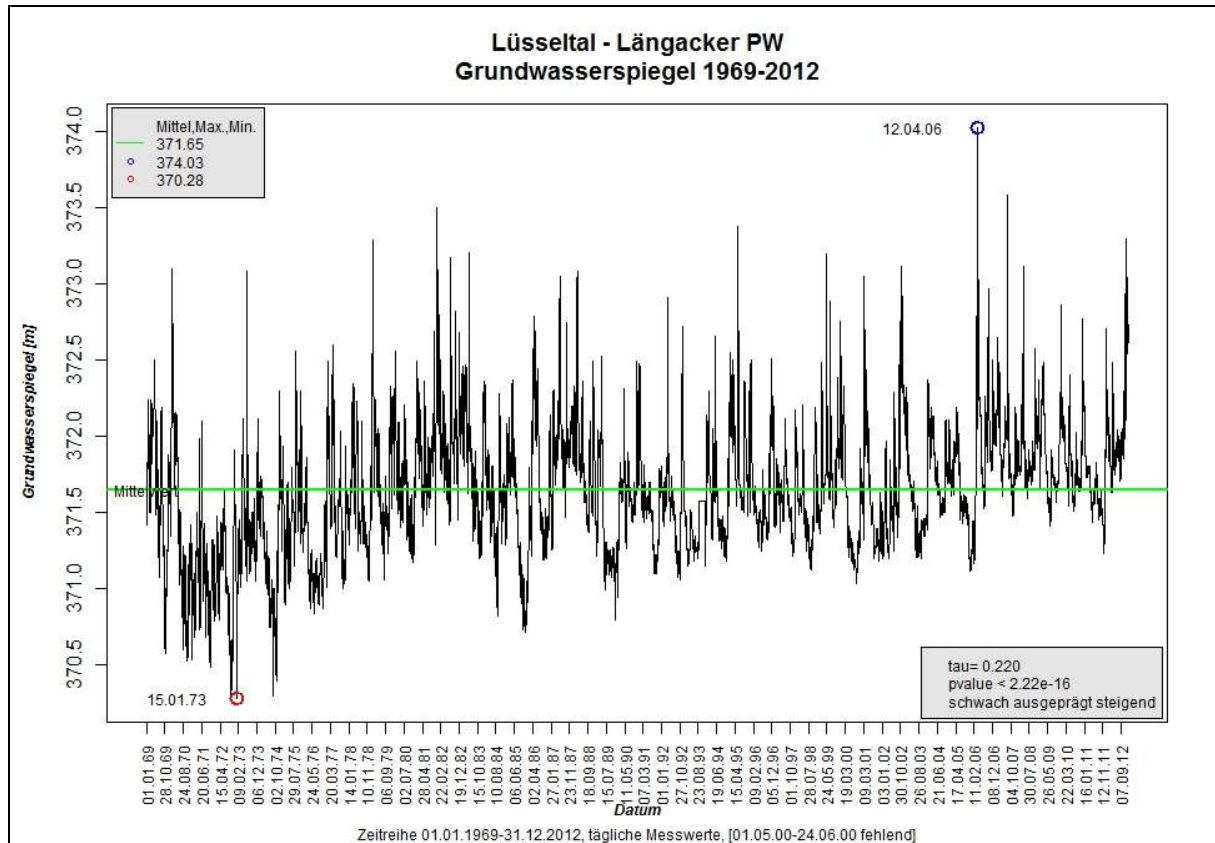


Abbildung 24: Pumpwerk Längacker (Breitenbach)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
 Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Aus dem Pumpwerk Längacker, gelegen in einem Grundwasserkörper mit 2 bis 10 Metern Mächtigkeit, stammt eine der längsten verfügbaren Grundwassermessreihen. Sie reicht zurück bis zum 01.01.1969. Die Zeitreihe enthält eine Datenlücke vom 01.05. bis zum 24.06.2000.

In den 43 Jahren weist der Grundwasserspiegel einen Differenzbereich von 3.75m auf, mit einem Maximum bei 374.03m (12.04.2006) und einem Minimum bei 370.28m (15.01.1973). Im Durchschnitt liegt der Pegel bei 371.65m.

In der Ganglinie gibt es, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1%, einen signifikanten positiven Trend ($\tau = 0.220$, $p < 2.22 \cdot 10^{-16}$).

Bis Anfang der 80er Jahre ist ein stetiger Anstieg zu sehen. Dieser Anstieg setzt sich auch in den nachfolgenden Jahren weiter fort.

Die Trockenjahre 2003 und 2011 ragen nicht aus dem Verlauf der Ganglinie heraus. Allerdings stellt das Jahr 2011 den niedrigsten Pegel einer Periode mit aufeinanderfolgenden tieferliegenden Niedrigständen, seit dem niederschlagsreichen Jahr 2006 (Maximumpegel), dar.

8.3.3 Fazit Lüsseltal

Während es bei Grien keinen Trend in der Zeitreihe gibt, zeigt der des Pumpwerk Längacker einen schwach ausgeprägt steigenden Grundwasserspiegel ($\tau = 0.220$). Jedoch liegt auch bei Grien der Grundwasserspiegel ab dem regenreichen Jahr 2006 bis zum Trockenjahr 2011 zumeist

über dem langjährigen Mittel und steigt anschliessend wieder an.

Der gestörte Grundwasserkörper des Pumpwerkbereiches hat einen geringeren Schwankungsbereich (3.75m), als der ungestörte Bereich in Grien (4.43m).

Beide Stationen haben ihr Maximum am 12.04.2006.

Die Temperaturzeitreihe Grien besitzt keinen Trend. Es ist allerdings ab Ende des Jahres 2003 ein Anstieg der Temperaturspitzen gegenüber den Vorjahren zu erkennen.

8.4 Niederaamt

Im Areal des Niederaamtes gibt es insgesamt 11 Grundwassermessstationen. Darunter sind acht Pumpwerke, eine Kiesgrube und eine Quelfassung. Die Standortgemeinden sind Erlinsbach, Däniken, Trimbach, Dulliken, Lostorf, Niedergösgen, Obergösgen und Schönenwerd.

In Dängertwäldli, an der Falkensteinquelle und in Schachen werden zusätzlich Temperaturdaten erhoben.

Nicht mehr in Betrieb befinden sich die die Kiesgrube Belser und das Pumpwerk Dellen.

Verschiedene Mächtigkeiten der Grundwasserkörper sind gegeben. Die Mächtigkeiten reichen von 2m-10m bis hin zu 20m-30m.

8.4.1 Limnigraf Dängertwäldli (Däniken)

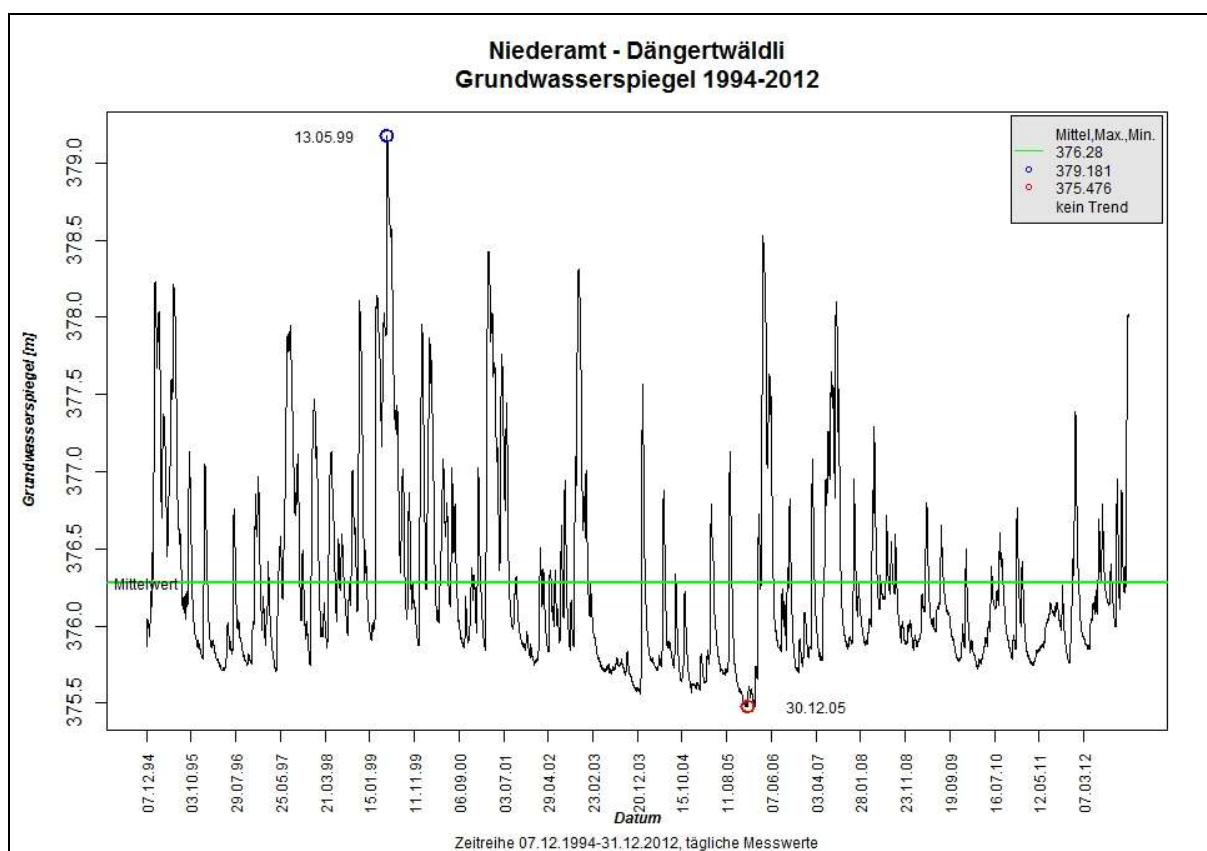


Abbildung 25: Limnigraf Dängertwäldli (Däniken)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Die Zeitreihe über den Pegel des 10m bis 20m mächtigen Grundwasserkörper von Dängertwäldli gibt es seit dem 07.12.1994. Durchschnittlich befindet sich der Grundwasserspiegel in diesem Zeitraum bei 376.28m. Am 13.05.1999 liegt der bisher höchsten Spiegel mit 379.18m.

3.7m tiefer ist der tiefste Pegel mit 375.48m, am 30.12.2005, gemessen worden. In den ausgeglichenen, regelmässig aufeinanderfolgenden Schwankungen zwischen Hoch- und Niedrigpegeln ist kein Trend entwickelt worden. Die Trockenjahre 2003 und 2011 sind mit Niedrigspiegelphase erkennbar, stechen allerdings nicht merklich aus dem Verlauf Ganglinie heraus.

8.4.1.1 Grundwassertemperatur Dängertwäldli (Däniken)

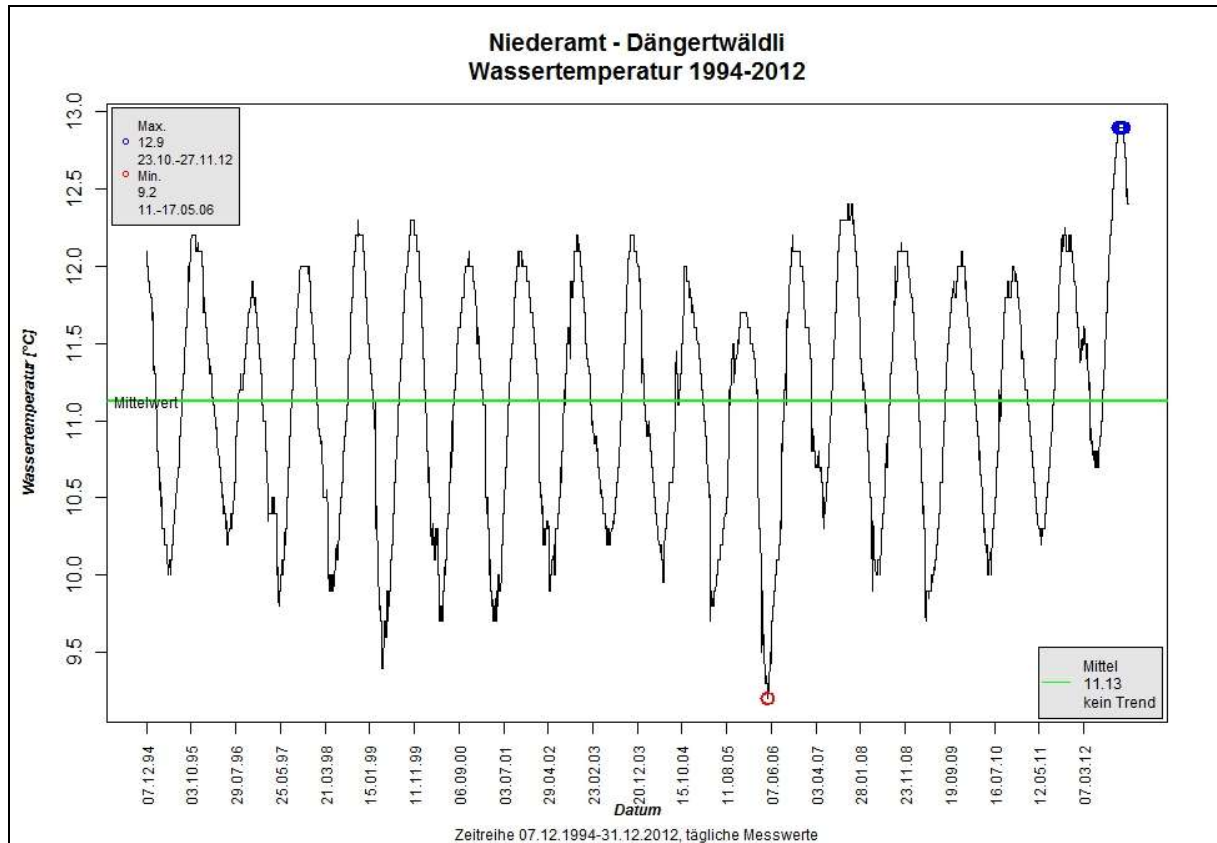


Abbildung 26: Grundwassertemperatur Dängertwäldli (Däniken)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Zeitgleich mit der Messung des Grundwasserspiegels beginnt die Messung der Grundwassertemperatur, am 07.12.1994.

Die mittlere Temperatur des Grundwasserkörpers beträgt in diesem Areal 11.13°C. In den Tagen vom 23.10.-27.11.2012 ist die Höchsttemperatur mit 12.9°C gemessen worden. Der bisherige Tiefstwert liegt bei 9.2°C in der Zeitspanne vom 11. bis 17.05.06.

Innerhalb eines Schwankungsbereiches von 3.7°C verläuft die periodische Ganglinie. Ab dem Jahre 2008/2009 sind die Temperaturamplituden etwas geringer als zuvor, wobei die Niedrigspitzen liegen höher liegen. Einen Trend gibt es nicht in der Zeitreihe.

8.4.2 Pumpwerk Kürzefeld (Däniken)

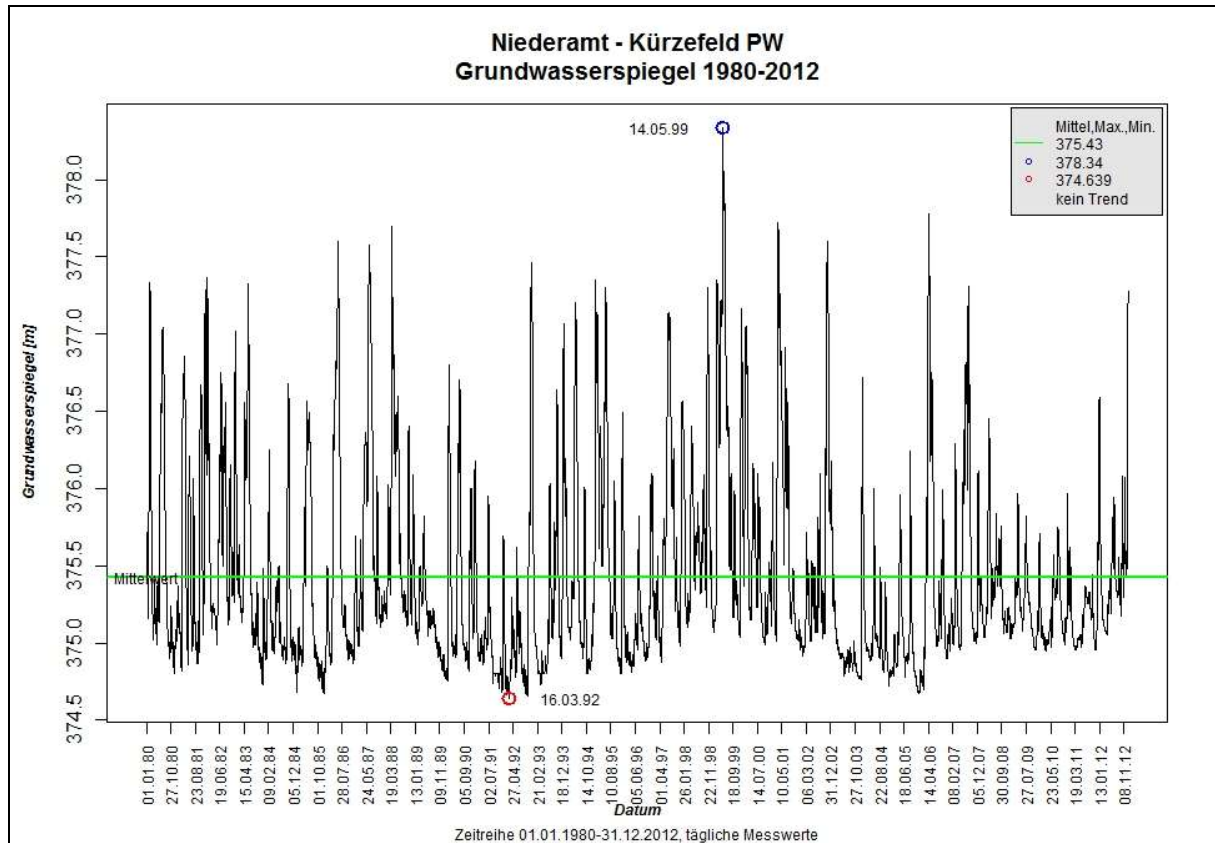


Abbildung 27: Pumpwerk Kürzefeld (Däniken)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Das Pumpwerk Kürzefeld ist in einem 10m bis 20m tiefen Grundwasserkörper angesiedelt. Die 32jährige Zeitreihe wird seit dem 01.01.1980 geführt.

375.43m misst das langjährige Mittel des Grundwasserspiegels. Sowohl der Maximum-, wie der Minimumgrundwasserpegel sind in den 90er Jahren verzeichnet. Das Maximum liegt bei 378.34m, am 14.05.1999, und das Minimum bei 374.64m, am 16.03.1992. Daraus ergibt sich ein Schwankungsbereich von 3.7m, in dem sich der Grundwassergang in regelmässigen, aufeinanderfolgenden Phasen von Hoch- und Tiefstwerten darstellt. Es gibt keinen Trend in der Zeitreihe.

8.4.3 Pumpwerk Ey (Dulliken)

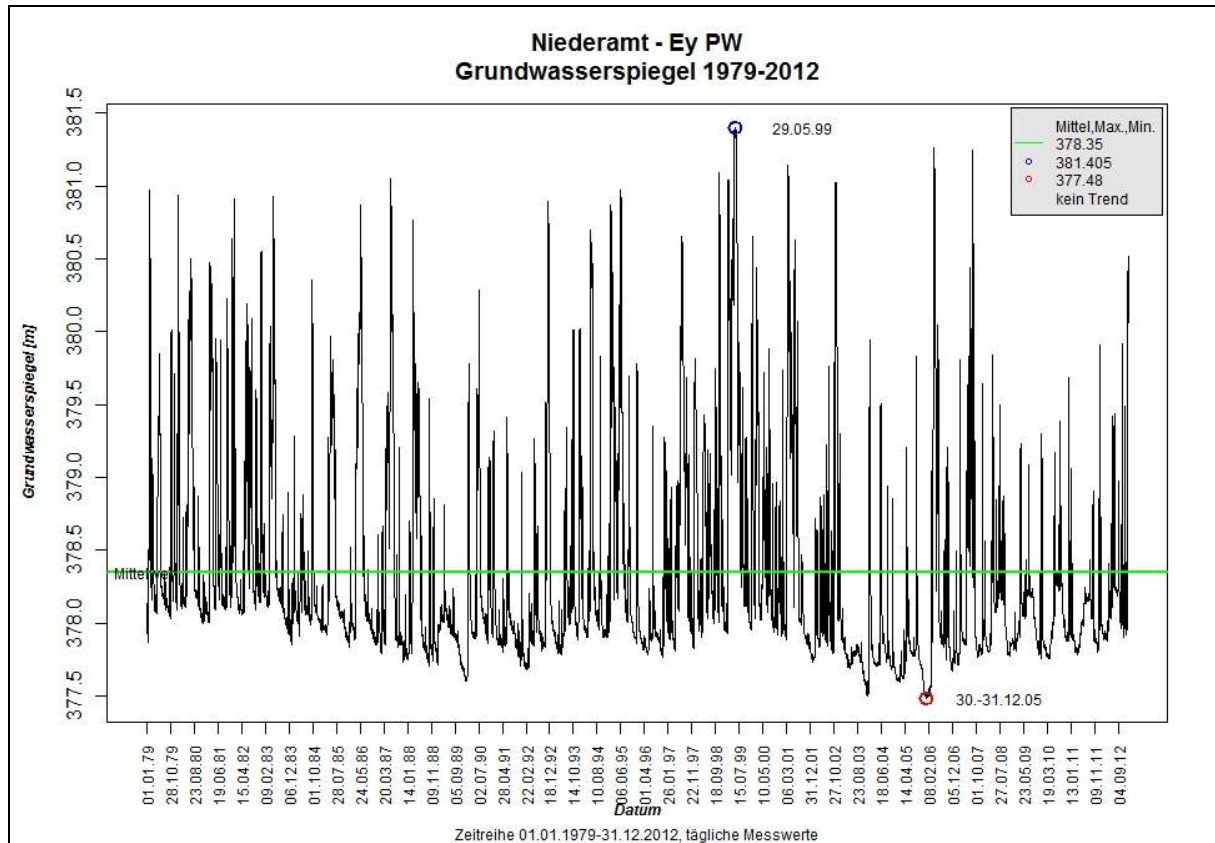


Abbildung 28: Pumpwerk Ey (Dulliken)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Seit dem 01.01.1979 existieren die Aufzeichnungen des Pumpwerks Ey. Im Mittel befindet sich der Grundwasserspiegel bei 378.35m. Am 29.05.1999 ist der höchste Pegel mit 381.4m datiert, der Niedrigste bei 377.48m an den beiden Tagen des 30. und 31.12.2005. Die Einwirkung des Jahrhundertssommers 2003 sind in der Ganglinie als zweitniedrigster Pegelbereich zu erkennen, wohingegen sich das Trockenjahr 2011 unauffällig einfügt.

In dem regelmässigen Verlaufe innerhalb des Schwankungsbereiches von 3.92m gibt es keinen Trend.

8.4.4 Kiesgrube Belser (Erlinsbach)

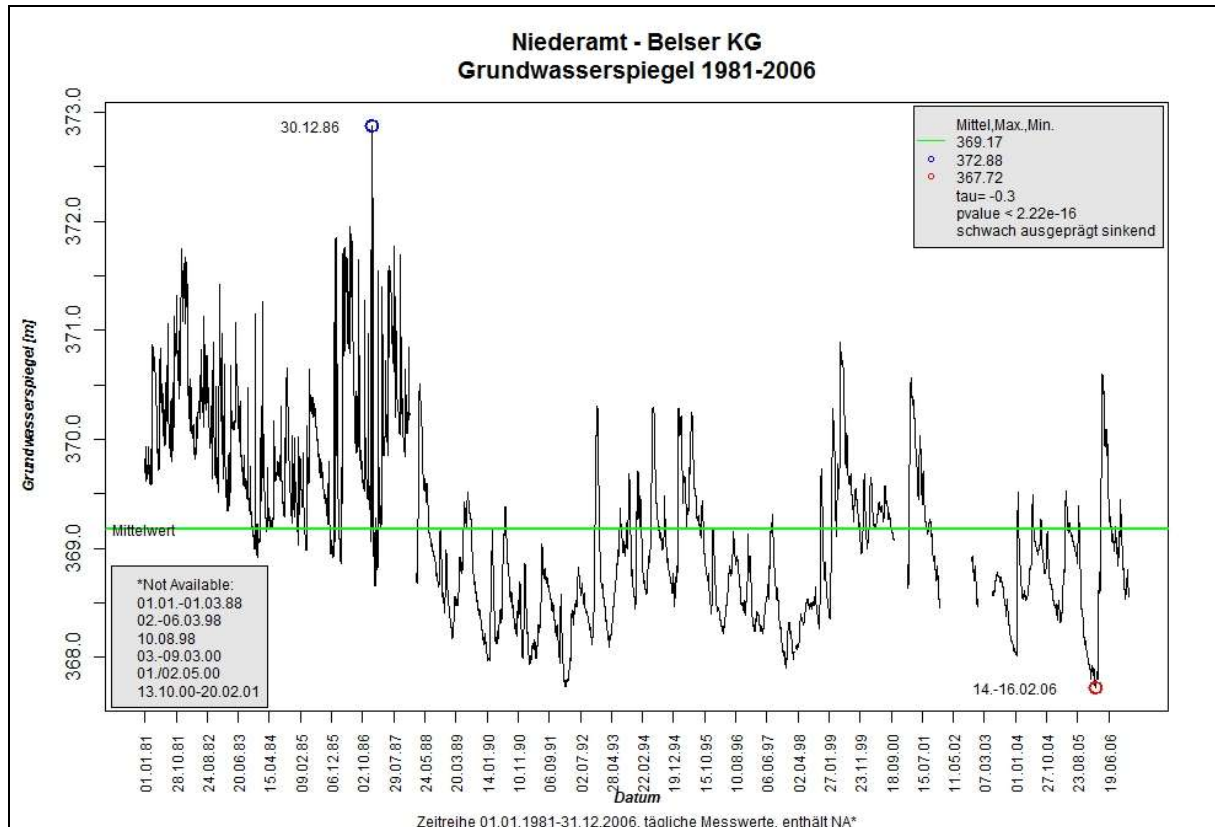


Abbildung 29: Kiesgrube Belser (Erlinsbach)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
 Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

In einem 2m bis 10m mächtigen Grundwasserkörper hat sich die Messstation Kiesgrube Belser befunden, deren Daten vom 01.01.1981 bis zum 31.12.2006 vorliegen. Diese Zeitreihe enthält nicht verfügbare Daten (NAs = Not Available), welche als Lücken in der Ganglinie erkennbar sind. Dies gilt für die Zeitspannen: 01.01.-01.03.1988, 02.-06.03.1998, 10.08.1998, 03.-09.03.2000, 01.-02.05.2000, 13.10.2000-20.02.2001.

Im Mittel liegt der Grundwasserspiegel in Belser bei 369.17m. In den 80er Jahren, am 30.12.1986, ist der höchste Pegel datiert. Er misst 372.88m. Der niedrigste Pegel liegt bei 367.72m und ist im Winter 2006, an den Tagen vom 14. bis 16.02.2006, eingetreten. Daraus ergibt sich eine Differenz von 5.16m.

In der Ganglinie ist eindeutig zu erkennen, dass der Spiegel ab dem Jahre 1988 niedriger liegt, als in den Jahren zuvor und bis zur Aufhebung der Station verbleibt er in diesem Niveau. Der Trendtest hat einen signifikanten negativen Trend ergeben (Irrtumswahrscheinlichkeit < 1%). Mit einem tau-Wert von -0.300 ($p < 2.22 \times 10^{-16}$) ist die Ganglinie als schwach ausgeprägt sinkend zu bezeichnen.

8.4.5 Pumpwerk Gillacker (Erlinsbach)

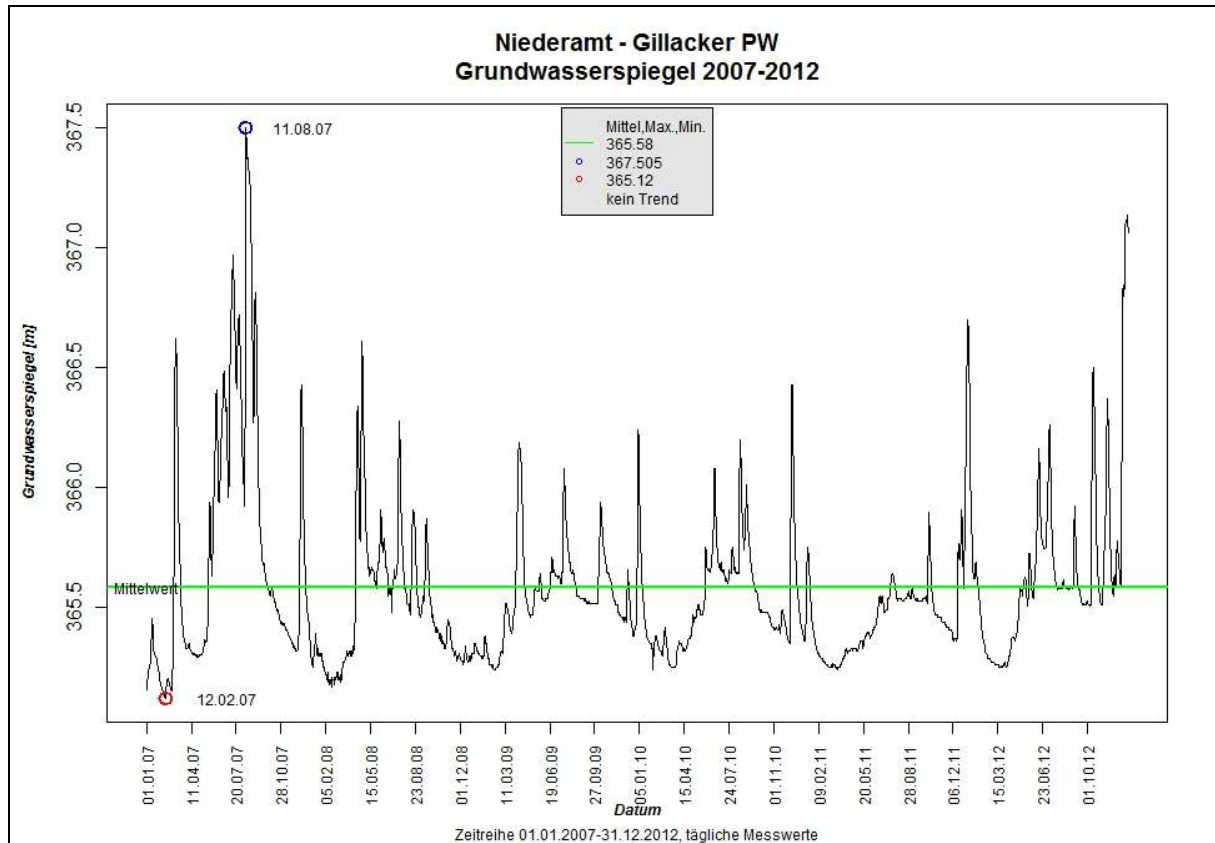


Abbildung 30: Pumpwerk Gillacker (Erlinsbach)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Das Pumpwerk Gillacker befindet sich in einem Grundwasserkörper mit einer Mächtigkeit zwischen 10 und 20 Metern. Die digitale Datenreihe beginnt am 01.01.2007.

Im ersten Jahr der Messreihe, am 11.08.2007, ist der höchste Pegel mit 367.5m gemessen worden. Der tiefste Pegel stammt aus dem Jahre 2007 (12.02.) und misst 365.12m. Bei 365.58m liegt der mittlere Grundwasserspiegel. Innerhalb des sich ergebenden Schwankungsbereiches von 2.38m zeigt der fünfjährige Verlauf relativ ausgeprägte Phasen hoher und niedriger Pegelstände. Der anhaltende Niedrigspiegel im Trockenjahr 2011 ist dabei im Verlauf erkennbar.

Die Sichtbarkeit dieser Phasen wird durch die Anzahl an Daten der jungen Zeitreihe und dessen Skalierung gegeben.

Es gibt keinen Trend in der Ganglinie.

8.4.6 Limnigraf Schachen (Erlinsbach)

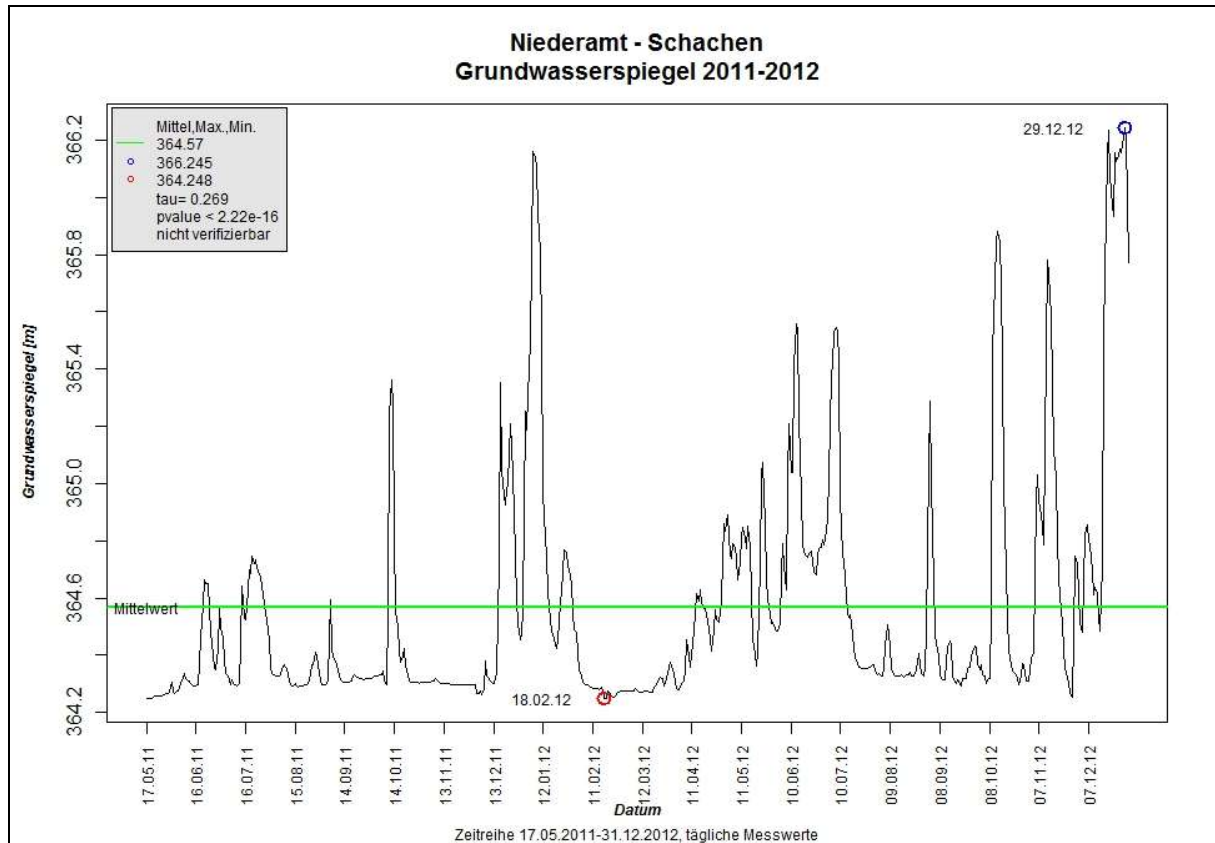


Abbildung 31: Limnigraf Schachen (Erlinsbach)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Die Datenreihe der Messstation Schachen kann einzig als Jahresgang angesehen werden, da der Zeitraum nur eineinhalb Jahren umfasst, beginnend am 17.05.2011.

In Abhängigkeit dessen kann das Ergebnis der Trendanalyse nicht verifiziert werden. Es würde lediglich ein „Trend“ im Jahresgang ermittelt werden.

In diesem Zeitraum hat der Grundwasserspiegel einen Schwankungsbereich von 2 Metern und einen Mittel bei 364.57m. Der Jahreshöchststand befindet sich jeweils im Dezember, wobei das Maximum von 366.25m am 29.12.2012 gemessen worden ist. Am 18. Februar 2012 gab es den tiefsten Spiegel bei 364.25m. Inwiefern dieser Jahresgang Regelmässigkeit aufzeigt ist nicht zu beurteilen.

8.4.6.1 Grundwassertemperatur Schachen (Erlinsbach)

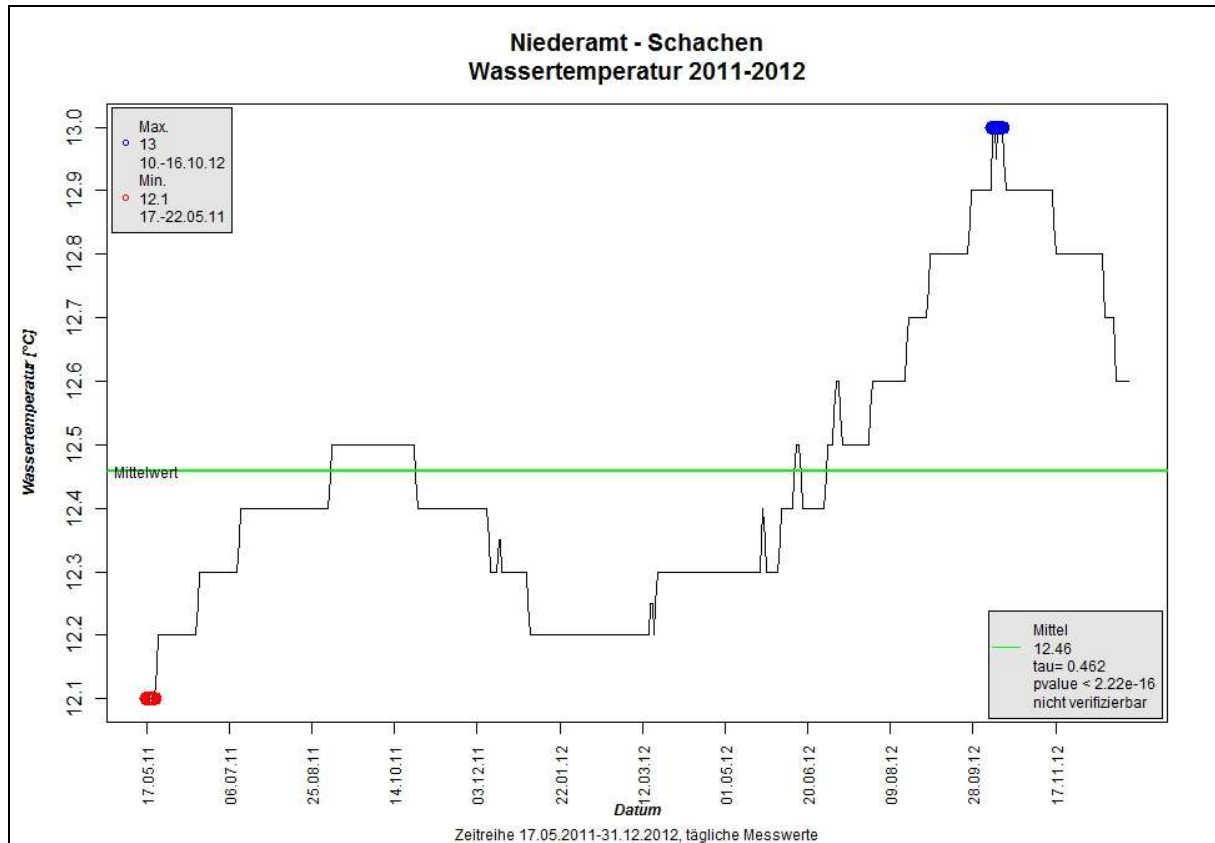


Abbildung 32: Grundwassertemperatur Schachen (Erlinsbach)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C,

Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Ebenfalls ab dem 17.05.2011 wird die Grundwassertemperatur in Schachen gemessen.

Diese liegt durchschnittlich bei 12.46°C. Die Höchsttemperatur mit 13°C ist an den Tagen vom 10.10. bis 16.10.2012 datiert. Direkt zu Beginn der Messreihe, im Zeitraum vom 17.05. bis 22.05.2011, liegen die niedrigsten Temperaturen der kurzen Messreihe mit 12.1°C. Damit gibt es eine Temperaturdifferenz von 0.9°C.

Auch hier ist die Datenreihe nur als Jahresgang anzusehen und kann hinsichtlich eines Trends nicht verifiziert werden.

Ein regelmässiger Jahresgang ist nicht eindeutig erkennbar und wird sich erst ersehen lassen, wenn die Zeitreihe mehr Jahre umfasst. In Frühjahr und Sommer gibt es Phasen höhere Wassertemperaturen und niedrigere im Winter. Jedoch unterscheiden sich die Temperaturen der gleichen Monate in den zwei verschiedenen Jahren.

8.4.7 Falkensteinquelle (Lostorf)

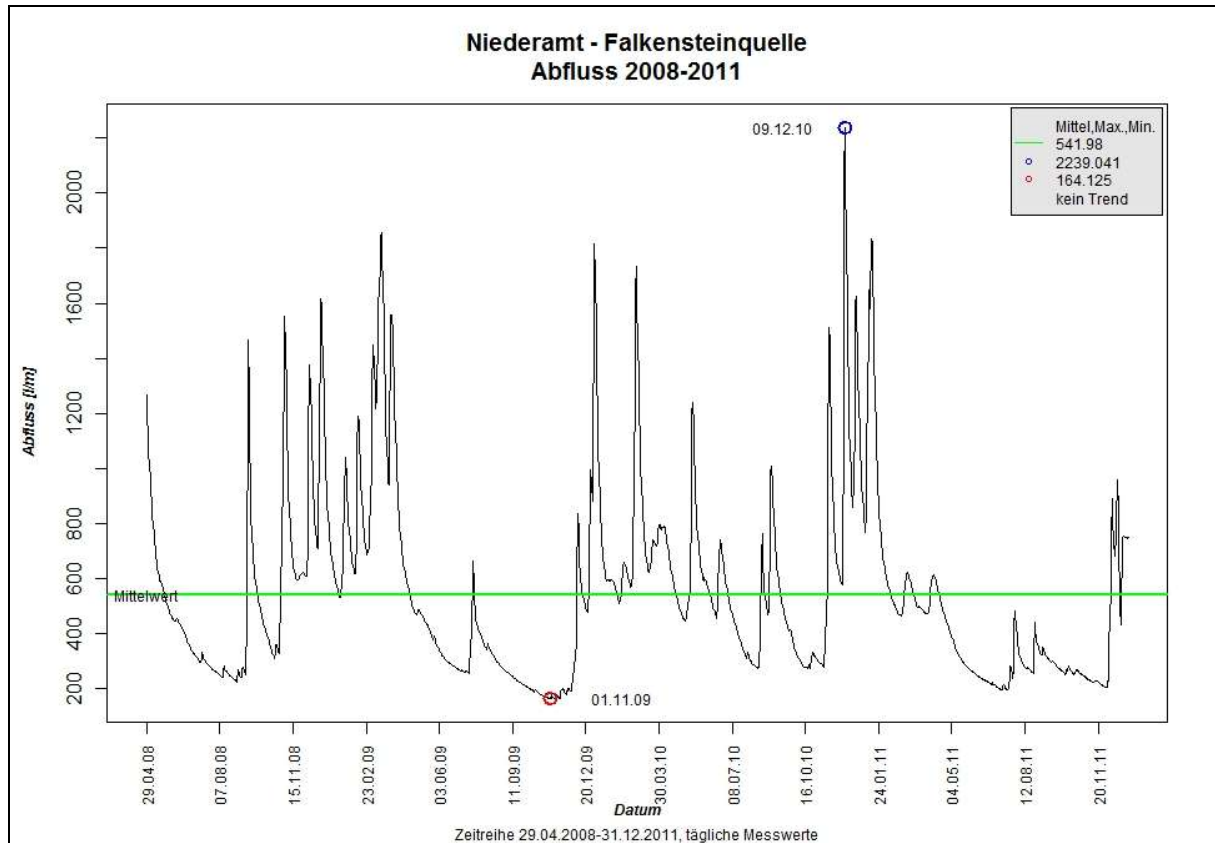


Abbildung 33: Falkensteinquelle (Lostorf)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Abfluss in Liter pro Minute, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Von der Falkensteinquelle gibt es erst drei Jahren Aufzeichnungen der Abflussdaten, seit dem 29.04.2008.

Die Jahressgänge können bis dato als relativ regelmässig bezeichnet werden. Es gibt Niedrigflussperioden in Frühling und Sommer und die abflussreichen Perioden beginnen in der Übergangssaison von Spätherbst zu Winter.

Der mittlere Abfluss der Falkensteinquelle beträgt 541.98m. Am 09.12.2010 ist der höchste Abfluss mit 2239.04 l/m gemessen worden und am 01.11.2009 der geringster Niedrigabfluss mit 164.12 l/m. Daraus ergibt sich eine Abflussdifferenz von 2074.92 l/m.

In der jungen Zeitreihe gibt es keinen Trend.

8.4.7.1 Wassertemperatur Falkensteinquelle (Lostorf)

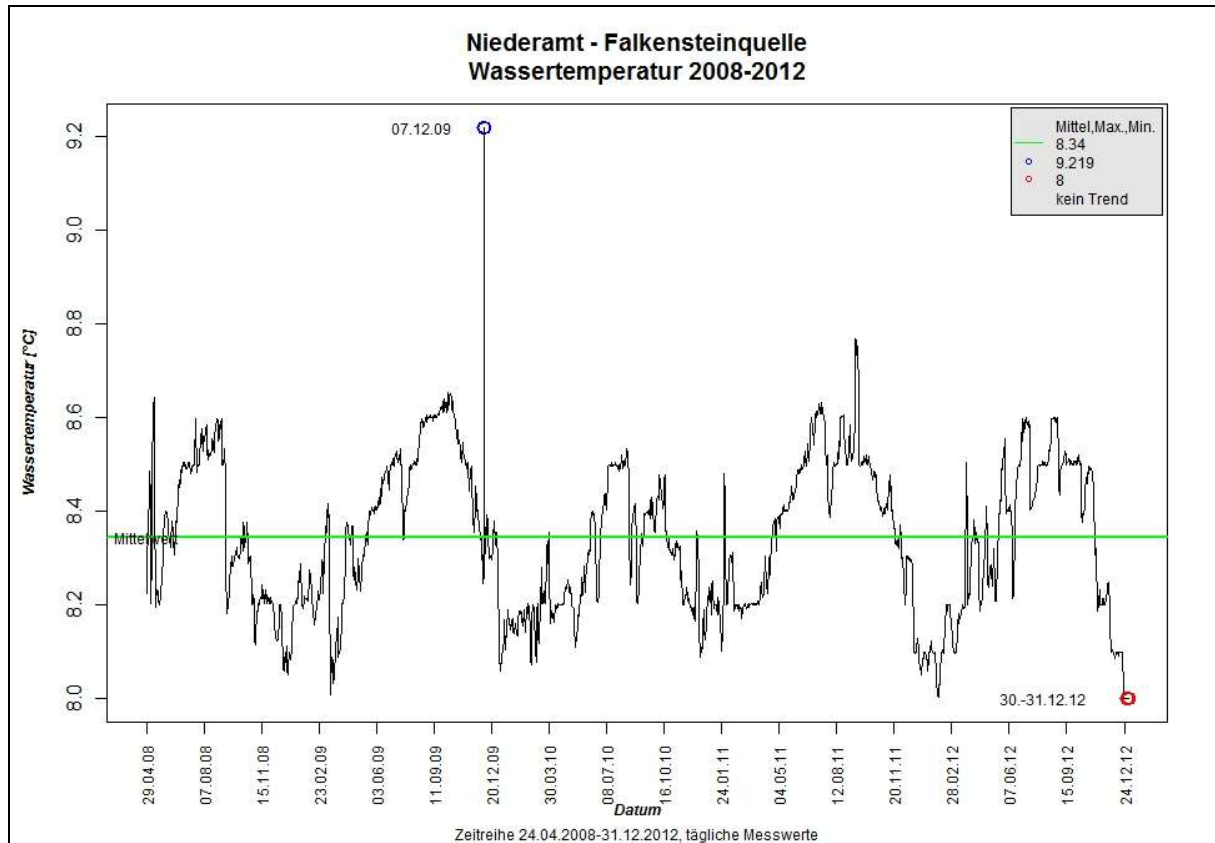


Abbildung 34: Wassertemperatur Falkensteinquelle (Lostorf)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Die Wassertemperatur der Falkensteinquelle wird ebenfalls seit dem 29.04.2008 geführt.

Auch hier ist ein Jahresgang, angepasst an die saisonbedingten Temperaturen, zu erkennen.

Hohe Wassertemperaturen in Frühling und Sommer, teilweise bis in den Spätherbst hinein und niedrige Temperaturen vornehmlich im Winter. Im Durchschnitt beträgt die Wassertemperatur 8.34°C. Mit einer Maximumtemperatur bei 9.22°C (07.12.2009) und einer Minimumtemperatur mit 8°C (30.-31.12.12). Das macht einen Temperaturunterschied von 1.22°C.

Die Analyse hat keinen Trend ermittelt.

8.4.8 Pumpwerk Insel (Niedergösgen)

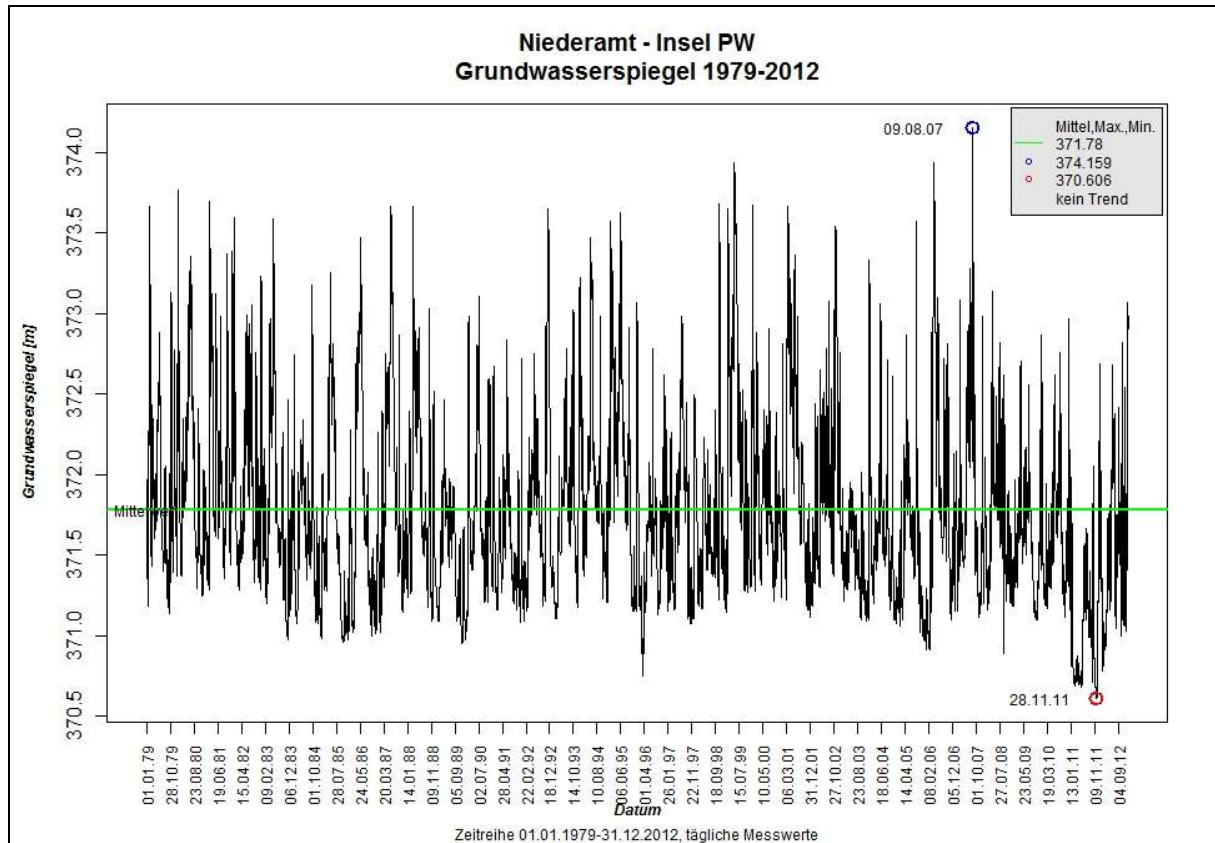


Abbildung 35: Pumpwerk Insel (Niedergösgen)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Seit dem 01.01.1979 gibt es die Messreihe des Pumpwerkes Inseli. Inseli ist in einem Grundwasserkörper mit einer Mächtigkeit von 20m bis 30m gelegen.

Der Grundwasserspiegel liegt, innerhalb eines Schwankungsbereiches von 3.55m durchschnittlich bei 371.78m. Am 09.08.2007 ist der Spiegelhöchststand mit 374.16m verzeichnet. Damit hebt er sich nicht wesentlich von weiteren Spiegelspitzen ab. Das Minimum ist im Trockenjahr 2011, am 28.11., gemessen worden und liegt, mit einer Ausnahme im Jahre 1996, ca. einen halben Meter unter den bis dato gemessenen Tiefstwerten.

In der Ganglinie sind die Schwankungen zwischen Hoch- und Tiefspiegel regelmässig und ausgeglichen. Die Analyse hat keinen Trend berechnet.

8.4.9 Pumpwerk Obergösgen-Lostorf (Obergösgen)

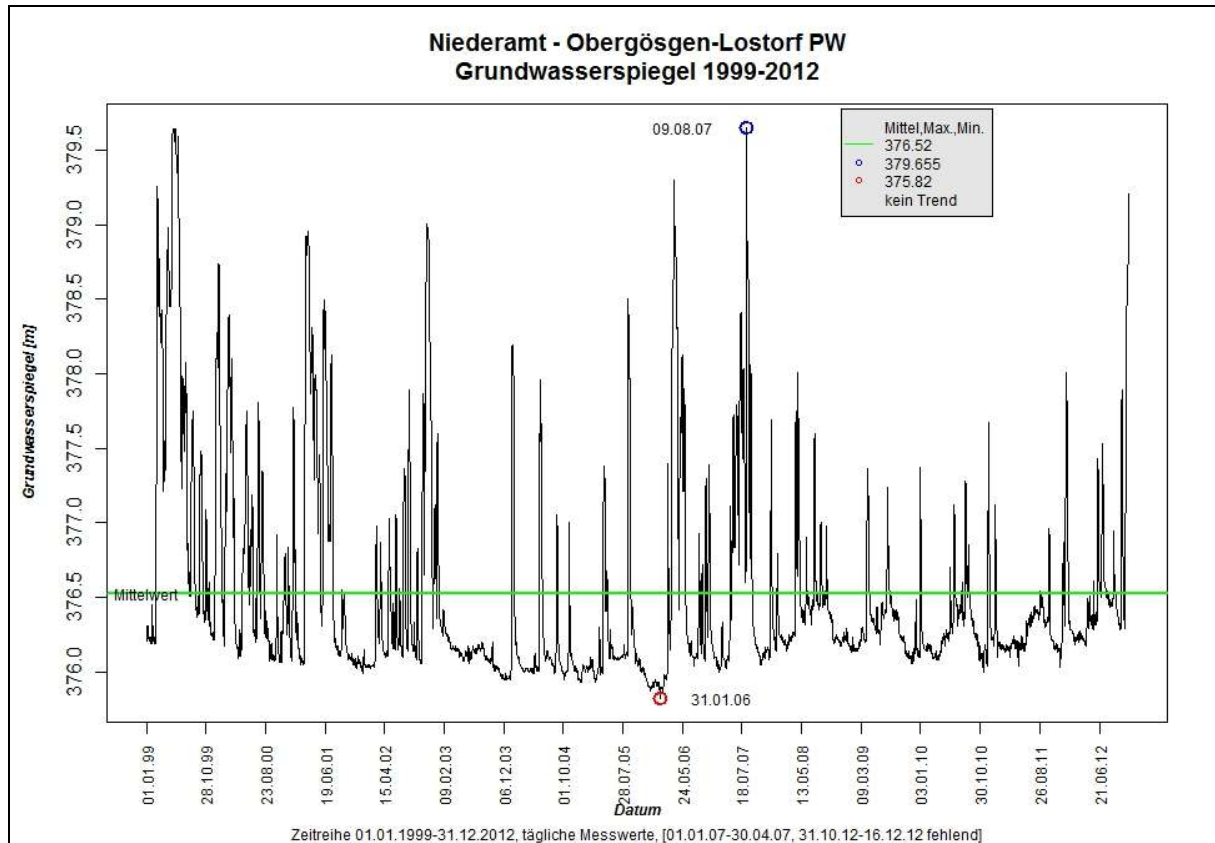


Abbildung 36: Pumpwerk Obergösgen-Lostorf (Obergösgen)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

In einem Grundwasserkörper, mit einer Mächtigkeit zwischen 10m und 20m, befindet sich das Pumpwerk Obergösgen-Lostorf. Seit dem 01.01.1999 werden die Grundwasserstände datiert. Es fehlen die Daten aus dem Zeitraum vom 01.01. bis 30.04.2007 und vom 31.10. bis 16.12.2012. Der Grundwassergang zeigt regelmässige Hoch- und Niedrigphasen, wobei die sich Hochphasen ab dem Jahr 2009 bis Ende des Jahres 2012 auf einem niedrigeren Niveau befinden, als in den Jahren zuvor. Bei einer Tiefe von 375.82m befindet sich der niedrigste gemessene Grundwasserspiegel, der am 31.01.2006 notiert ist. 3.83m höher liegt der Maximumpegel bei 379.65, am 09.08.2007. Im Durchschnitt misst der Pegel über die Jahre 376.52m. Einen Trend gibt es in der Messreihe nicht.

Die Trockenjahre 2003 und 2011 zeigen ausgedehnte Niedrigspiegelphasen, die sich jedoch nicht zu anderen tiefen Phasen unterscheiden.

8.4.10 Pumpwerk Spitzacker (Schönenwerd)

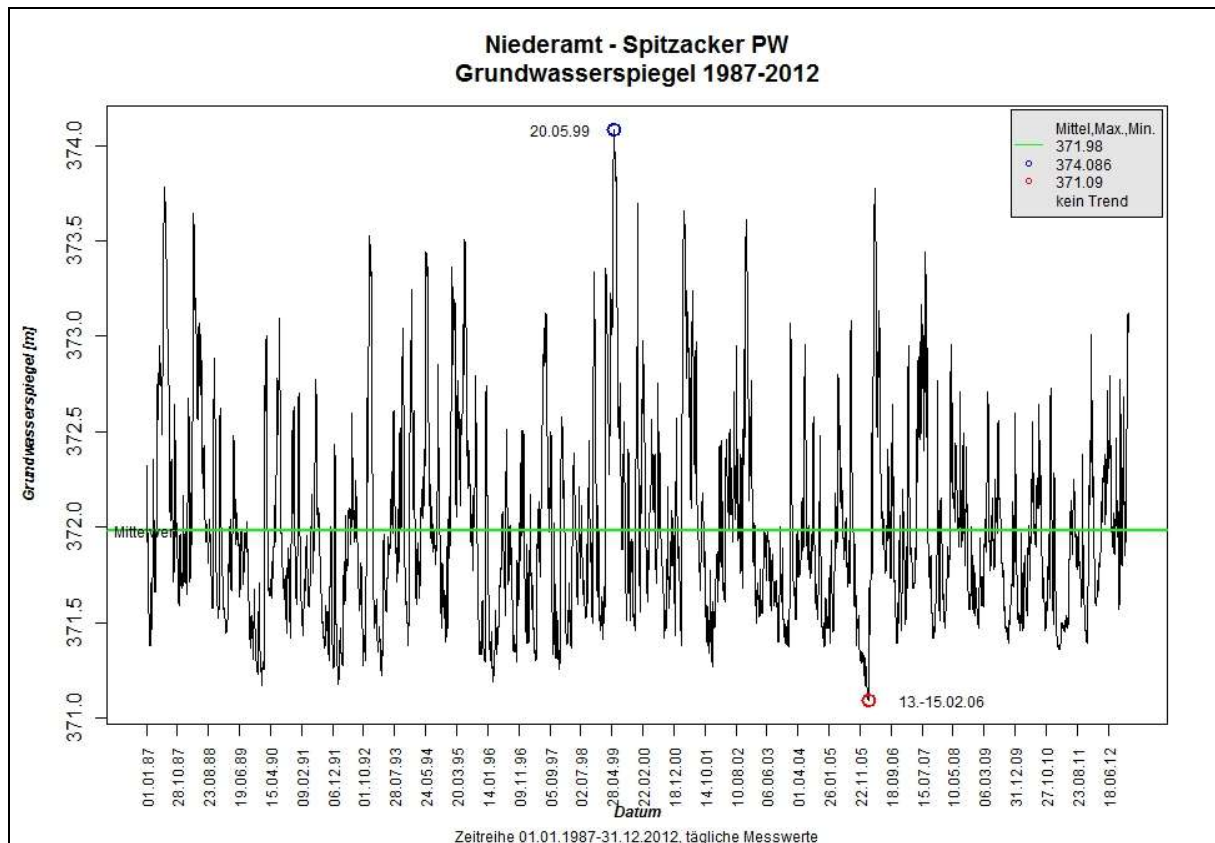


Abbildung 37: Pumpwerk Spitzacker (Schönenwerd)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Der Grundwasserkörper, in dessen Areal das Pumpwerk Spitzacker liegt, hat eine Mächtigkeit zwischen 10m und 20m. Am 01.01.1987 beginnt die Messreihe deren mittlerer Grundwasserspiegel 371.98m beträgt. Das Maximum bei 374.09m stammt aus dem Jahre 1999 und ist am 20.05. datiert. An den Tagen des 13. und 15.02.2006 liegt das Minimum der Zeitreihe mit 371.09m. Damit hat der Grundwasserkörper an dieser Stelle einen Schwankungsbereich von 3 Metern aufzuweisen.

Der Grundwassergang zeichnet sich durch eine regelmässige Abfolgen von Hoch- und Niedrigständen aus. Bei der Analyse ist kein Trend ermittelt worden.

Es sind niedrige Phasen in den Trockenjahren 2003 und 2011 zu erkennen, die allerdings nicht durch Extremwerte aus der Ganglinie herausstechen.

8.4.11 Pumpwerk Dellen (Trimbach)

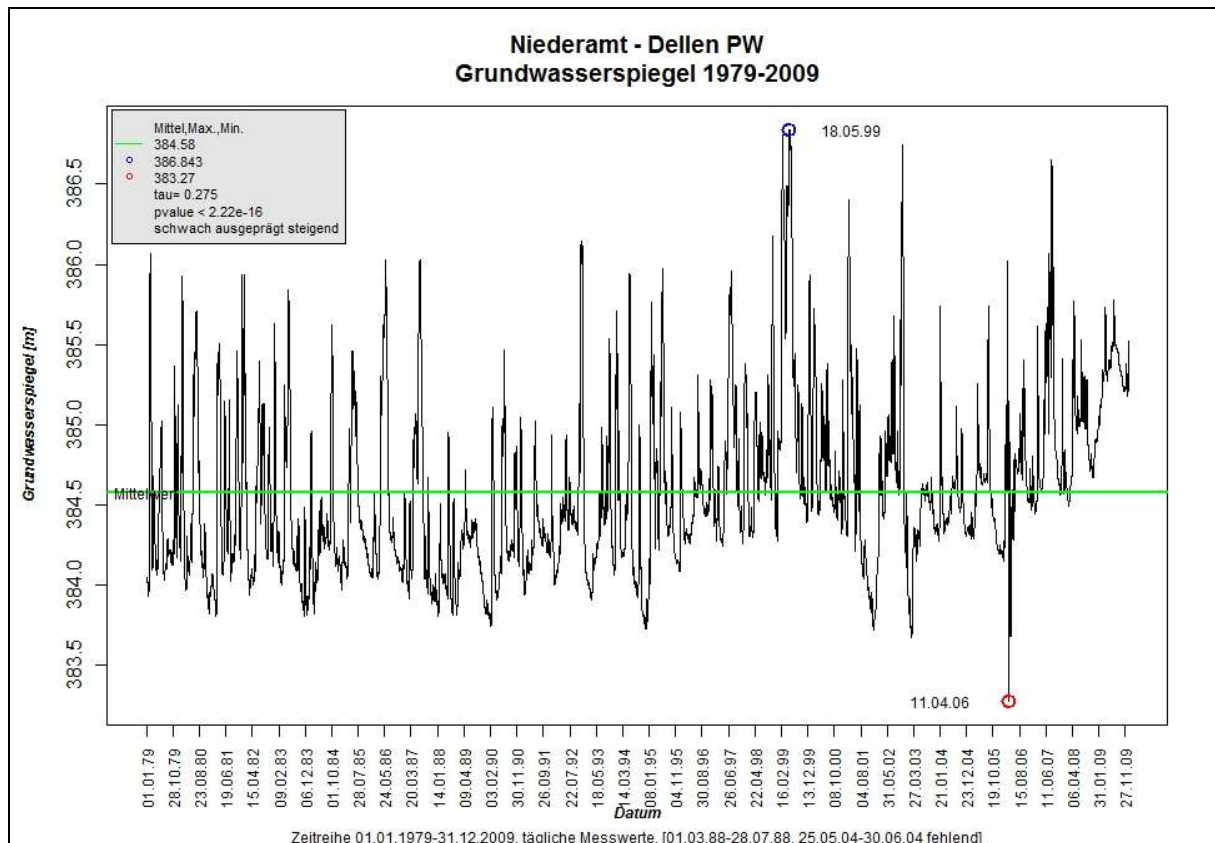


Abbildung 38: Pumpwerk Dellen (Trimbach)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
 Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Die Messreihe des Pumpwerkes Dellen umfasst die Jahre vom 01.01.1979 an bis zum 31.12.2009. Wobei es aus den Tagen vom 01.03. bis zum 28.07.1988 und vom 25.05. bis 30.06.2004 keine Daten gibt.

Der Standort befindet sich in einem 20m bis 30m mächtigen Grundwasserkörper. Dieser hat ein Langzeitmittel bei 384.58m. Es gibt einen Schwankungsbereich von 3.57m, der aus dem Maximum von 386.84m (18.05.1999) und einem Minimum bei 383.27m (11.04.2006) hervorgeht. Die Ganglinie zeigt ab den 90er Jahren, noch deutlicher zu sehen nach einem niedrigen Pegel im Trockenjahr 2003, eine steigende Tendenz, die durch einen signifikant positiven Trend ($\tau = 0.275$, $p < 2.22e-16$) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 1% bestätigt wird. Der Grundwasserspiegel ist schwach ausgeprägt steigend.

8.4.12 Fazit Niederamt

Im Areal des Niederamts gibt es nur zwei Grundwassermessstationen, die einen Trend aufzeigen. Allerdings sind das die beiden aufgehobenen Stationen Belser (KG) und Dellen (PW). Belser zeigt einen schwach ausgeprägt sinkenden Grundwasserspiegel und Dellen einen schwach ausgeprägt ansteigenden Spiegel.

Zudem kommt die Station Schachen, deren Trendergebnis aufgrund der kurzen Zeitreihe (1 ½

Jahre) nicht verifiziert werden kann, dies gilt auch für deren Temperaturzeitreihe.

Bis auf die gerade Genannten, zeichnen sich die Grundwasserzeitreihen durch stationsspezifische, jahresgangabhängige, regelmässig aufeinanderfolgende Phasen von Hohen- und Tiefengrundwasserspiegeln aus und zeigen keine auffälligen Unregelmässigkeiten.

Die Schwankungsbereiche befinden sich alle unter 4m, ausser bei der aufgehobenen Station Belser (KG) deren Differenzbereich 5.16m misst.

Die Grundwasserganglinien von Dängertwäldli, Dellen (PW), Ey (PW), Kürzefeld (PW) und Spitzacker (PW) haben jeweils ihre Maximapegel im April 1999.

Unter den Minima gibt es nur die Station Insel, die den Tiefstwert im Trockenjahr 2011 hat, keine Station im Jahr des Jahrhundertssommers 2003. Bei sechs Stationen (Belser (KG), Dängertwäldli, Dellen (PW), Ey (PW), Obergösgen-Lostorf (PW) und Spitzacker (PW)) sind die Minima in der Wintersaison 2005/2006 verzeichnet.

Die Temperaturzeitreihen der Messstationen Dängertwäldli und Falkensteinquelle zeigen ebenfalls jahresgangabhängige und regelmässige Abfolgen in ihrer Ganglinie auf, ohne einen Trend zu beinhalten.

Im Falle der jungen Ganglinie in Schachen ist noch kein eindeutiger Jahresgang erkennbar.

8.5 Thal

Sechs Grundwassermessstationen gibt es im Gebiet Thal, deren Standorte sich in den Gemeinden Balsthal, Herbetswil, Mümliswil und Laupersdorf befinden. Zu zwei Limnigrafen kommen drei Pumpwerke und eine Quelle, deren Areale sich in unterschiedlichen Grundwassermächtigkeiten zwischen 2m-10m bis 30m-40m befinden.

Temperaturdaten gibt es von der Hammerrainquelle und der Station Stockmatt.

Die Station Kätzlimatt befindet sich nicht mehr in Betrieb.

8.5.1 Pumpwerk Grossmatt 1 [Klus] (Balsthal)

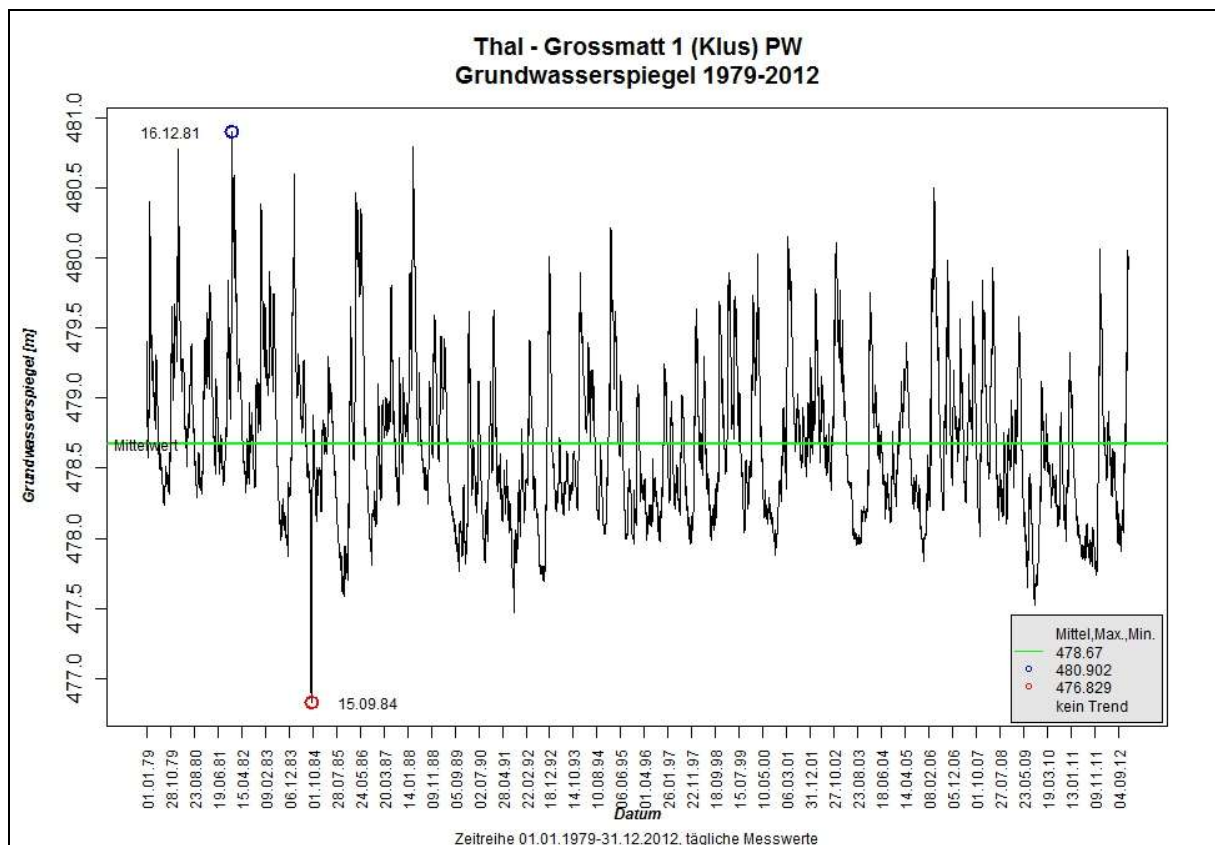


Abbildung 39: Pumpwerk Grossmatt 1 [Klus] (Balsthal)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Aus dem Pumpwerk Grossmatt gibt es Messdaten seit dem 01.01.1979. Es befindet sich in einem Grundwasserkörper mit einer Mächtigkeit zwischen 30m und 40m.

Im Mittel beträgt der Grundwasserspiegel der langjährigen Messreihe 478.67m. Der Grundwasserhöchststand mit 480.9m ist am 16.12.1981 gemessen worden. 4.07m Meter tiefer liegt der Minimumspiegel bei 476.83m. Dieser Minimumwert, vom 15.09.1984, ist mindestens einen halben Meter niedriger, als sonst verzeichnete Tiefstwerte. Die beiden Trockenjahre 2003 und 2011 zeichnen sich zwar durch Perioden niedrigen Pegels aus, sind aber nicht durch Extremwerten identifizierbar.

In dem relativ gleichmässigen Verlauf der Ganglinie gibt es keinen Trend.

8.5.2 Linnigraf Rumimoos (Balsthal)

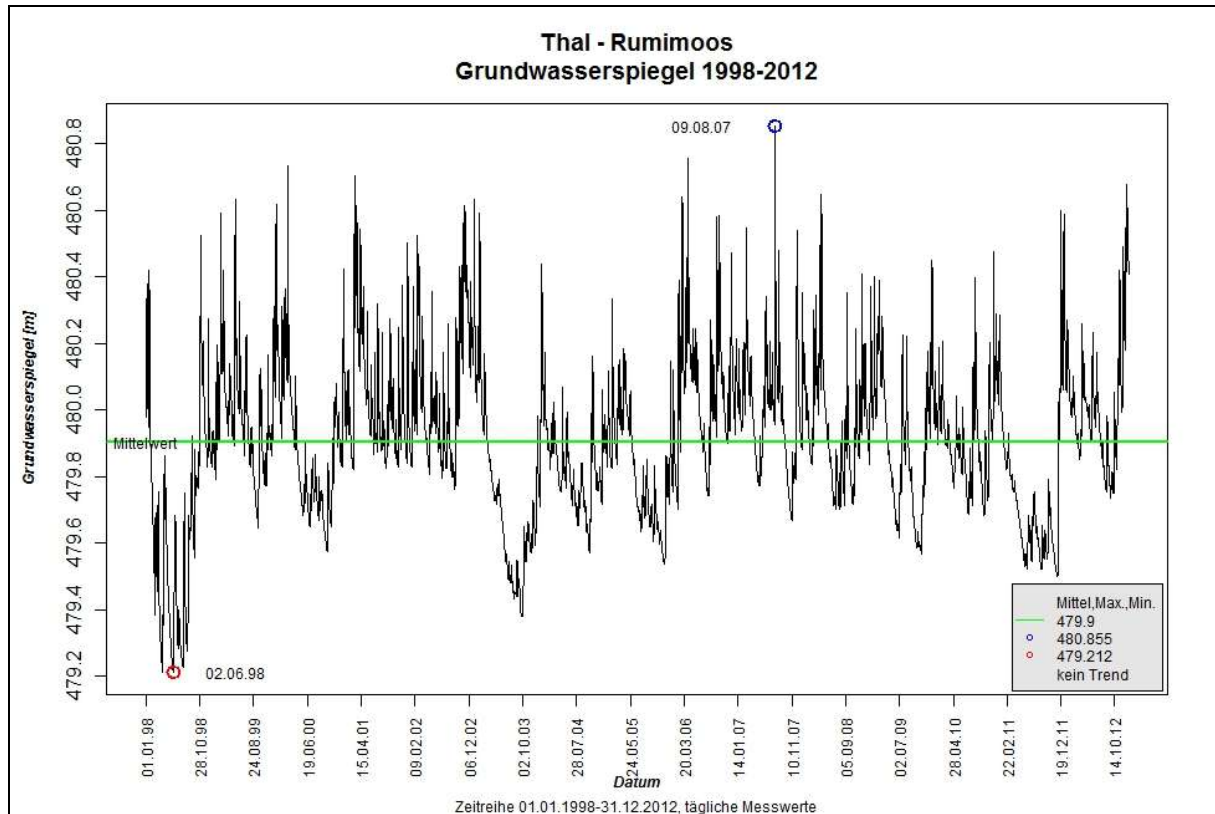


Abbildung 40: Linnigraf Rumimoos (Balsthal)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Die Zeitreihe des Grundwasserspiegels wird seit dem 01.01.1998 geführt. Rumimoos misst den Pegel eines 10m bis 20m mächtigen Grundwasserkörpers.

Bei 479.9m befindet sich der mittlere Grundwasserspiegel. Am 09.08.2007 ist der höchste Pegel mit 480.86m gemessen worden. Im ersten Jahr der Aufzeichnung, am 02.06.1998, der Tiefstwert mit 479.21m. Das entspricht einer 1.65m grosse Differenz.

Mit Phasen niedriger Spiegelstände sind die Trockenjahre 2003 und 2011 in der Ganglinie auszumachen. Wobei die Einwirkungen des Jahres 2003 mehrjährig bis zum niederschlagsreichen Jahr 2006 zu erkennen sind.

Es gibt keinen Trend in der Ganglinie.

8.5.3 Hammerrainquelle (Herbetswil)

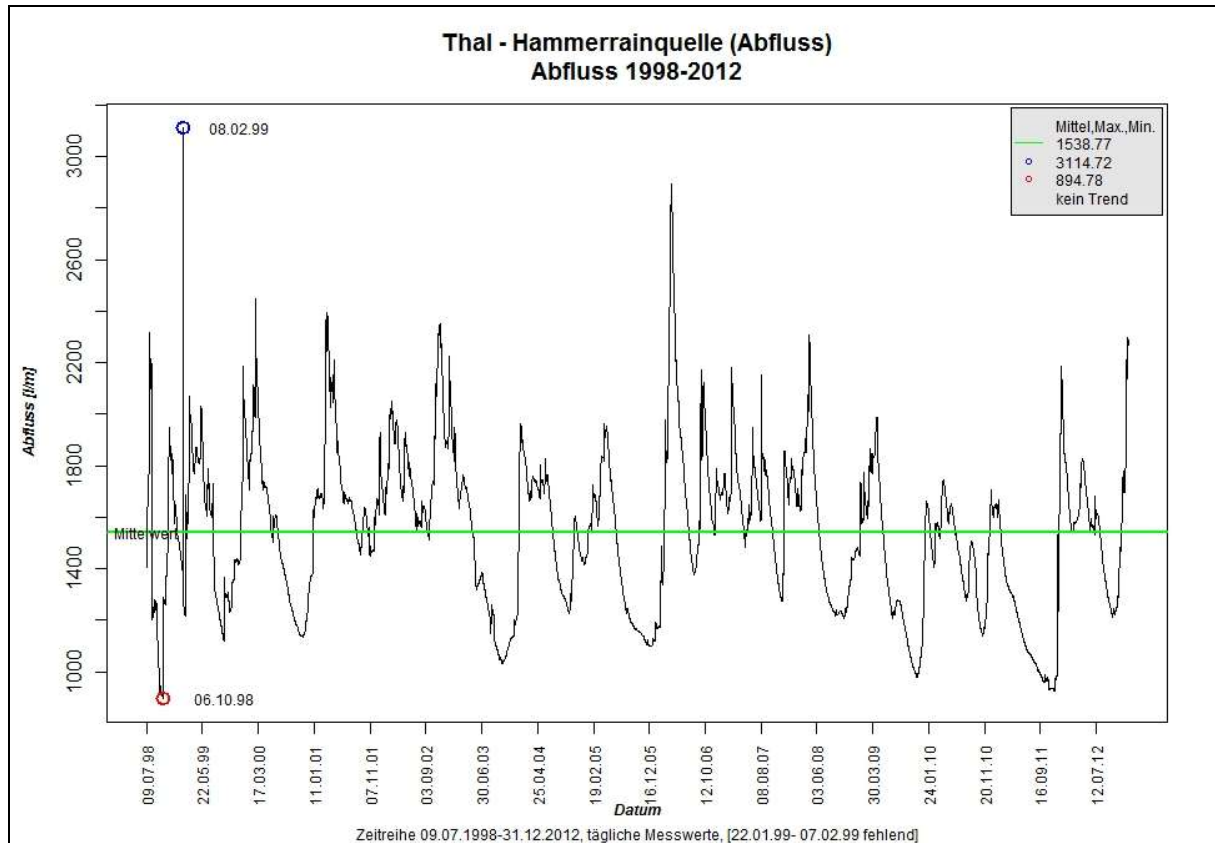


Abbildung 41: Hammerrainquelle (Herbetswil)
x-Achse: Datum, y-Achse: Abfluss in Liter pro Minute, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Der Abfluss der Hammerrainquelle wird seit dem 09.07.1998 gemessen. Es gibt fehlende Daten aus dem Zeitraum vom 22.01. bis 07.02.1999.

Bei 1538.77 l/m liegt der durchschnittliche Abfluss der Quelle. In den 90er Jahren sind sowohl die höchste Abflussspitze, als auch der geringste Abfluss verzeichnet. Die Abflussspitze, mit 3114.72 l/m, am 08.02.1999 und der geringste Abfluss, mit 894.78 l/m, am 06.10.1998. Dies resultiert in einer Abflussdifferenz von 2219.94 l/m.

Mit Phasen geringen Abflusses (mit 1000 l/m bzw. unter 1000 l/m) sind die Auswirkungen der Trockenjahre 2003 und 2011 ersichtlich, stellen aber keine Ausnahmefälle dar. Der geringste Abfluss aus dem Jahre 2011 reicht an das Minimum der 90er Jahre heran.

Die Quelle reagiert relativ Ereignisnah auf die Wetterbedingungen, wie die Daten der Jahre 2003, 2011 und des niederschlagsreichen Jahres 2006 zeigen.

Einen Trend hat der Test nicht ermittelt.

8.5.3.1 Wassertemperatur Hammerrainquelle (Herbetswil)

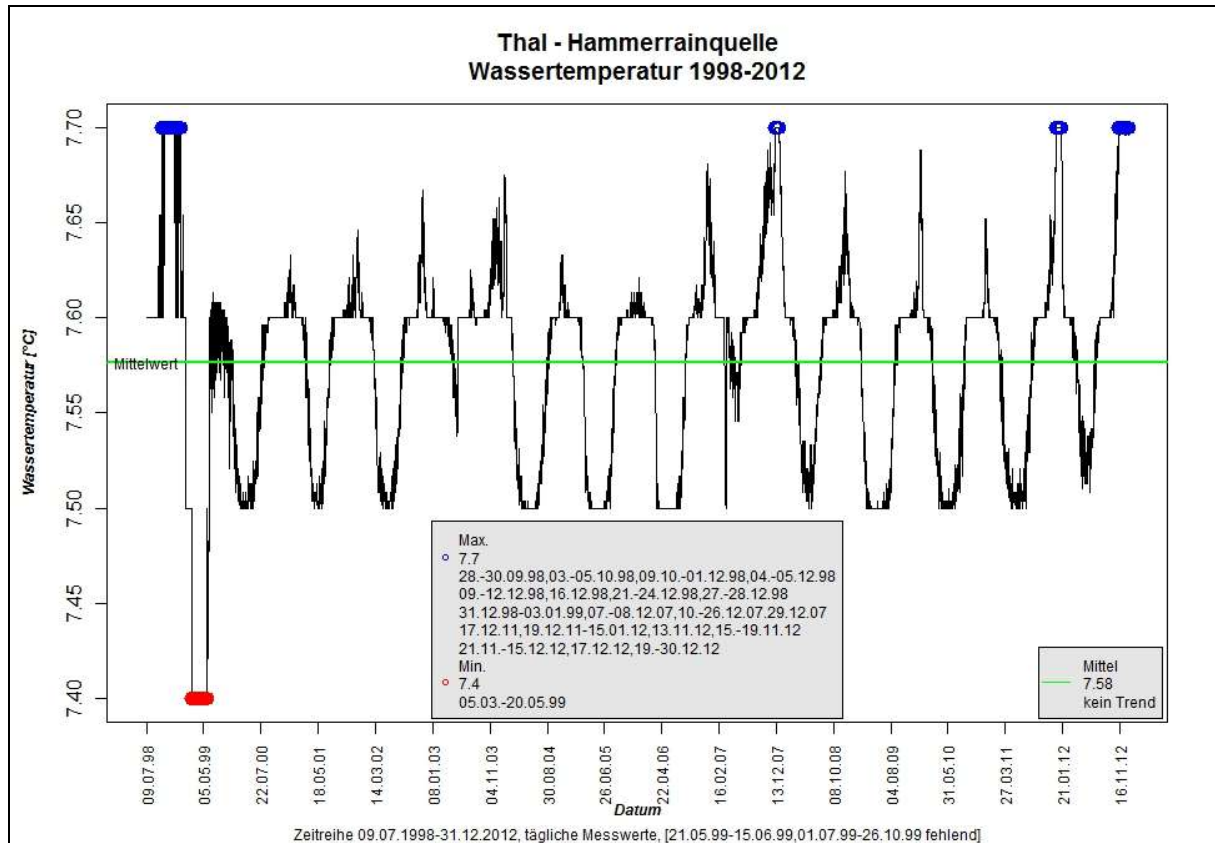


Abbildung 42: Wassertemperatur Hammerrainquelle (Herbetswil)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Zeitgleich mit der Grundwasserspiegelmessung beginnt auch die Messung der Grundwassertemperatur. Aufgrund des Defektes der Messsonde und dem Einsatzes einer fehlerhafter Ersatzsonde, im Jahre 1999, sind die Daten der Zeiträume vom 21.05. bis zum 15.06.1999 und vom 01.07. bis zum 26.10.1999 aus der Messreihe herausgenommen worden. Die Höchsttemperatur mit 7.7°C ist in verschiedenen Zeiträumen der Jahre 1998/99, 2007, 2011 und 2012 gemessen worden (28.-30.09.1998, 03.-05.10.1998, 09.10.-01.12.1998, 04.-05.12.1998, 09.-12.12.1998, 16.12.1998, 21.-24.12.1998, 27.-28.12.1998, 31.12.1998-03.01.1999, 07.-08.12.2007, 10.-26.12.2007, 29.12.2007, 17.12.2011, 19.12.2011-15.01.2012, 13.11.2012, 15.-19.11.2012, 21.11.-15.12.2012, 17.12.2012, 19.-30.12.2012). Unter den Höchsttemperaturen ist das Trockenjahr 2011, jedoch nicht der Jahrhundertssommer 2003 enthalten.

An den Tagen vom 05.03. bis zum 20.05.1999 ist die Minimumtemperatur mit 7.4°C verzeichnet. In dem Schwankungsbereich von 0.12°C bewegt sich die Temperaturganglinie nahezu in periodischer Abfolge, wobei die mittlere Temperatur bei 7.58°C liegt. Es gibt eine geringe Temperaturdifferenz mit 0.3°C.

Es gibt keinen Trend in der Zeitreihe.

8.5.4 Pumpwerk Laupersdorf (Laupersdorf)

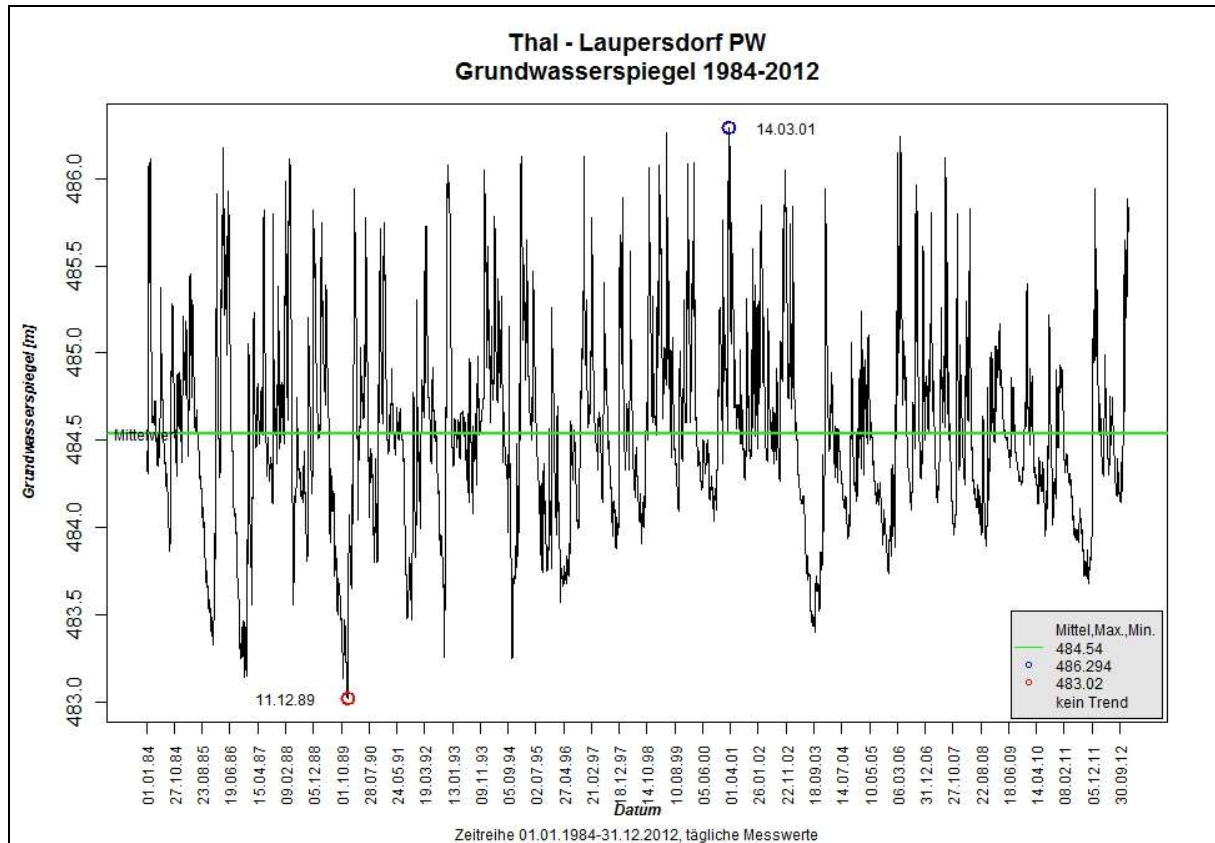


Abbildung 43: Pumpwerk Laupersdorf (Laupersdorf)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Das Pumpwerk Laupersdorf befindet sich in einem 10m bis 20m mächtigen Grundwasserkörper. Seit dem 01.01.1984 gibt es die Grundwassermessreihe.

Der langjährige Grundwasserspiegel hat ein Mittel bei 484.54m. Mit einem Maximum bei 486.29m (14.03.2001) und einem Minimum bei 483.02m (11.12.1989). Die resultiert in einem 3.27m grossen Schwankungsbereich, innerhalb dessen der Grundwasserverlauf gleichmässig erfolgt. Im Grundwassergang sind vergleichsweise ausgeprägte Phasen mit einem niedrigen Spiegel in den Jahren 2003 und 2011 auszumachen. Diese reichen jedoch nicht bis zum Tiefenniveau der Peaks aus den 80er und 90er Jahren. Im Zeitraum der Jahre 1995 bis zum Jahrhundertssommer 2003 sind erhöhte Niedrigpegel erkennbar.

In der ausgeglichenen Ganglinie gibt es keinen Trend.

8.5.5 Linnigraf Stockmatt (Laupersdorf)

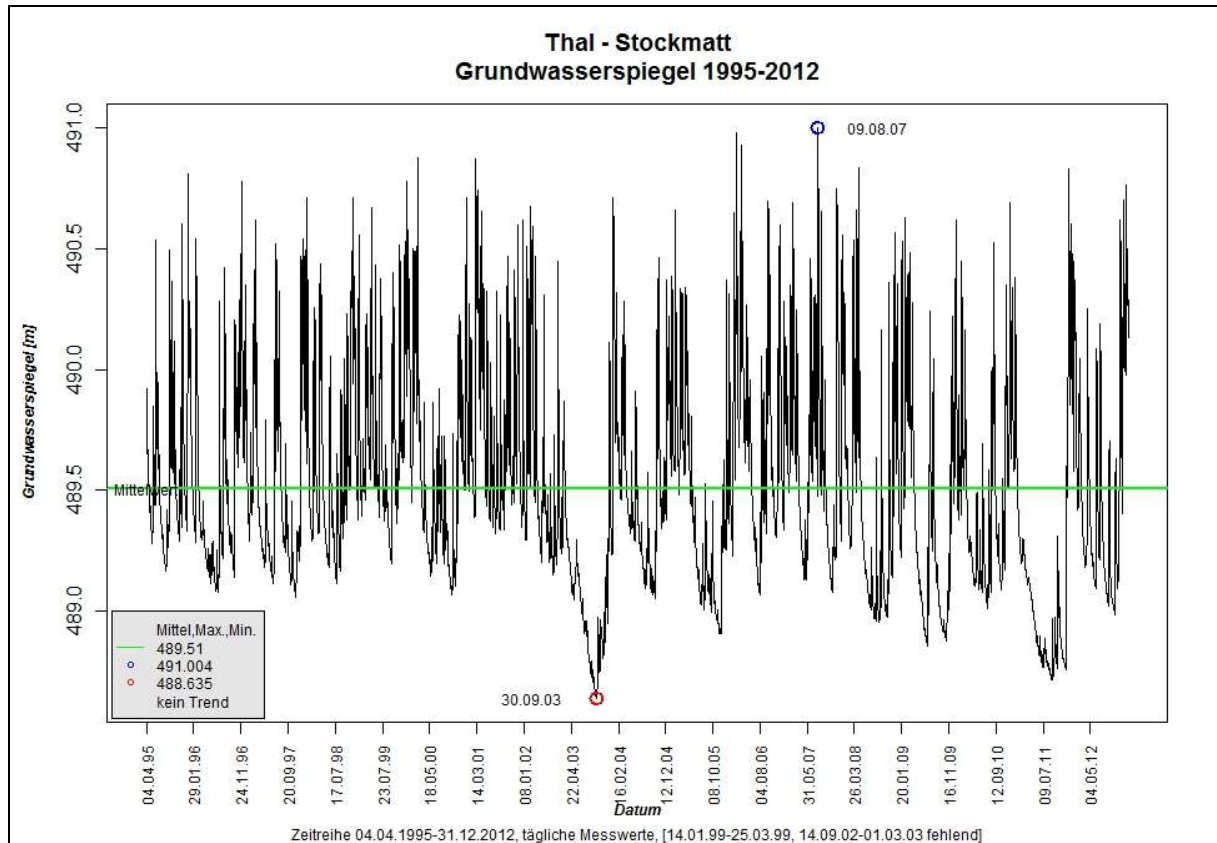


Abbildung 44: Linnigraf Stockmatt (Laupersdorf)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Am 04.04.1995 beginnt die Grundwassermessreihe im 2m bis 10m mächtige Grundwasserkörper in Stockmatt. Aus den Zeiträumen vom 14.01. bis zum 25.03.1999 und vom 14.09.2002 bis zum 01.03.03 gibt es keine Daten.

489.51m beträgt der durchschnittliche Grundwasserspiegel in Stockmatt. Der Maximumspiegel, mit 491m, ist am 09.08.2007 verzeichnet. Aus dem Jahrhundertssommer des Jahres 2003, vom 30.09., stammt das Minimum mit 488.63m. Die Niedrigspiegelphase der Frühling- und Sommermonate des Jahres 2003 liegt ca. 0.5m unter anderen Tiefstwerten. In einem annähernd tiefen und zeitlich ausgedehnten Niveau befindet sich der Pegel im Trockenjahr 2011.

Die Grundwasserganglinie zeigt einen gleichmässigen Verlauf, in dem es keinen Trend zu verzeichnen gibt.

8.5.5.1 Grundwassertemperatur Stockmatt (Laupersdorf)

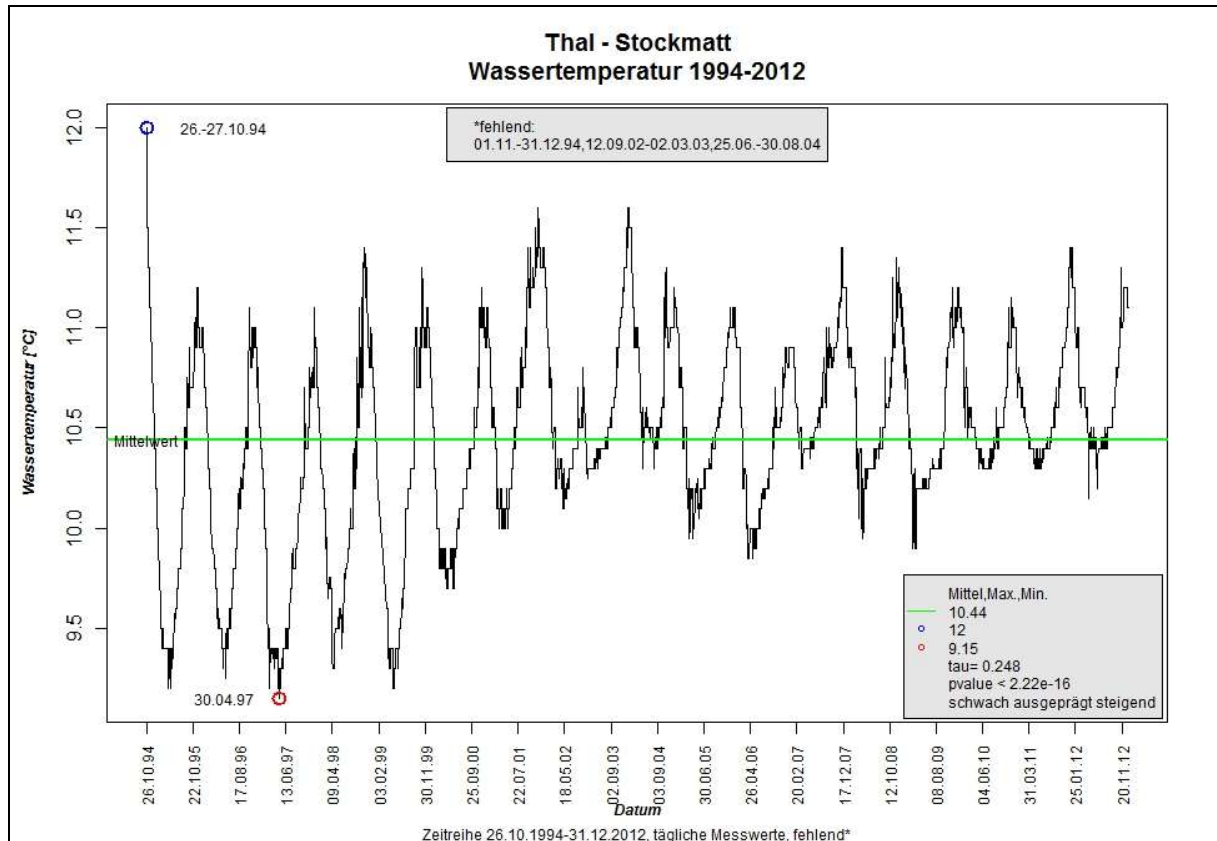


Abbildung 45: Grundwassertemperatur Stockmatt (Laupersdorf)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C,

Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Die Temperaturmessung im Grundwasserkörper in Stockmatt hat 6 Monate vor der Messung des Grundwasserspiegels begonnen, am 26.10.1994. Hier gibt es fehlende Daten aus den Zeiträumen vom 01.11. bis 31.12.94, vom 12.09.2002 bis 02.03.2003 und vom 25.06. bis 30.08.2004.

Das Temperaturmittel misst 10.44°C. An den beiden Tagen des 26. und 27.10.94 ist die Höchsttemperatur mit 12°C gemessen worden. Ebenfalls in den 90er Jahren, am 30.04.1997, ist die geringste Temperatur 9.15°C datiert. Damit beträgt die Temperaturdifferenz im Grundwasser 2.85°C.

In der Ganglinie ist ab dem Jahr 2000 ein Temperaturanstieg, vor allem in Form von ansteigenden Tiefstwerten, ersichtlich, wobei die Temperaturdifferenzen geringere Schwankungsbereiche aufzeigen. Die Analyse hat einen signifikanten positiven Trend ermittelt ($\tau = 0.25$, $p < 2.22 \cdot 10^{-16}$), mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1%. Demnach ist der Anstieg schwach ausgeprägt steigend.

8.5.6 Pumpwerk Kätzlimatt (Mümliswil)

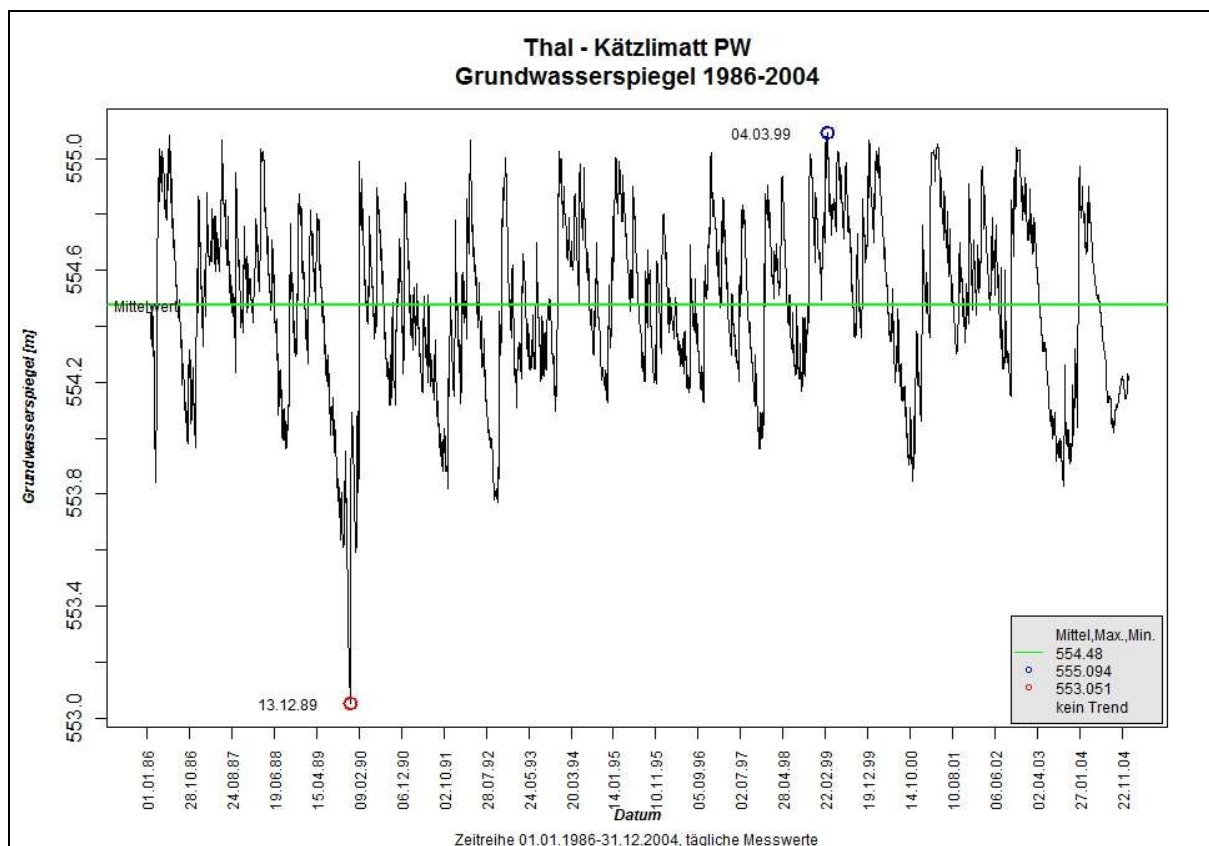


Abbildung 46: Pumpwerk Kätzlimatt (Mümliswil)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Von Kätzlimatt gibt es eine Grundwasserspiegelzeitreihe vom 01.01.1986 bis zum 31.12.2004. Das Pumpwerk ist in einem Grundwasserkörper mit einer 2 bis 10 Meter grosse Mächtigkeit angesiedelt gewesen.

Im Durchschnitt beträgt der Grundwasserpegel der Ganglinie 554.48m. Der Höchstpegel, gemessen am 04.03.1999, befindet sich bei 555.09m. Dieses Niveau hebt sich nicht von anderen ermittelten Grundwasserhöchstständen ab. Der Ende der 80er Jahre (13.12. 1989) verzeichnete Tiefstwert mit 553.05m liegt 2.04m unter dem Maximum und knapp einen Meter tiefer, als andere Niedrigpegel. Durch eine Niedrigspiegelphase ist auch das Jahr 2003 gekennzeichnet, allerdings sticht es nicht durch Extremwerte aus der Zeitreihe hinaus.

Der Verlauf der Ganglinie zeigt eine Regelmässigkeit aufeinanderfolgender Hoch- und Niedrigspiegelstände. Ein Trend gibt es nicht in der Zeitreihe.

8.5.7 Fazit Thal

In den sechs Ganglinien der Grundwassermessstationen und der Quelle im Gebiet Thal sind keine Trends errechnet worden.

Den Ganglinien ist eines gemein. Sie zeichnen sich durch einen gleichmässigen Verlauf aus, in dem Hoch- und Tiefstände in relativ regelmässigen Abständen aufeinander folgen. Die Trockenjahre 2003 und 2011 sind in allen Langzeitreihen durch zeitlich ausgedehnte Phasen,

niedrige Pegel erkennbar. Diese Phasen heben sich allerdings nicht in jedem Fall von dem Niveau ansonsten gemessener Tiefstwerte ab. Mit sich absetzenden Tiefstwerten sind die Trockenjahre in den Ganglinien der Hammerrainquelle, in Rumimoos und in Stockmatt erkennbar.

Unter den Minima gibt es einen im Jahrhundertssommer 2003 zu verzeichnen, bei der Station Stockmatt. Die anderen Minima stammen aus den Jahren vor der Jahrhundertwende. Bei Grossmatt (PW) aus dem Jahre 1984, bei der Hammerrainquelle (06.10.) und Rumimoos (02.06.) aus dem Jahr 1998. Kätzlimatt (PW) und Laupersdorf (PW) haben ihr Minima im Dezember 1989. Die Maxima liegen bei der Station Laupersdorf (PW) im Jahre 2001, bei Rumimoos und Stockmatt am gleichen Tag im Jahre 2007 (09.08.), bei der Hammerrainquelle und Kätzlimatt (PW) im Frühjahr 1999 und beim Pumpwerk Grossmatt im Jahre 1981.

Die Schwankungsbereiche, in denen sich die Grundwasserkörper bewegen, liegen zwischen 1.65m und 4.07m. Vier davon unter 3.3m. Darunter hat Grossmatt mit 4.07m den grössten Differenzbereich, der durch das, rund 1m unter anderen Tiefstwerten liegende, Minima hervorgerufen wird.

Aus den gleichmässigen Verläufen der Grundwasserganglinien lässt sich schliessen, dass die Grundwasserkörper zwar auf Witterungsverhältnisse reagieren, sich aber sehr schnell erholen und keine längere Regenerierungszeit benötigen.

Unter den zwei Wassertemperaturzeitreihen gibt es einen positiven Trend bei der Messstation Stockmatt zu verzeichnen. Die Grundwassertemperatur ist dort im Laufe der Jahre schwach ausgeprägt angestiegen ($\tau = 0.25$, $p < 2.22 \cdot 10^{-16}$).

8.6 Wasseramt

Im Gebiet des Wasseramts gibt es 19 Grundwassermessstationen, darunter sieben Pumpwerke. Sie befinden sich in den Gemeinden Kriegstetten, Luterbach, Rechterswil, Gerlafingen, Derendingen, Deitingen, Obergerlafingen, Subingen und Zuchwil. Die Grundwassermächtigkeiten der Standorte reichen von 2m bis 20m, in wenigen Lagen sind es 20m-30m bzw. 30m-40m.

Von den acht Stationen Eichholz, Luterbachstrasse, Obergerlafingen, Pfaffenweiher, RKO, Stöckleten, Waldhaus und Wylihofstrasse gibt es Temperaturzeitreihen.

Das Waldhaus Subingen befindet sich nicht mehr in Betrieb.

In den Grundwasserkörpern der Gemeinde Luterbach wird die Einflussnahme durch die Cellulosefabrik „Attisholz“ (Berechtigte Vertikalfilterbrunnen, Pumpwerk XI: Borregaard Schweiz AG (ehem. Attisholz), Riedholz), vermutet. Deren Werksschliessung war im Jahre 2008.

8.6.1 Limnigraf Luterbachstrasse (Deitingen)

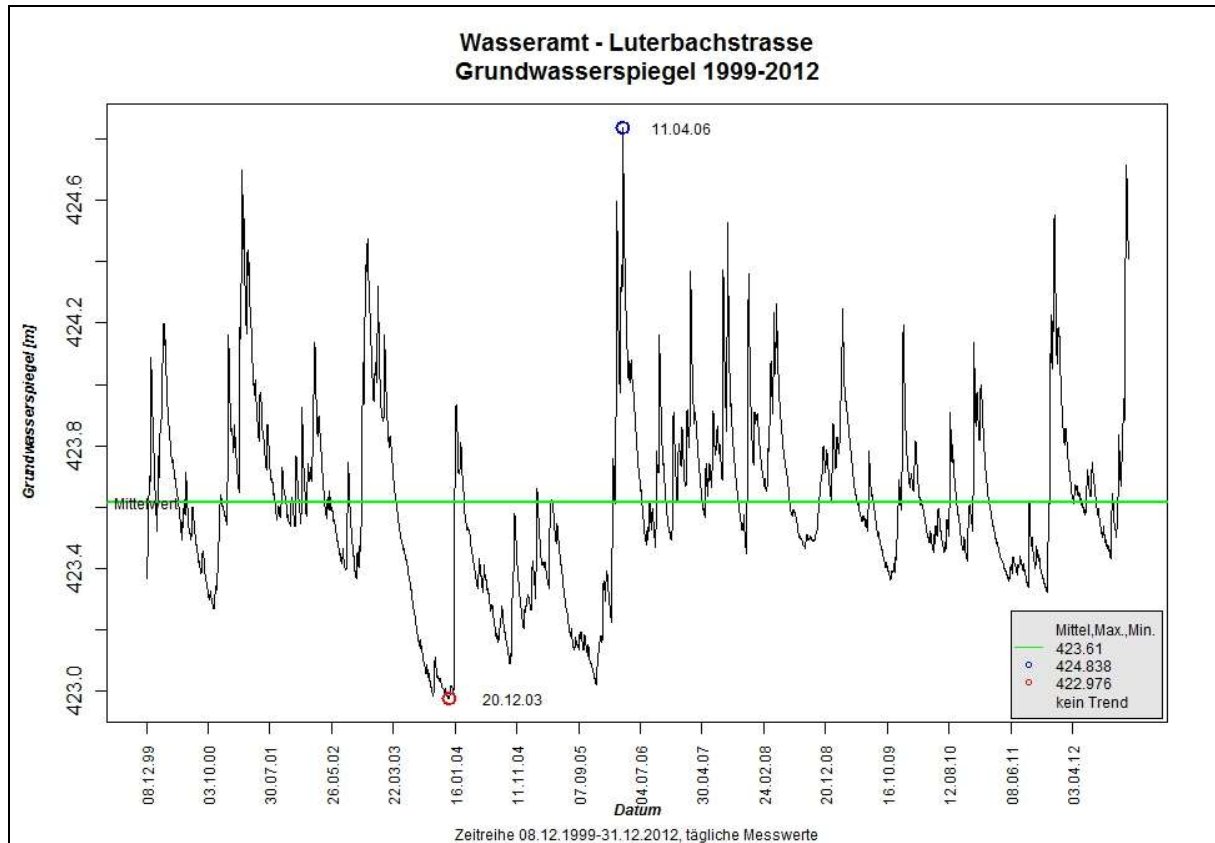


Abbildung 47: Limnigraf Luterbachstrasse (Deitingen)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

In der Luterbachstrasse wird der Grundwasserspiegel seit dem 08.12.1999 datiert. Die Messstation befindet sich in einem 2m bis 10m mächtigen Grundwasserkörper. Dieser hat ein langjähriges Mittel bei 423.61m. Der Höchststand mit 424.84m (11.04.2006) und Tiefststand mit 422.98m (20.12.2003) entstammen dem niederschlagsreichen Jahr 2006 und dem Jahrhundertssommer 2003. Dies resultiert in einem Schwankungsbereich von 1.86m.

In diesem Grundwassergang sind der Jahrhundertssommer 2003 und dessen Auswirkungen, durch eine mehrjährige Niedrigspiegelphase bis ins Jahr 2006, sehr gut ersichtlich. Diese Phase weicht von vorhergehenden und nachfolgenden Spiegelständen ab. Der Grundwasserkörper regeneriert sich im niederschlagsreichen Jahr 2006 und bewegt sich auf ähnlichem Niveau, als vor dem Ereignis.

Einen Trend gibt es nicht in der Zeitreihe.

8.6.1.1 Grundwassertemperatur Luterbachstrasse (Deitingen)

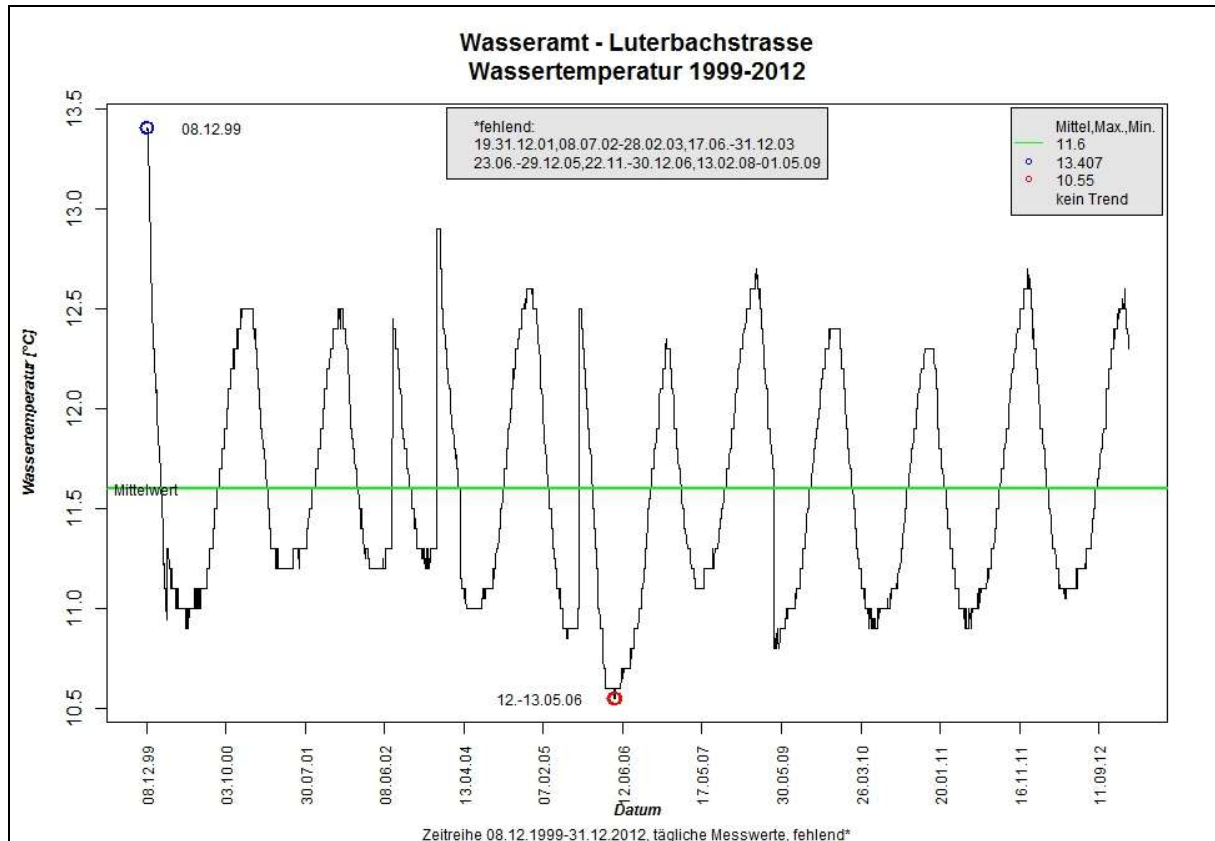


Abbildung 48: Grundwassertemperatur Luterbachstrasse (Deitingen)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Die Grundwassertemperaturmessreihe startet zeitgleich mit der Pegelmessung am 08.12.1999. Es fehlen insgesamt knapp drei Jahre mit Messdaten aus den Zeiträumen vom 19.12.-31.12.2001, 08.07.2002-28.02.2003, 17.06.-31.12.2003, 23.06.-29.12.2005, 22.11.-30.12.2006 und vom 13.02.2008-01.05.2009.

Der erste Messwert, am 08.12.1999, stellt die Höchsttemperatur der Zeitreihe dar und misst 13.41°C. Nachfolgende Temperaturspitzen liegen mindestens 0.5°C unter dem Maximum. An den beiden Tagen des 12.05. und 13.05.2006 ist die geringste Wassertemperatur mit 10.55°C verzeichnet. Daraus ergibt sich ein Temperaturunterschied von 2.86°C. Die mittlere Temperatur liegt bei 11.6°C.

Der Temperaturgang verläuft periodisch durch relativ gleichmäßigen Jahresgänge. Daher gibt es keinen Trend in der Zeitreihe.

8.6.2 Linnigraf Grütt (Derendingen)

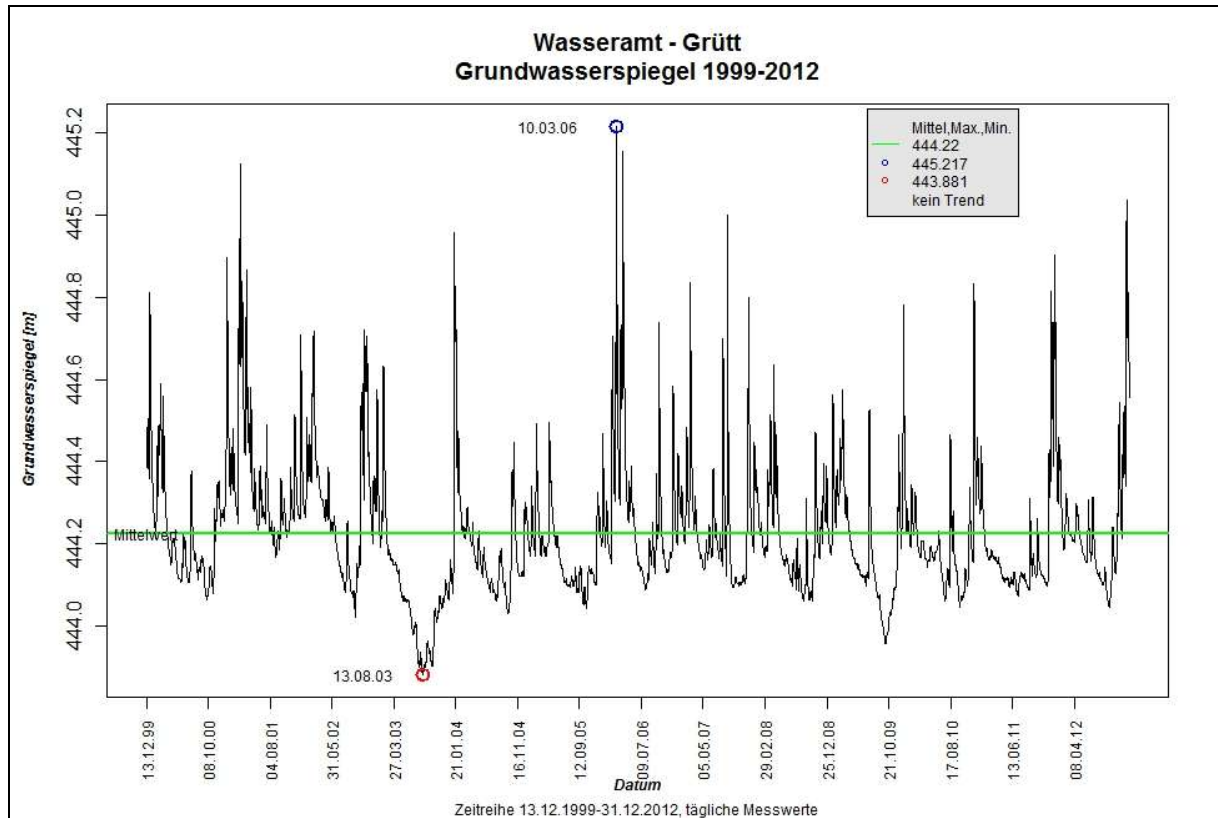


Abbildung 49: Linnigraf Grütt (Derendingen)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Der Vertikalfilterbrunnen in Grütt ist seit 1977 ausser Betrieb. Er wurde ehemals für die Papierfabrik Biberist erstellt (1911/1913). Seit dem 13.12.1999 wird diese Stelle zur Grundwasserüberwachung durch den Kanton Solothurn genutzt. Eine 2m bis 10m grosse Mächtigkeit besitzt der dortige Grundwasserkörper.

Von Dezember 1999 bis Dezember 2012 misst der mittlere Grundwasserspiegel 444.22m und hat einen Schwankungsbereich von 1.34m. Die Ganglinie hat den Höchstpeak am 10.03.2006, mit 445.22m, und den Tiefstwert, mit 443.88m, am 13.08.2003. Beide Zeitpunkte gehören zu den meteorologisch markanten Jahren 2003 und 2006. Das Trockenjahr 2011 ist dagegen unauffällig, jedoch ebenfalls mit einer Niedrigspiegelphase gezeichnet.

Der relativ gleichmässige Verlauf enthält keinen Trend.

8.6.3 Linnigraf Mitteldorf (Derendingen)

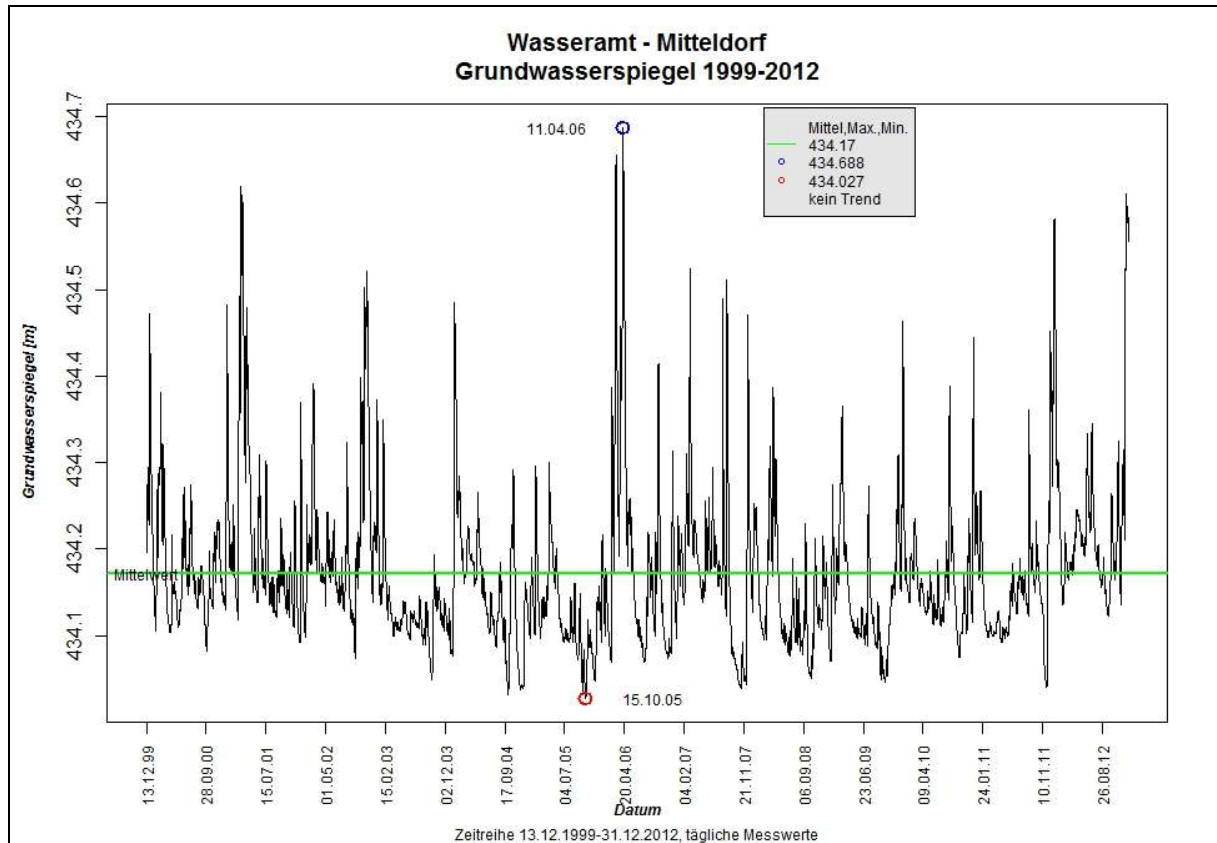


Abbildung 50: Linnigraf Mitteldorf (Derendingen)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

In einem Grundwasserkörper mit einer Mächtigkeit zwischen 2m und 10m wird der Spiegel in Mitteldorf seit dem 13.12.1999 gemessen.

Durchschnittlich beträgt der Pegel 434.17m. Bei 434.69m liegt der Maximumpegel im niederschlagsreichen Jahr 2006, am 11.04.2006, und am 15.10.2005 ist das Minimum mit 434.03m verzeichnet. Dieser Schwankungsbereich misst 0.66m.

Es ist eine ausgedehnte Niedrigspiegelphase im Jahre 2003 auszumachen. Die Phase des Trockenjahres 2011 verläuft nicht durchgehend auf niedrigem Niveau wie im Jahre 2003, allerdings erreichen beide einen Tiefstwert auf gleicher Höhe.

Im Verlauf der Ganglinie ist zu erkennen, dass der Spiegel, innerhalb des Schwankungsbereiches mit 0.66m, grössere Abweichungen bei Höchstwerten, als bei Niedrigwerten zeigt.

Es ist bei der Analyse kein Trend ermittelt worden.

8.6.4 Limnigraf Gerlafingen (Gerlafingen)

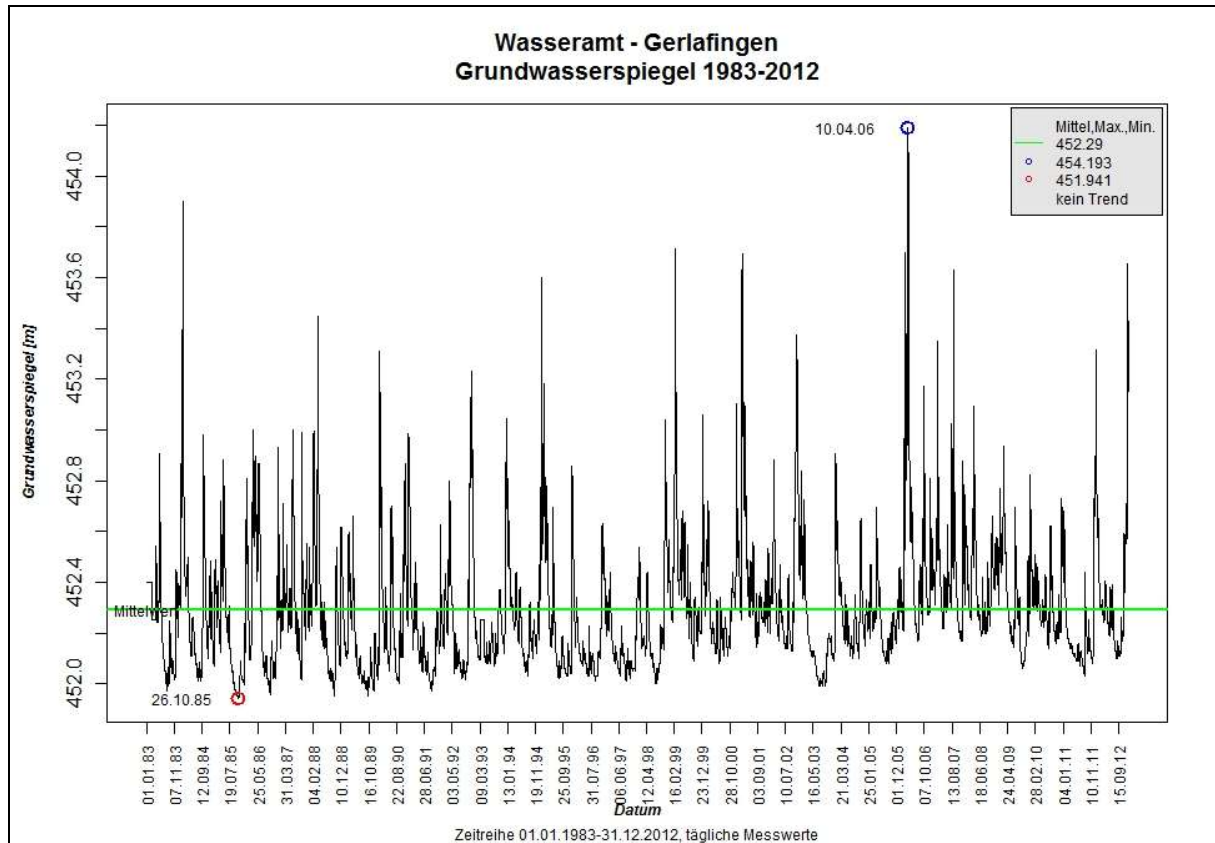


Abbildung 51: Limnigraf Gerlafingen (Gerlafingen)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Seit dem 01.01.1983 wird eine Messreihe des Pegels im Grundwasserkörper Gerlafingen geführt. Das Areal hat eine Grundwassermächtigkeit zwischen 2m-10m.

Bei 452.29m befindet sich der mittlere Grundwasserspiegel in den Jahren der Aufzeichnung. Der Maximumspiegel, mit 454.19m, stammt aus dem niederschlagsreichen Jahr 2006 (10.04.). In den ersten Jahren der Messungen ist der tiefste Grundwasserstand, mit 451.94m, am 26.10.1985 gemessen worden. Innerhalb des Schwankungsbereiches von 2.25m setzten sich weder das Maximum noch das Minimum merklich von anderen Messwerten ab.

Die Ganglinie zeigt einen, dem Grundwasserkörper spezifischen, regelmässigen Verlauf, mit geringen Abweichungen im Bereich der Niedrigstände. Sowohl das Jahr 2003, als auch das Jahr 2011 sind mit niedrigen Grundwasserspiegelphasen erkennbar. Einen Trend gibt es nicht im Verlauf.

8.6.5 Pumpwerk Biberist (Kriegstetten)

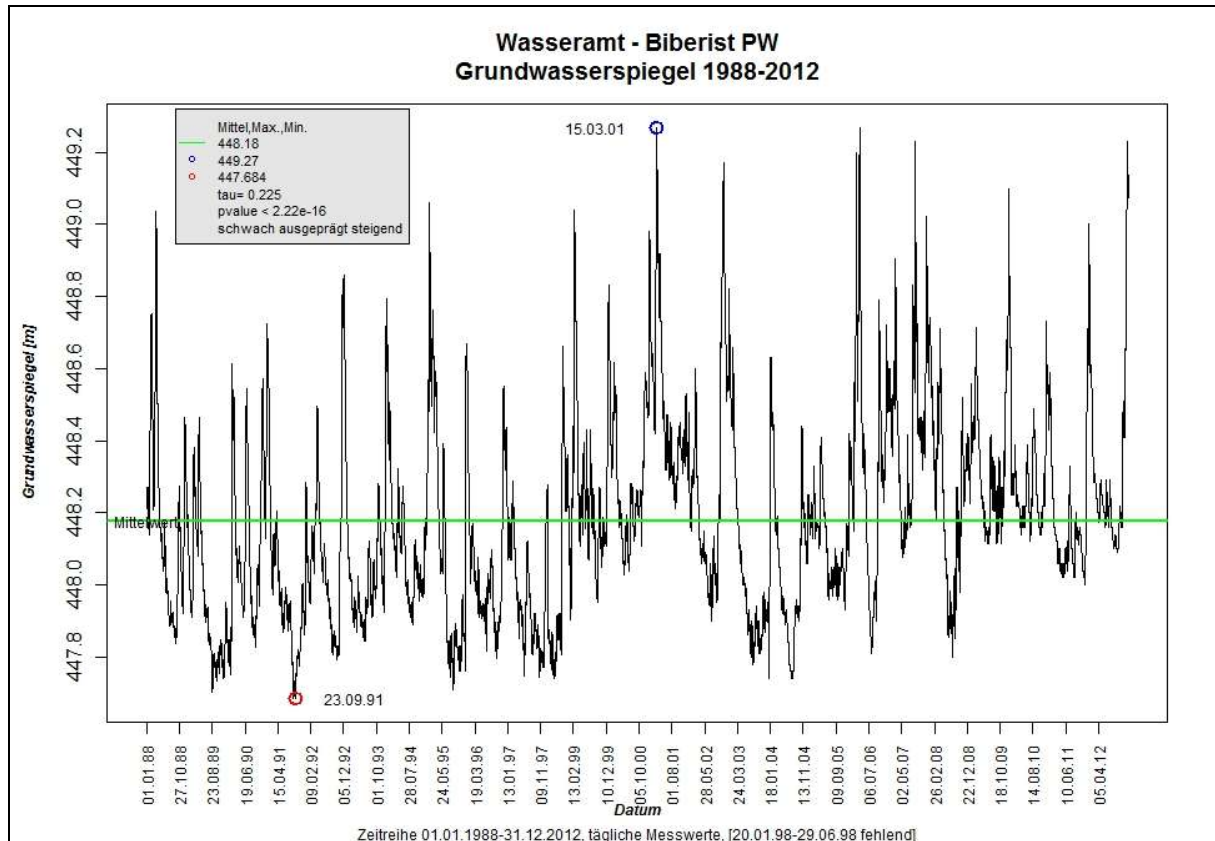


Abbildung 52: Pumpwerk Biberist (Kriegstetten)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
 Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Das Pumpwerk Biberist besitzt eine Messreihe seit dem 01.01.1988. Diese enthält fehlende Daten aus dem Zeitraum vom 20.01. bis zum 29.06.1998. Gelegen ist das Pumpwerk in einem Grundwasserkörper mit einer Mächtigkeit zwischen 10m und 20m.

In den Jahren der Aufzeichnung liegt der Grundwasserspiegel durchschnittlich bei 448.18m. Der höchste Grundwasserspiegel misst 449.27m, datiert am 15.03.2001. Am 23.09.1991 ist der niedrigste Grundwasserpegel mit 447.68m eingetreten. Daraus ergibt sich eine Differenz von 1.59m.

Im Grundwassergang ist ein signifikanter positiver Trend errechnet worden. Der Spiegel ist mit einem tau-Wert von 0.225 ($p < 2.22e-16$) schwach ausgeprägt steigend. Die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt unter 1%.

Es lässt sich erkennen, dass die Pegelstände seit dem Jahr 1999 insgesamt höher liegen und seltener in das tiefe Niveau vorheriger Messungen hereinreichen. Zudem sind die Spiegelspitzen höher gelegen. In diesem Zeitraum ist das Trockenjahr 2003, und vermutlich dessen anhaltende Einwirkung, bis ins regenreiche Jahr 2006 mit einer Phase niedrigen Pegels ersichtlich.

Dahingegen ist das Trockenjahr 2011 nicht durch einschlägige Tiefstwerte gekennzeichnet.

8.6.6 Linnigraf Eichholz (Kriegstetten)

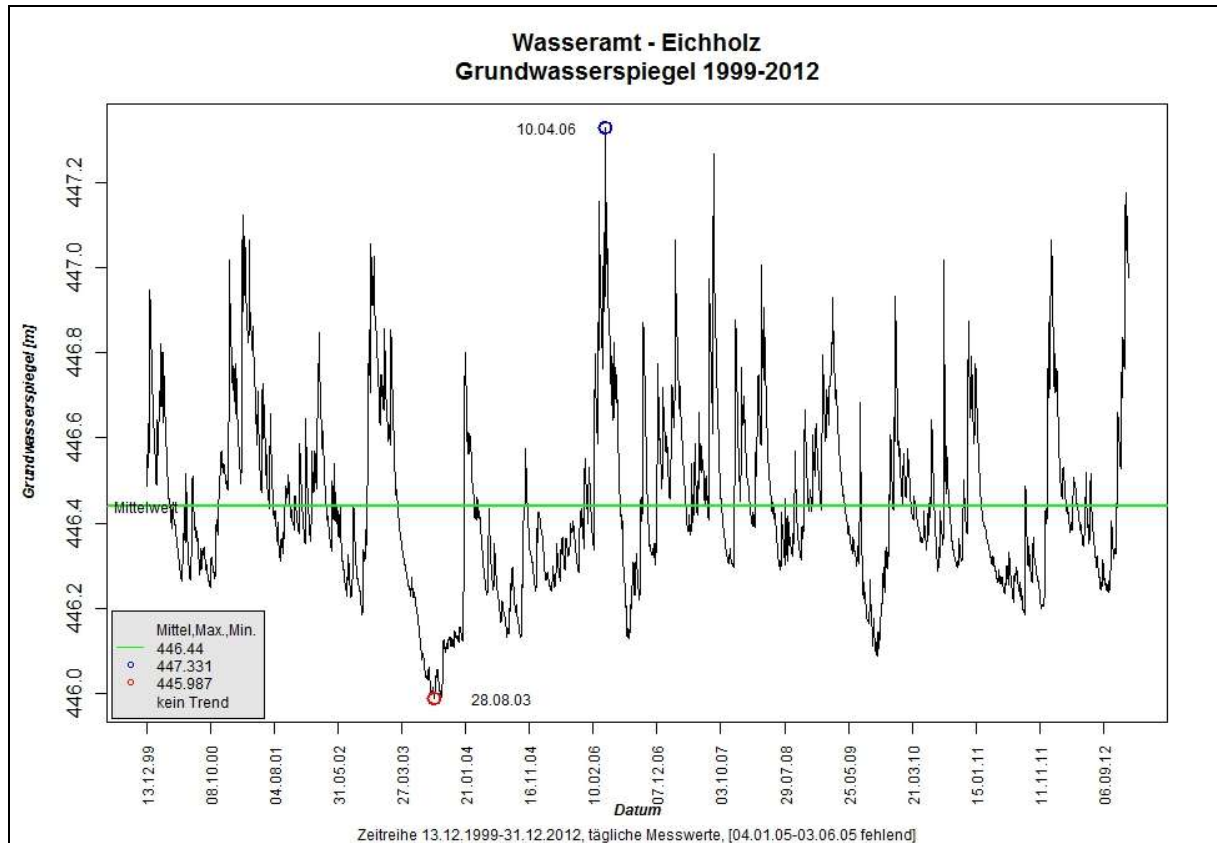


Abbildung 53: Linnigraf Eichholz (Kriegstetten)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Der Grundwasserkörper des Areals Eichholz wird seit dem 13.12.1999 gemessen. Er hat eine Mächtigkeit zwischen 2m und 10m. Aus dem Jahre 2005 fehlen die Daten der Tage vom 04.01. bis zum 03.06..

446.44m beträgt der Grundwasserspiegel im Mittel. Der Höchstspiegel liegt bei 447.33m und ist am 10.04.2006 verzeichnet. 1.34m tiefer, am 28.08.2003, befindet sich der Tiefststand mit 445.99m.

Die Ganglinie ist gekennzeichnet mit ausgedehnten Spiegelphasen, welche die vorherrschenden Wetterverhältnisse wiederzugeben scheinen. Sehr gut erkennbar in den Trockenjahren 2003 (Minimum) und 2011, sowie im niederschlagsreichen Jahr 2006 (Maximum).

Einen Trend hat die Analyse nicht ergeben.

8.6.6.1 Grundwassertemperatur Eichholz (Kriegstetten)

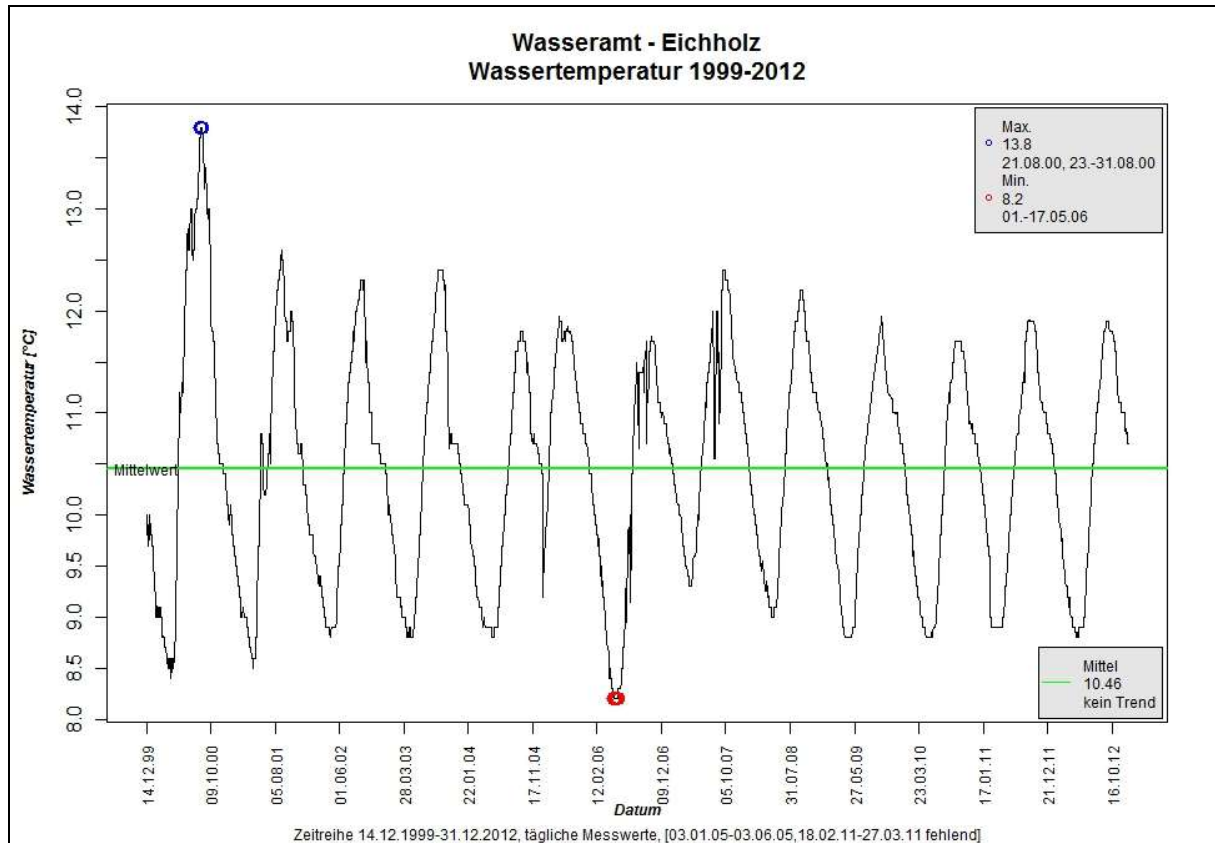


Abbildung 54: Grundwassertemperatur Eichholz (Kriegstetten)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Einen Tag später als die Pegelmessung beginnt die Datierung der Grundwassertemperatur in Eichholz, am 14.12.1999. In dieser Messreihe fehlen die Daten der Zeiträume vom 03.01. bis zum 03.06.2005 und vom 18.02. bis 27.03.2011.

Das Temperaturmittel des Grundwasserkörpers liegt bei 10.46°C. Die Höchsttemperatur mit 13.8°C ist an den Tagen des 21. und 23. bis 31.08.2000 gemessen worden. 8.2°C misst das Temperaturminimum im Zeitraum vom 01. bis 17.05.2006. Das ergibt einen 5.6°C grossen Temperaturschwankungsbereich.

Im Temperaturverlauf sind relativ gleichmässige, periodische Abfolgen hoher und niedriger Temperatur sichtbar. In der Ganglinie gibt es keinen Trend.

8.6.7 Pumpwerk Dörnischlag (Luterbach)

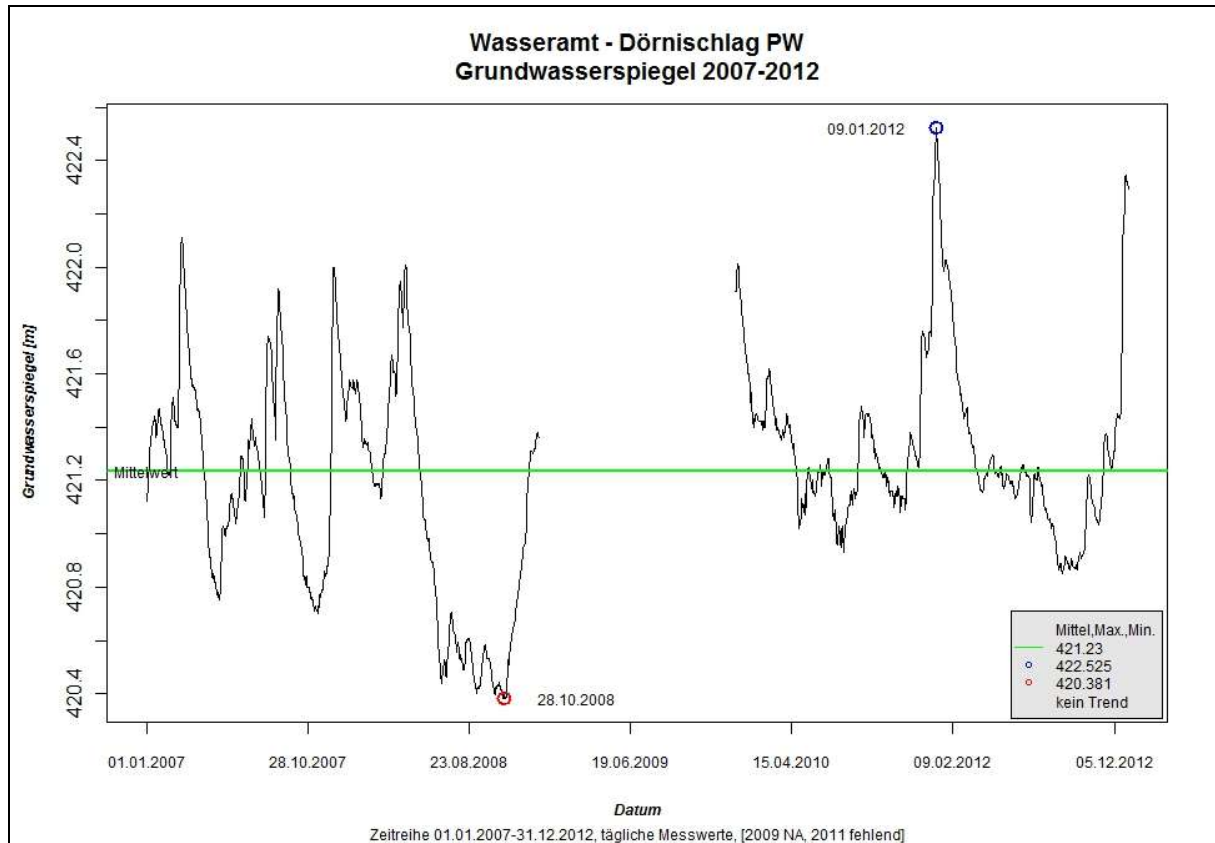


Abbildung 55: Pumpwerk Dörnischlag (Luterbach)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

In einem Grundwasserkörper mit einer 20m bis 30m grossen Mächtigkeit befindet sich der das Pumpwerkes Dörnischlag, direkt angrenzend an einen 30m-40m mächtigen Grundwasserkörper. Die Zeitreihe beginnt im Jahre 2007 (01.01.). Es gibt fehlerhafte Daten des ganzen Jahres 2009, vorkommend als NAs (Not Available). Diese treten in Form von Lücken in der Ganglinie auf. Nicht vorhanden sind zudem die Daten des Jahres 2011.

Damit reduzieren sich die verfügbaren Daten auf vier Jahre.

In diesen Jahren befindet sich der mittlere Grundwasserspiegel bei 421.23m. Das Maximum liegt bei 422.53m (09.01.2012) und das Minimum bei 420.38m (28.10.2008).

Somit hat der Grundwasserspiegel einen Schwankungsbereich von 2.14m.

Der Grundwasserpegel befindet sich nach der Datenlücke aus dem Jahre 2009 tendenziell auf einem höheren Niveau, als in dem Zeitraum davor. Dieser Unterschied erklärt warum kein Trend in der Zeitreihe vorhanden ist.

8.6.8 Pumpwerk Ruchacker (Luterbach)

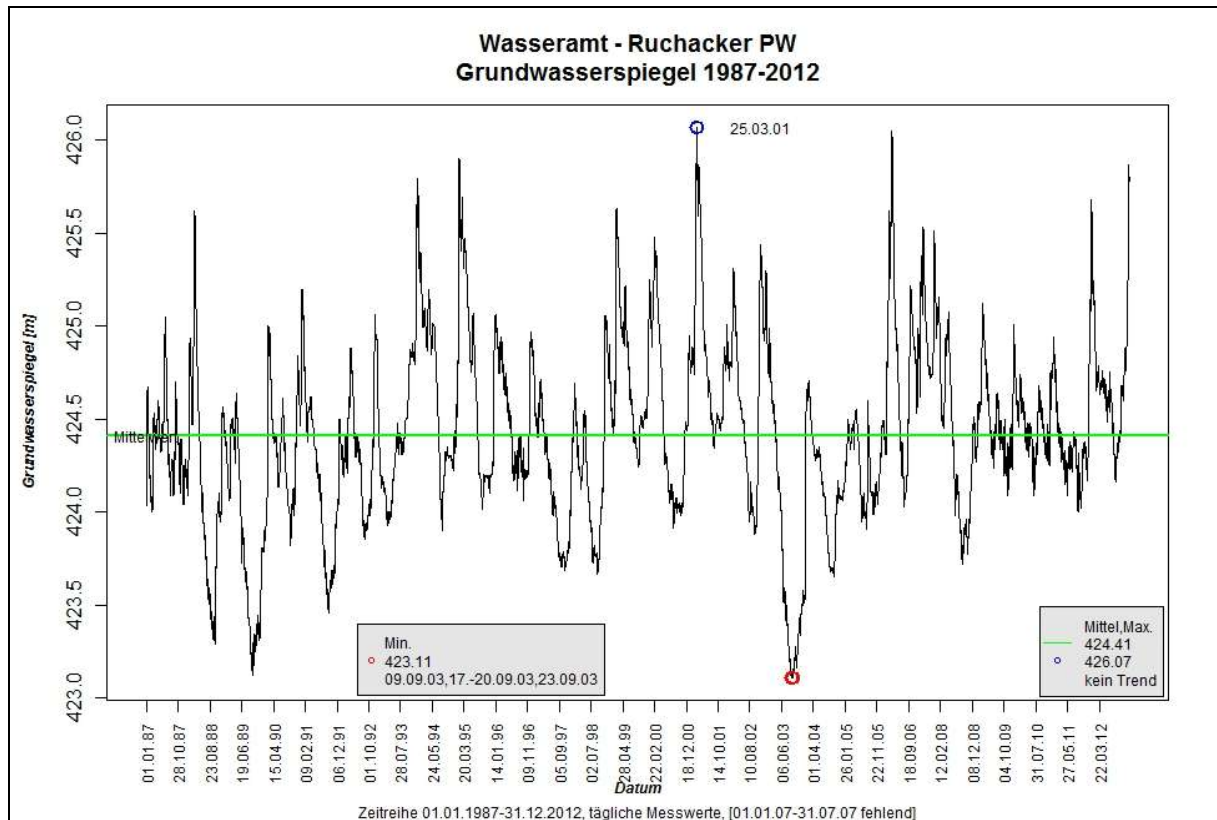


Abbildung 56: Pumpwerk Ruchacker (Luterbach)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Das Pumpwerk Ruchacker befindet sich in einem 30m bis 40m mächtigen Grundwasserkörper. Die Datierung des Grundwasserspiegels erfolgt seit dem 01.01.1987, wobei es keine Werte für den Zeitraum vom 01.01. bis 31.07.2007 gibt.

Bei 424.41m befindet sich der Grundwasserspiegel im Durchschnitt über die Jahre. Am 25.03.2001 ist der Maximumpegel mit 426.07m verzeichnet. Im meteorologisch markanten Jahr 2003 liegt der niedrigste Pegel mit 423.11m, datiert am 09.09.2003, an den Tagen vom 17.09. bis 20.09.2003 und am 23.09.2003. Daraus ergibt sich ein Differenzbereich von 2.96m. Das Trockenjahr 2011 befindet sich in einem Bereich der sich durch geringe Schwankungen auszeichnet, im Vergleich zu der ansonsten unregelmässig verlaufenden Ganglinie. Zudem liegt das Niveau der Niedrigspiegel seit dem Jahre 2008 höher. Die geringeren Schwankungen und die Verschiebung des Tiefstandniveaus sind *voraussichtlich* zurückzuführen auf die Schliessung der Cellulosefabrik.

Es ist kein Trend in der Zeitreihe errechnet worden.

8.6.8.1 Linnigraf Wylihofstrasse (Luterbach)

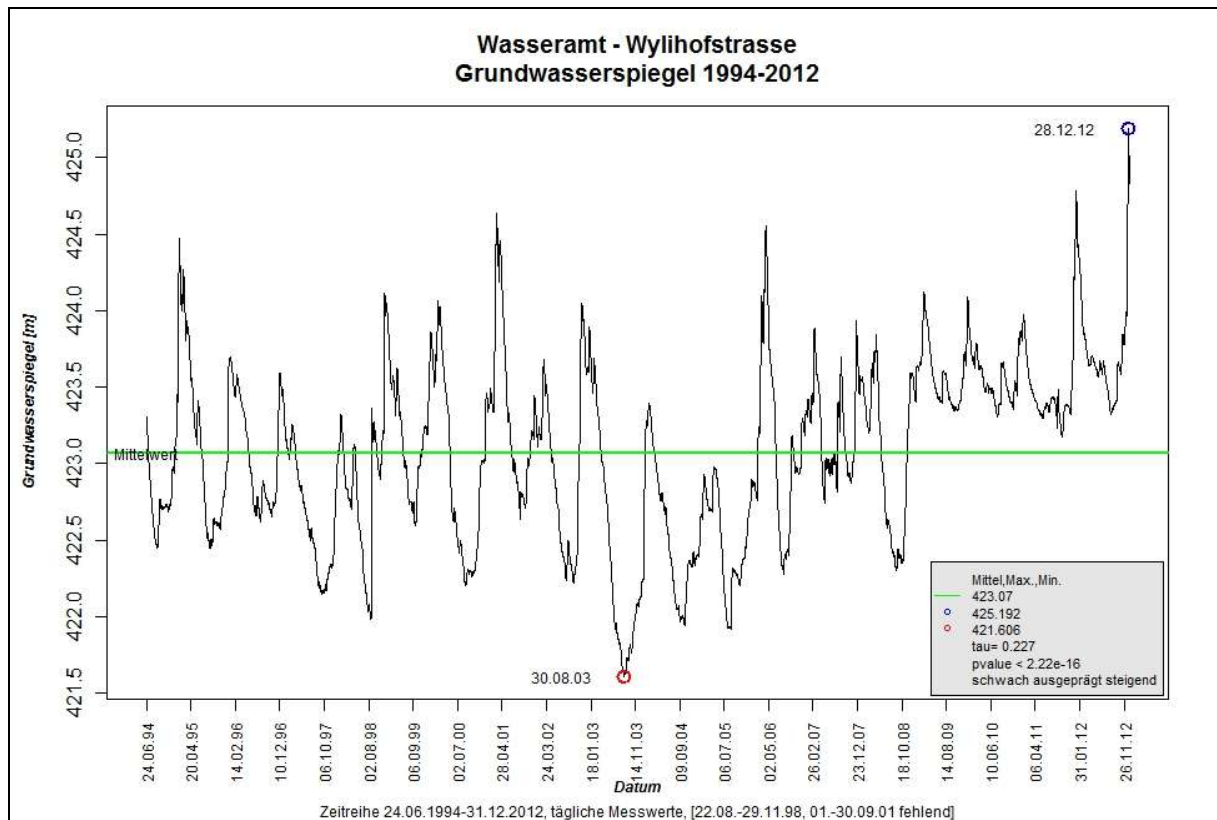


Abbildung 57: Linnigraf Wylihofstrasse (Luterbach)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
 Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Seit dem 24.06.1994 wird der Pegel des 2m bis 10m mächtigen Grundwasserkörpers der Station Wylihofstrasse verzeichnet. Es gibt fehlende Daten aus den Zeiträumen vom 22.08. bis 29.11.1998 und vom 01.09. bis 30.09.2001.

423.07m misst der Grundwasserspiegel im Durchschnitt. Der höchste Pegel mit 425.19m ist am 28.12.2012 datiert. Aus dem Jahrhundertsommer 2003 (30.08.) stammt der tiefste Spiegel bei 421.61m. Von diesem Tiefpunkt ausgehend steigt der Grundwasserspiegel bis zum 3.58m höherliegenden Maximum. Innerhalb dieses Anstiegs gibt es einen Einschnitt durch eine Phase niedrigen Spiegels im Jahr 2008. Nachfolgend liegt der Pegel ausschliesslich über dem Mittelwert. Dieser Anstieg wird mit ein signifikanter positiver Trend ($\tau = 0.227$, $p < 2.22 \times 10^{-16}$), mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1% bezeichnet. Anhand des tau-Wertes ist der Spiegel schwach ausgeprägt steigend.

8.6.8.2 Grundwassertemperatur Wylihofstrasse (Luterbach)

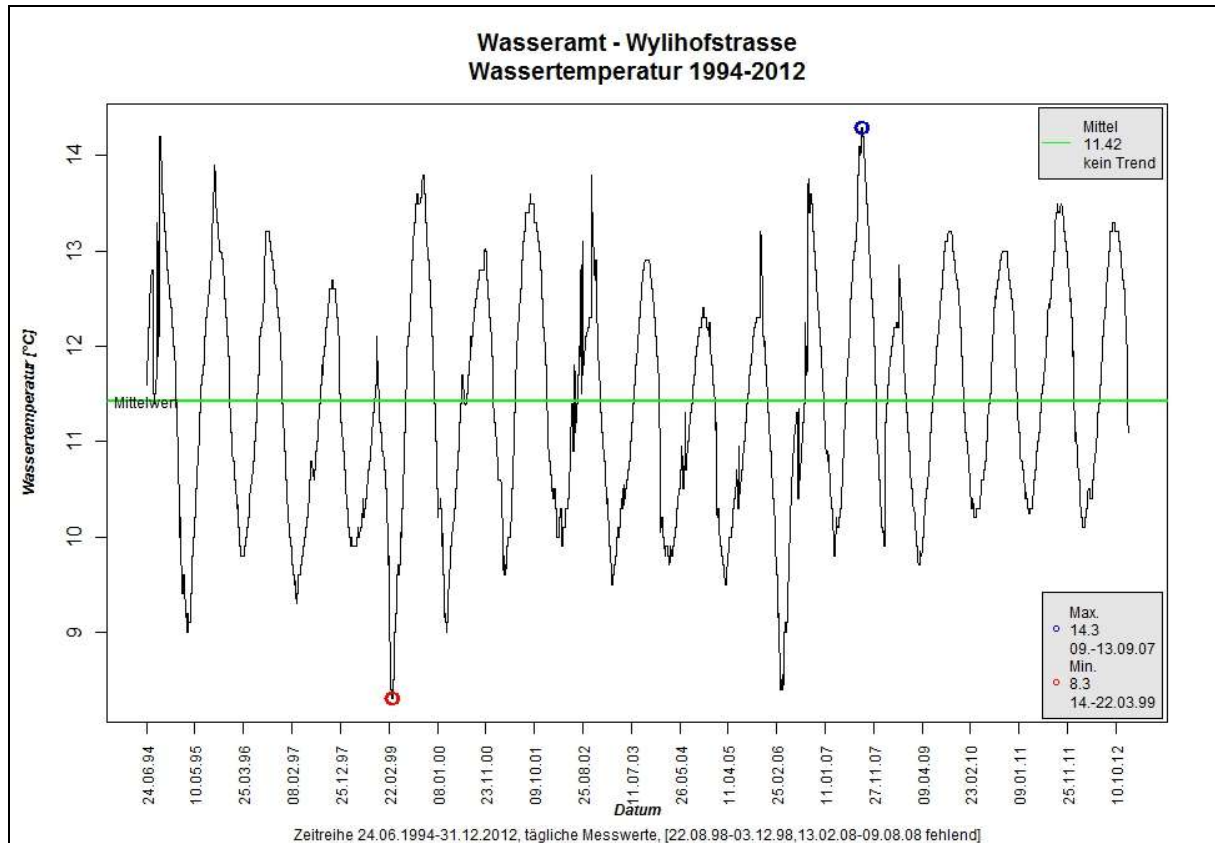


Abbildung 58: Grundwassertemperatur Wylihofstrasse (Luterbach)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Die Grundwassertemperaturzeitreihe der Wylihofstrasse gibt es ebenfalls seit dem 24.06.1994. In der Messreihe fehlen die Werte vom 22.08. bis 03.12.1998 und vom 13.02. bis 09.08.2008. Das Temperaturmittel im Grundwasserkörper liegt bei 11.42°C. An den Tagen vom 09.09. bis 13.09.2007 ist die Maximumtemperatur mit 14.3°C verzeichnet. Der Tiefstwert mit 8.3°C ist in der Zeitspanne vom 14.03. bis 22.03.1999 gemessen worden. Einen damit vergleichbaren tiefen Peak gibt es im Frühjahr 2006.

Mit einer 6°C hohen Temperaturamplitude hat die Wylihofstrasse die grösste Differenz unter den Wassertemperaturzeitreihen.

Im langjährigen periodischen Verlauf erfolgen die Jahrgänge mit unterschiedlichen Temperaturschwankungen, meist in einem Bereich von 3°C.

Die Analyse hat keinen Trend ermittelt.

8.6.8.3 Pumpwerk XI (Luterbach)

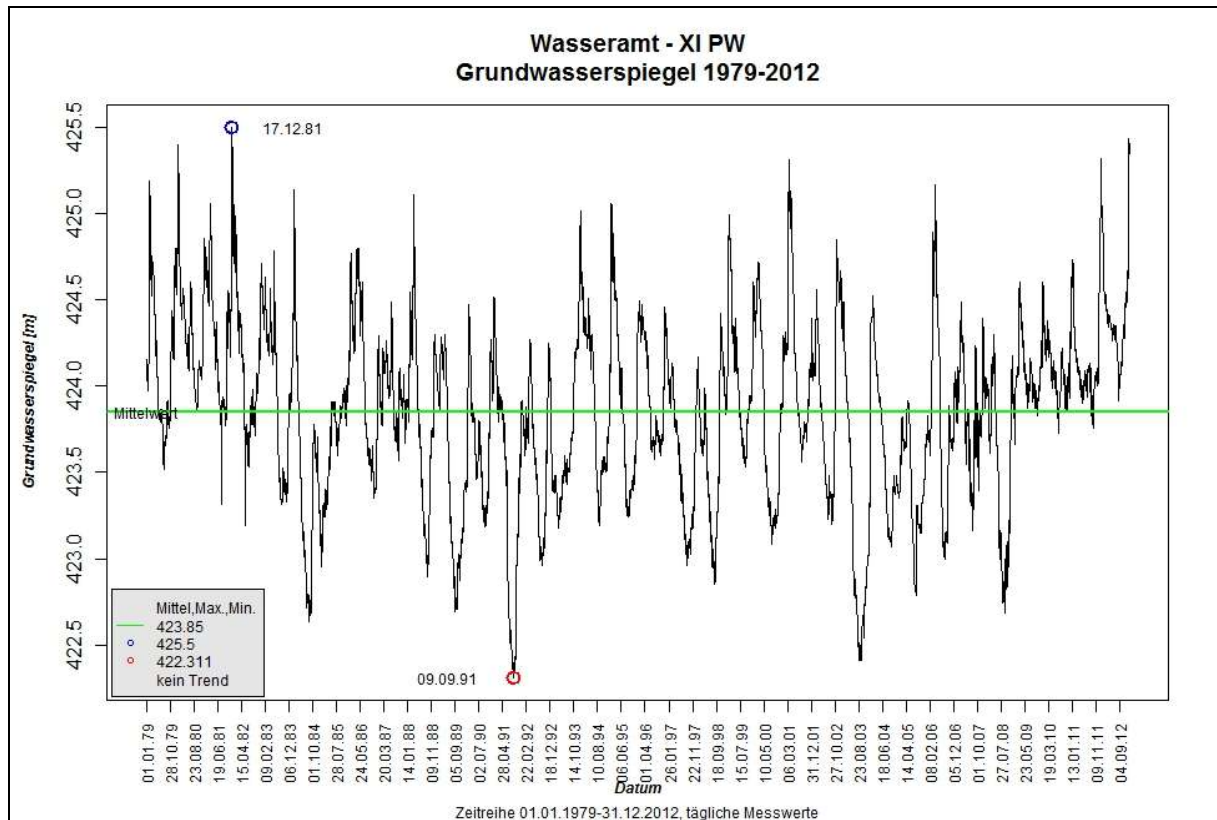


Abbildung 59: Pumpwerk XI (Luterbach)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Das Pumpwerk XI befindet sich in einem 20m bis 30m mächtigen Grundwasserkörper. Die am 01.01.1979 beginnende Grundwasserspiegelmessreihe gehört mit zu den ältesten im Kanton. Bei 423.85m liegt das langjährige Mittel des Grundwasserspiegels. Der Schwankungsbereich des Pegels beträgt 3.19m. Am 17.12.1981 ist der Maximumpegel mit 425.5m datiert und am 09.09.1991 der Minimumpegel mit 422.31m. Der Tiefstwert aus dem Trockenjahr 2003 nähert sich dem Niveau des Minimums an. Nach einer weiteren niedrigen Phase im Spätsommer und Herbst 2008 steigt der Grundwasserspiegel bis über den Mittelwert hinaus an. Innerhalb dieses Anstiegs fallen zwei Peaks, einer aus dem Jahr 2010 und einer aus dem Trockenjahr 2011, rund 0.1m bis 0.2m unterhalb des Mittels.

Der zu beobachtende Anstieg ab dem Jahre 2008 ist *voraussichtlich* zurückzuführen auf die Schliessung der Cellulosefabrik.

Einen Trend gibt es nicht in der Zeitreihe.

8.6.9 Linnigraf Obergerlafingen (Obergerlafingen)

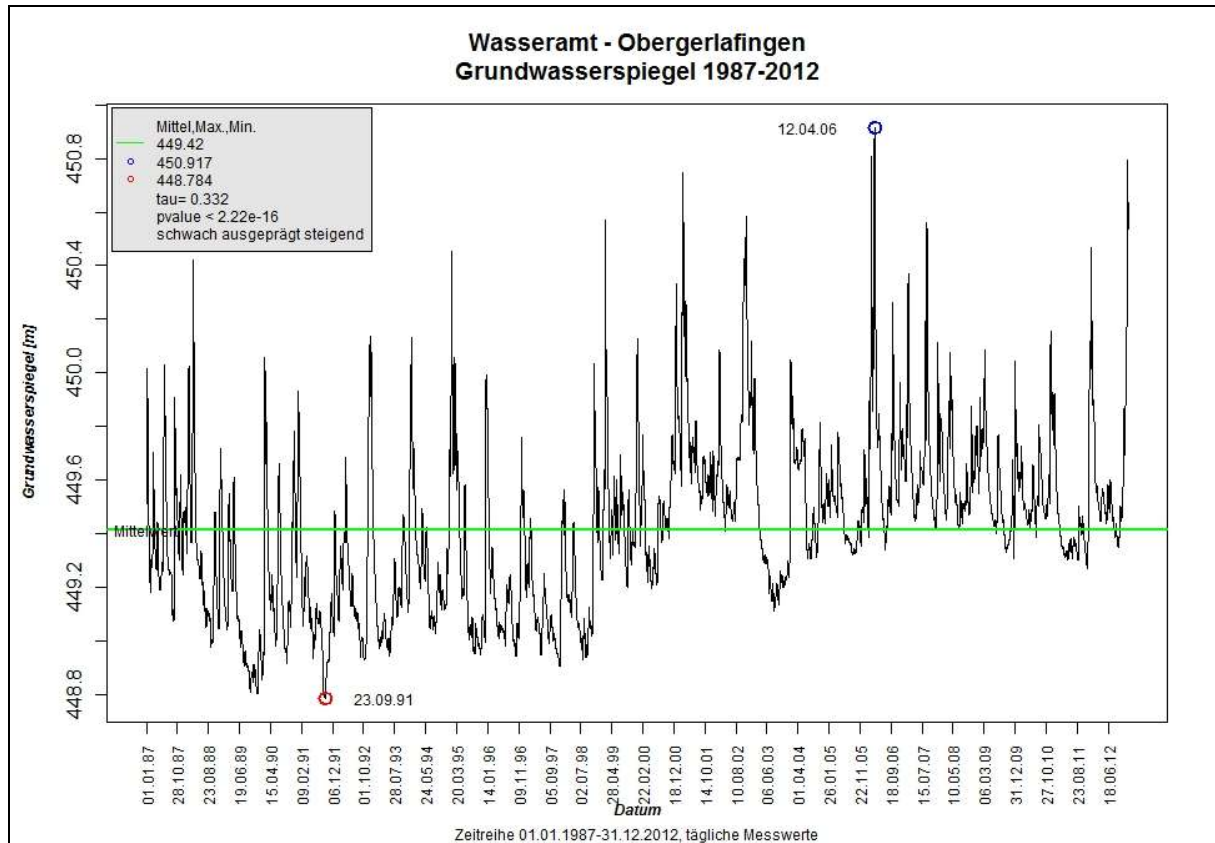


Abbildung 60: Linnigraf Obergerlafingen (Obergerlafingen)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,

Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Die Messreihe aus dem 10m-20m mächtigen Grundwasserkörper in Obergerlafingen beginnt am 01.01.1987.

Im Mittel liegt der Grundwasserspiegel bei 449.42m. Innerhalb des niederschlagsreichen Jahres 2006 ist der höchste Pegel mit 450.92m, am 12.04., gemessen worden. 2.14m tiefer befindet sich der niedrigste Pegel mit 448.78m, datiert am 23.09.1991.

Ab dem Jahre 1999 ist ein Anstieg des Grundwasserspiegels zu erkennen. In diesem Bereich ab 1999 sind die Trockenjahre 2003 und 2011 mit ausgedehnten Phasen niedrigen Spiegels gekennzeichnet, wobei das Jahr 2003 die niedrigsten Werte erreicht. Allerdings liegen die Tiefstwerte aus den Jahren vor 1999 zumeist rund 0.2m unterhalb der Werte aus 2003.

Der sichtbare Anstieg in der Ganglinie wird mit einem signifikanten positiven Trend ($\tau = 0.332$, $p < 2.22e-16$) und einer Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1% bestätigt. Schwach ausgeprägt steigend ist der Grundwasserspiegel in Obergerlafingen.

8.6.9.1 Grundwassertemperatur Obergerlafingen (Obergerlafingen)

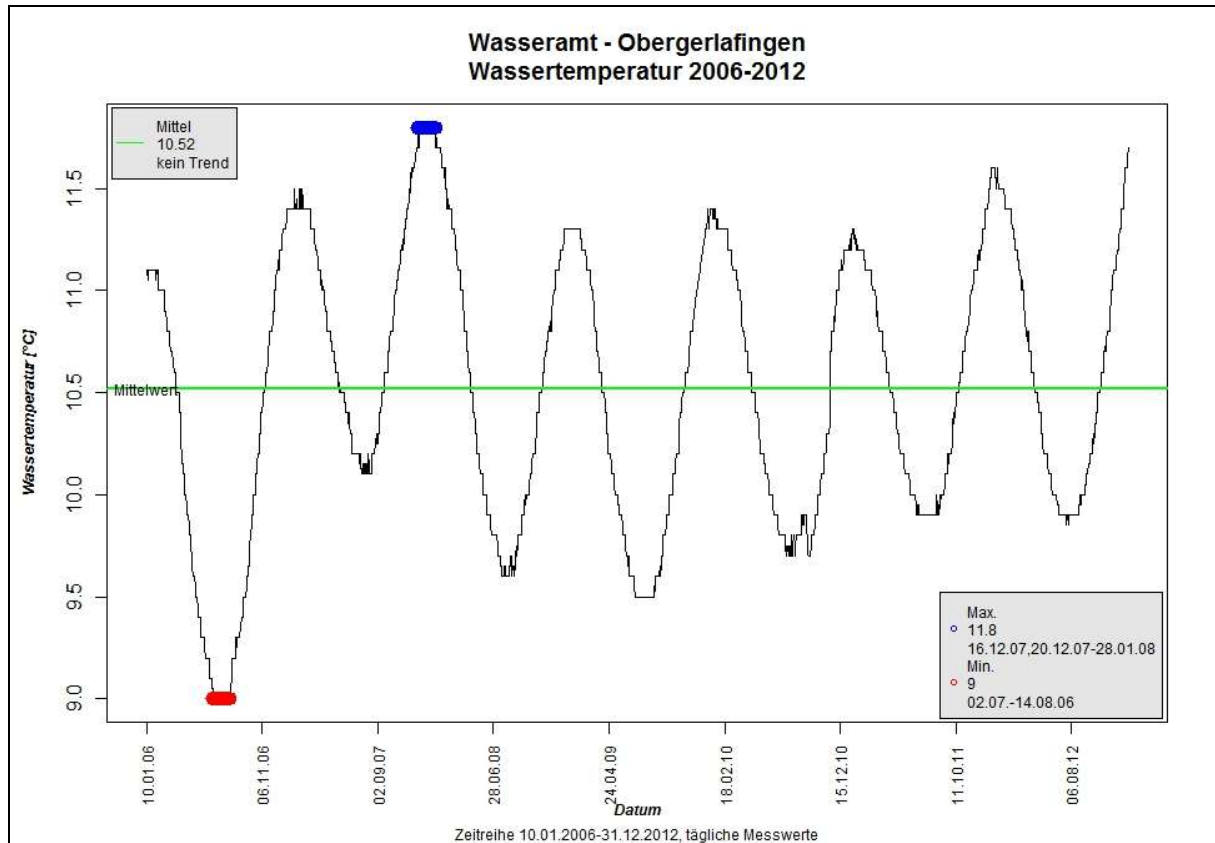


Abbildung 61: Grundwassertemperatur Obergerlafingen (Obergerlafingen)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Seit dem 10.01.2006 gibt es die Temperaturmessreihe im Grundwasserkörper in Obergerlafingen. 10.52°C misst die mittlere Temperatur. Die Höchsttemperatur mit 11.8°C ist am 16.12.07 und im Zeitraum vom 20.12.2007 bis 28.01.2008 gemessen worden. 9°C beträgt die Minimumtemperatur, eingetreten an den Tagen vom 02.07. bis 14.08.2006. Damit beträgt die Temperaturdifferenz 2.8°C.

Der Temperaturgang hat einen periodischen Verlauf, sich durch Jahresgänge auszeichnend. Die ersten zwei Jahre weichen durch die Höchst- und Niedrigtemperaturen von dem relativ gleichmässigen Temperaturverlauf seit dem Jahre 2008 ab. Allerdings ist die Tendenz eines leichten Temperaturanstiegs seit dem Jahre 2009 zu beobachten. Erkennen lässt sich dies durch steigende Temperaturen der Jahresmaxima und -minima. Einen Trend gibt es nicht.

8.6.10 Pumpwerk Tannwald (Obergerlafingen)

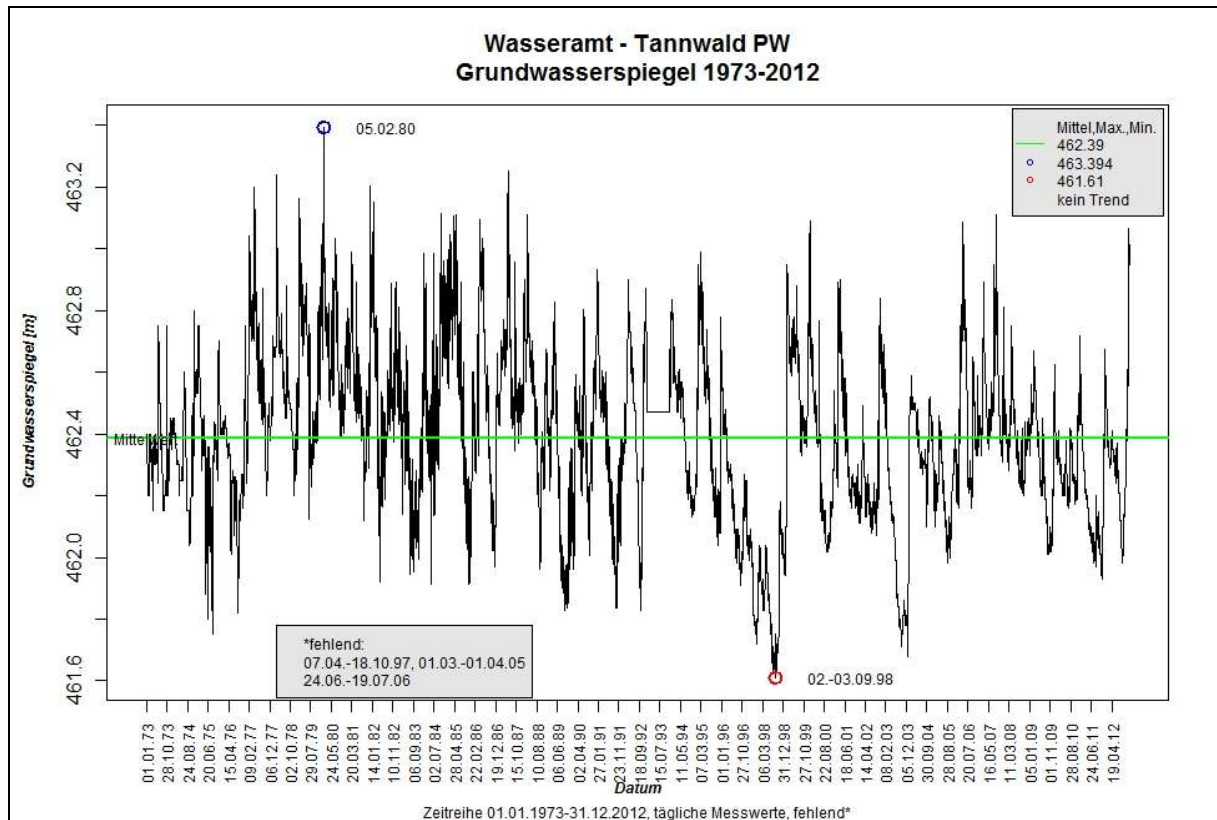


Abbildung 62: Pumpwerk Tannwald (Obergerlafingen)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Das Pumpwerk Tannwald befindet sich in einem Grundwasserkörper mit einer Mächtigkeit zwischen 10m und 20m. Seit dem 01.01.1973 wird die Messreihe über den Grundwasserstand geführt. Es gibt keine Daten aus den Zeiträumen vom 07.04. bis 18.10.1997 und vom 01.03. bis 01.04.2005.

Bei 462.39m befindet sich das Langzeitmittel des Grundwasserspiegels. Den höchsten Pegel, mit 463.39m, hat das Grundwasser am 05.02.1980. Das Pegelminimum liegt 1.78m unterhalb bei 461.61m, an den beiden Tagen des 02.09. und 03.09.1998. Der Zeitraum von 1996 bis 1998 zeichnet sich durch eine ausgedehnte Niedrigspiegelphase aus, die durchgängig unter dem langjährigen Mittel liegt. Der Tiefstwert aus dem Jahre 2003 reicht annähernd an das Minimum aus 1998 heran. Nach einer Grundwasserzunahme im Jahre 2006 sinkt die Ganglinie von dort an bis zum Trockenjahr 2011, das in dieser Phase den tiefsten Bereich darstellt. Es schließt sich ein Anstieg im Jahre 2012 an. Im Verlauf des Pegels ist zu erkennen, dass die Schwankungsbereiche zwischen Hoch- und Tiefständen ab dem Jahre 1993 geringer werden. Nach jeder Erholung des Grundwassers ist ein erneutes Absinken sichtbar, innerhalb dessen die Phasen der Niedrigstände längere Zeiträume umfassen, als es vor den Jahren 1993 der Fall war.

In der Ganglinie gibt es keinen Trend.

8.6.11 Pumpwerk Erlenmoos (Rechterswil)

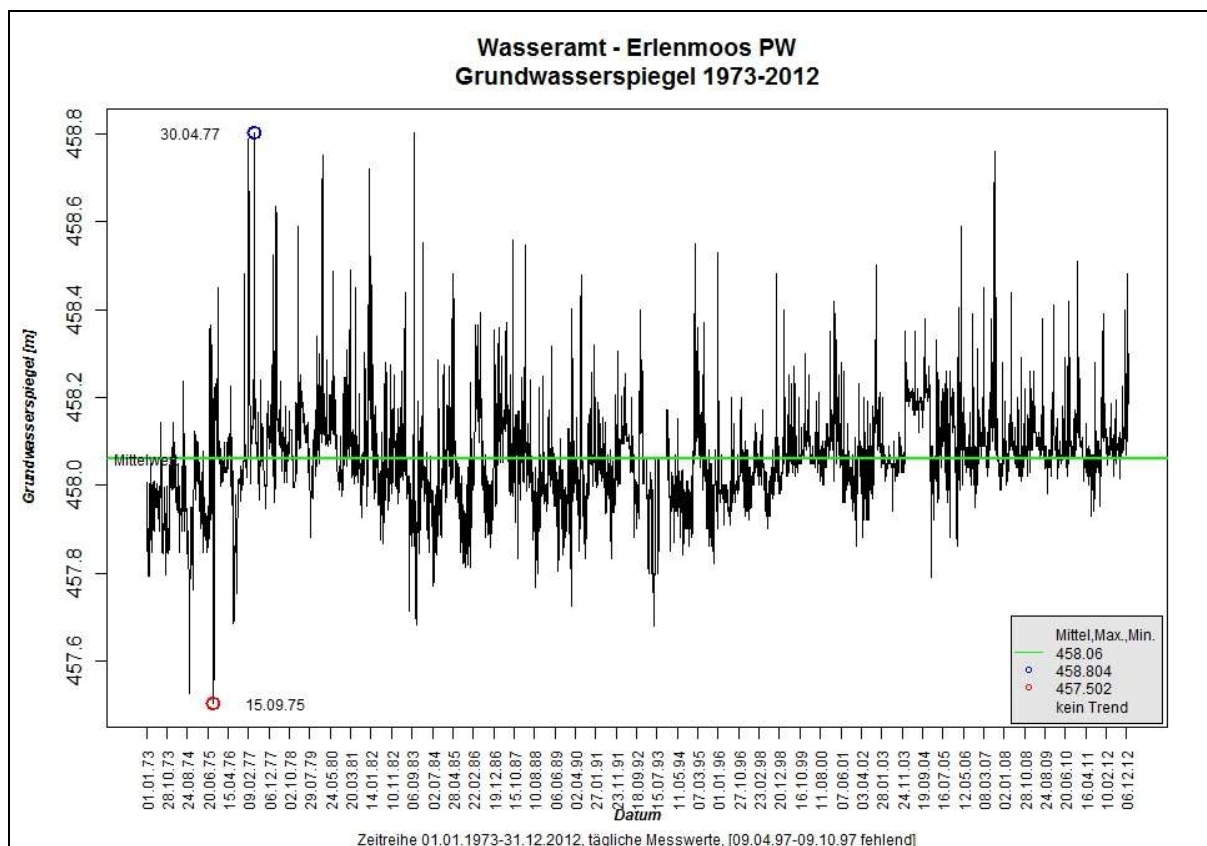


Abbildung 63: Pumpwerk Erlenmoos (Rechterswil)
x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Der Standort Erlenmoos befindet sich in einem 2m bis 10m mächtigen Grundwasserkörper. Im dem Pumpwerk wird der Grundwasserstand seit dem 01.01.1973 verzeichnet. Damit ist die Zeitreihe eine der ältesten im Kanton. Aus dem Zeitraum vom 09.04. bis 09.10.1997 fehlen die Messdaten.

Das langjährige Mittel des Grundwasserspiegels liegt bei 458.06m. Sowohl das Maximum mit 458.8m (30.04.1977), als auch das Minimum mit 457.5m (15.09.1975) stammen aus den 70er Jahren. Die 39jährige Ganglinie zeigt einen relativ gleichmässigen Verlauf, mit geringfügigen Anstiegs- und Abstiegsphasen, innerhalb eines Schwankungsbereiches von 1.3m.

Die Niedrigphasen der Trockenjahre 2003 und 2011 sind vorhanden, allerdings unscheinbar in dem langzeitlichen Verlauf.

Es ist keinen Trend in der Zeitreihe ermittelt worden.

8.6.12 Linnigraf RKO (Rechterswil)

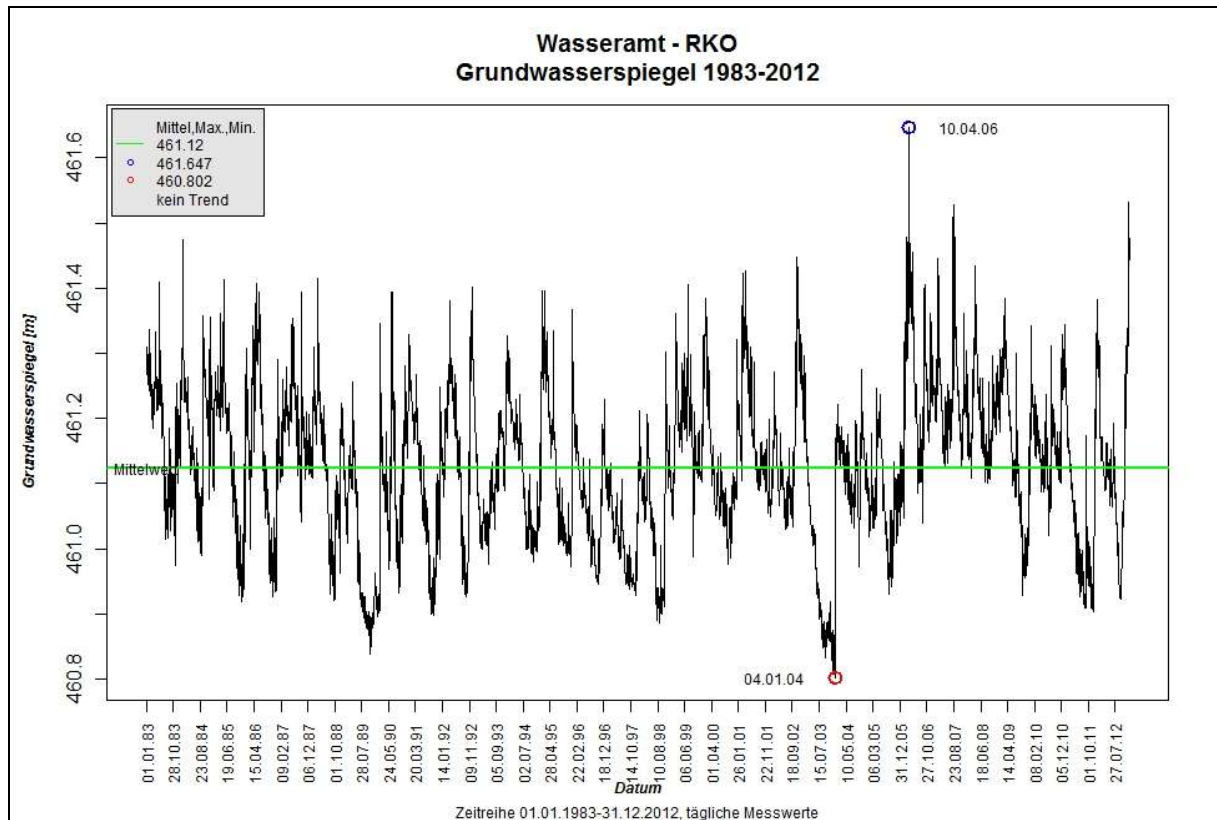


Abbildung 64: Linnigraf RKO (Rechterswil)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Die Messstelle RKO ist in einem Grundwasserkörper mit einer Mächtigkeit zwischen 10m und 20m gelegen. Seit dem 01.01.1983 wird dort der Grundwasserspiegel verzeichnet. Dieser liegt im Mittel bei 461.12m und hat einen geringen Schwankungsbereich von 0.85m. Mit 461.65m ist der höchste Grundwasserspiegel im niederschlagsreichen Jahr 2006, am 10.04., gemessen worden. Der Tiefststand bei 460.8m liegt am Ende der Niedrigphase des Jahrhundertssommers 2003, ist allerdings am 04.01.2004 datiert. Im Trockenjahr 2011 ist ebenfalls eine Phase niedrigen Pegels zu erkennen, jedoch reicht diese nicht in das Niveau von 2003.

Im dem relativ gleichmässig Verlauf gibt es Bereiche, in denen das Grundwasser nachfolgend tieferliegende Pegel zeigt. Dies gilt für die Jahre von 1994 bis 1998 und ab 2006 bis 2011.

Die Analyse hat keinen Trend ermittelt.

8.6.12.1 Grundwassertemperatur RKO (Rechterswil)

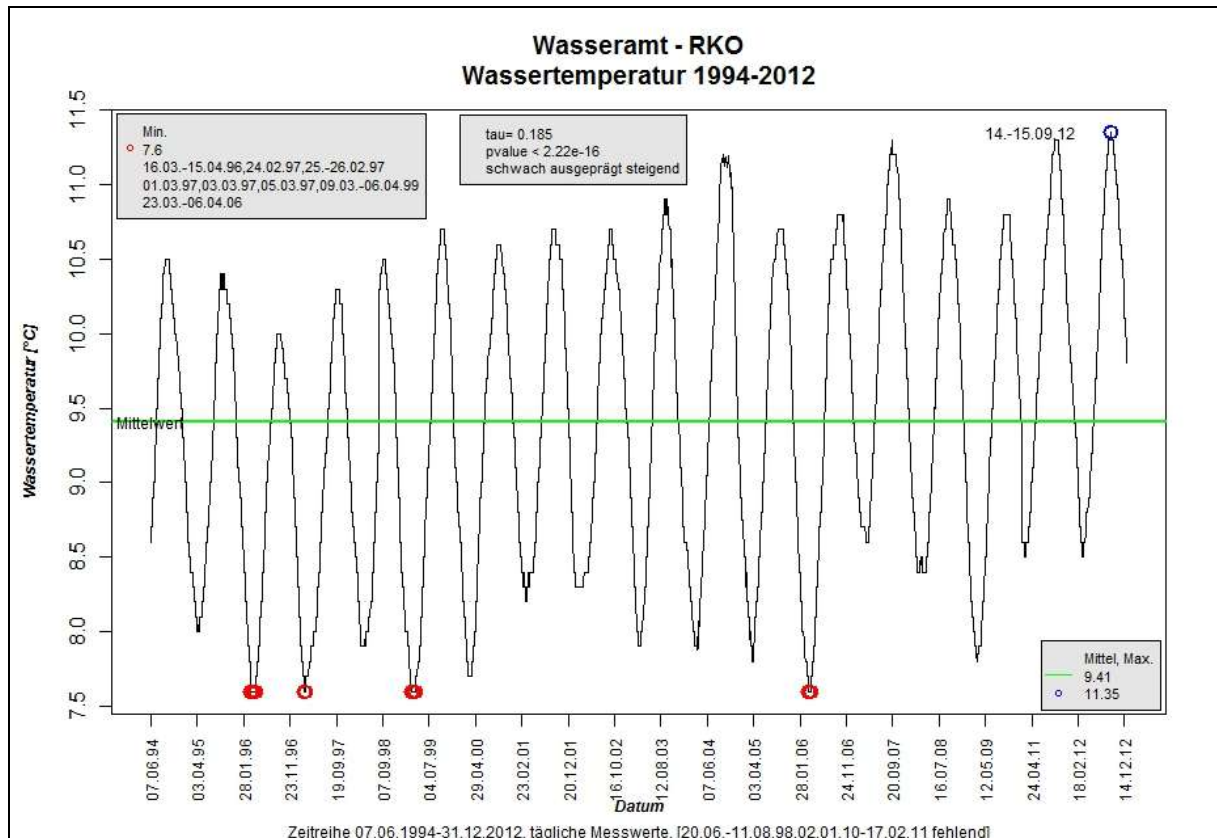


Abbildung 65: Grundwassertemperatur RKO (Rechterswil)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C,
 Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Zu der Messung des Grundwasserpegels kommt seit dem 07.06.1994 die Messung der Wassertemperatur hinzu. Es gibt fehlende Daten aus den Zeiträumen vom 20.06. bis 11.08.1998 und vom 02.01.2010 bis 17.02.2011.

Das langjährige Temperaturmittel beträgt 9.41°C. Bei 11.35°C liegt die Höchsttemperatur, gemessen an den beiden Tagen des 14.09. und 15.09.2012. 7.6°C misst die tiefste Temperatur, welche an verschiedenen Tagen und Zeiträumen der Jahre 1996, 1997, 1998 und 2006 verzeichnet ist: 16.03.-15.04.1996, 24.02.1997, 25.-26.02.1997, 01.03.1997, 03.03.1997, 05.03.1997, 09.03.-06.04.1999, 23.03.-06.04.2006.

Die periodisch verlaufende Ganglinie unterliegt Temperaturschwankungen bis zu 3.75°C. Es ist seit 1996 ein leichter Anstieg der Spitzen- und Tiefstwerte zu vernehmen. Dieser wird durch einen signifikanten positiven Trend ($\tau = 0.19$, $p < 2.22 \cdot 10^{-16}$), mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1%, bestätigt. Schwach ausgeprägt steigend ist der Temperaturverlauf.

8.6.13 Linnigraf Stöckleten (Rechterswil)

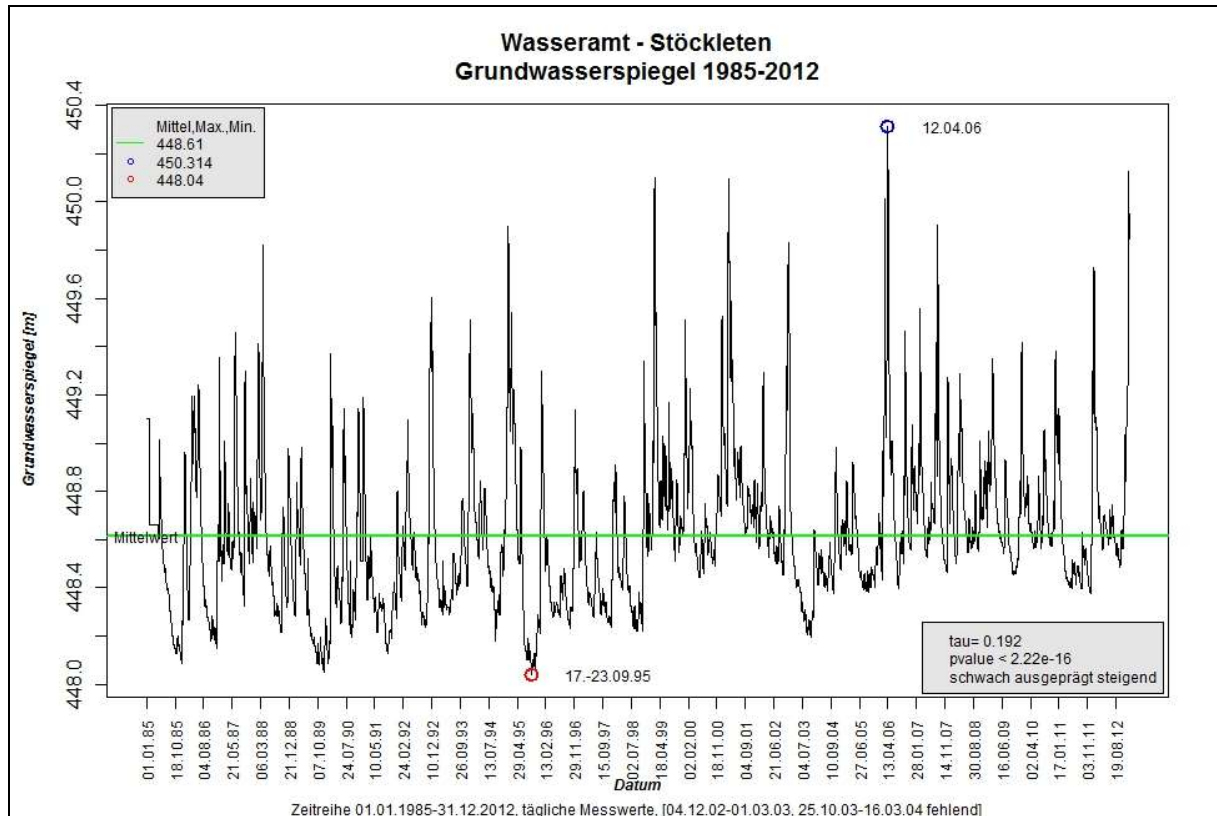


Abbildung 66: Linnigraf Stöckleten (Rechterswil)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
 Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

In einem Grundwasserkörper, mit einer 10m bis 20m grossen Mächtigkeit, wird der Grundwasserspiegel seit dem 01.01.1985 in der Messstation Stöckleten datiert. Aus den Tagen vom 04.12.2002 bis 01.03.2003 und vom 25.10.2003 bis 16.03.2004 fehlen die Daten.

Durchschnittlich misst der Grundwasserspiegel 448.61m. Der höchste Pegel liegt bei 450.31m, verzeichnet im niederschlagsreichen Jahr 2006, am 12.04.. 2.27m unterhalb befindet sich der Tiefstwert bei 448.04m, gemessen an den Tagen vom 17.09. bis 23.09.1995.

Ab dem Jahre 1998 ist ein Anstieg des Grundwassers zu erkennen, innerhalb dessen die tiefste Phase dem Jahrhundertssommer 2003 entspringt. Das Trockenjahr 2011 ist ebenfalls mit einer Phase niedrigen Spiegels zu erkennen. Diese liegt rund 0.20m über dem Pegel aus dem Jahre 2003.

Der vernehmbare Anstieg wird mit einem signifikanten positiven Trend ($\tau = 0.192$, $p < 2.22 \cdot 10^{-16}$) bestätigt und bezeichnet einen schwach ausgeprägt steigenden Grundwasserspiegel. Die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt unter 1%.

8.6.13.1 Grundwassertemperatur Stöckleten (Rechterswil)

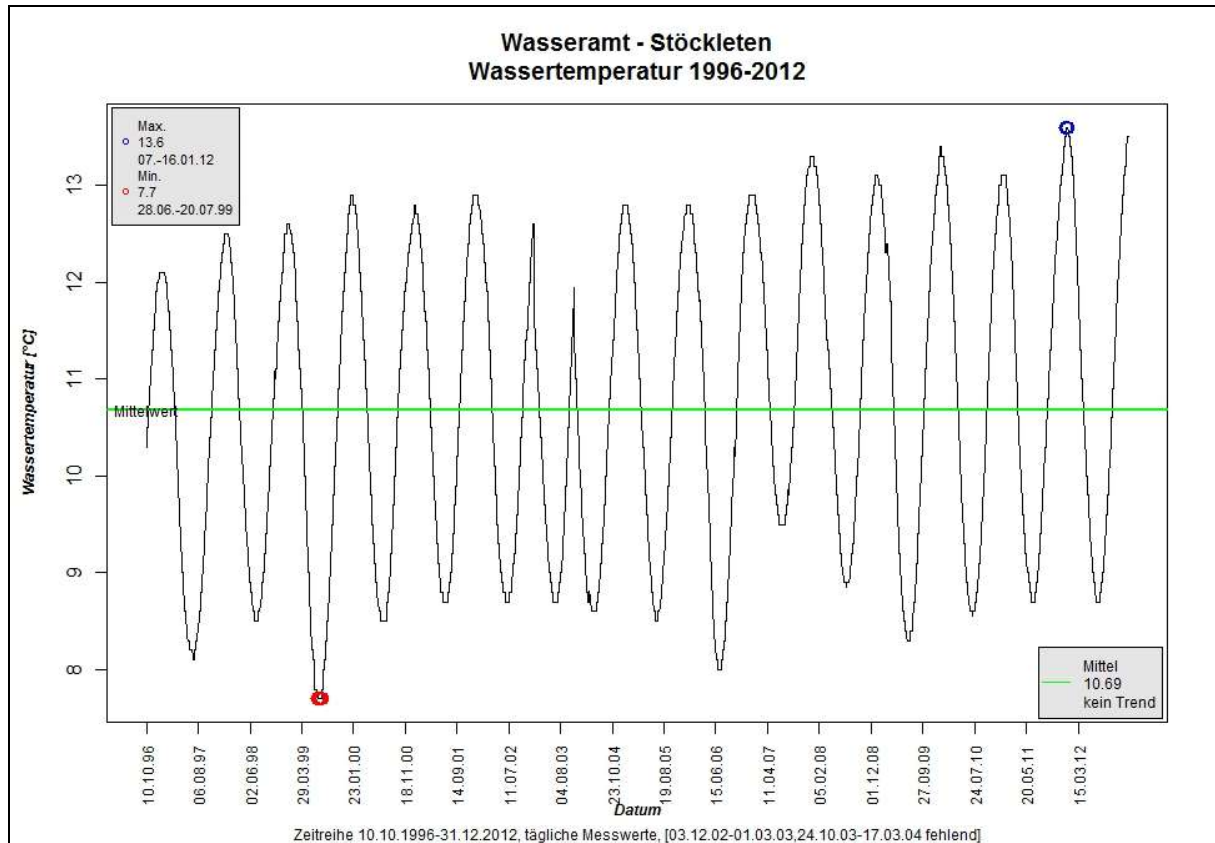


Abbildung 67: Grundwassertemperatur Stöckleten (Rechterswil)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Von der Messstelle Stöckleten gibt es ab dem 10.10.1996 eine Grundwassertemperaturzeitreihe. Diese enthält ebenfalls fehlende Daten vom 03.12.2002 bis 01.03.2003 und vom 24.10.2003 bis 17.03.2004.

Das Temperaturmittel des Grundwasserkörpers liegt bei 10.69°C. Im Zeitraum vom 07.01. bis 16.01.2012 ist die Höchsttemperatur mit 13.6°C verzeichnet und an den Tagen vom 28.06. bis 20.07.1999 die Minimumtemperatur mit 7.7°C. Innerhalb dieses Schwankungsbereiches von 5.9°C verläuft der Temperaturgang periodisch. Dessen Temperaturspitzen steigen seit dem Jahr 2004 leicht an. Ein Trend in der Zeitreihe ist nicht ermittelt worden.

8.6.14 Linnigraf Pfaffenweiher (Subingen)

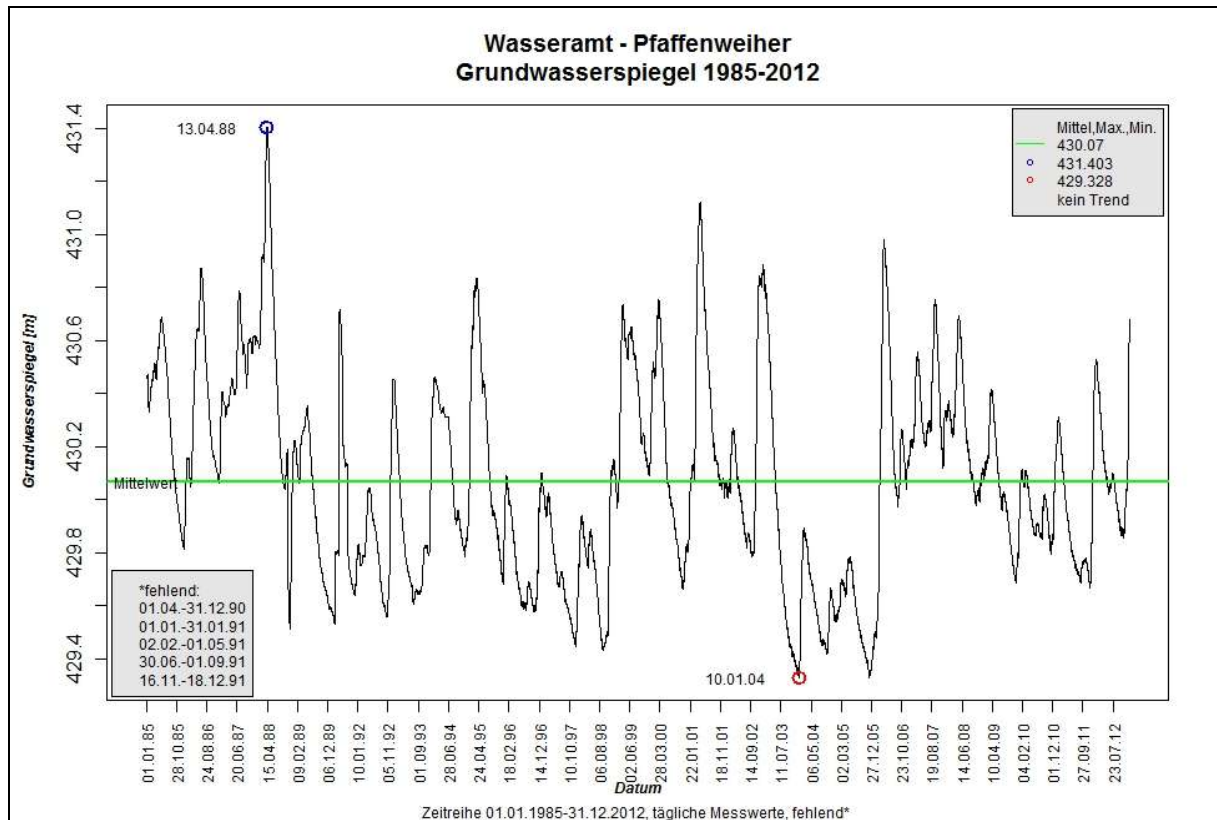


Abbildung 68: Linnigraf Pfaffenweiher (Subingen)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Die Messstation Pfaffenweiher befindet sich in einem Grundwasserkörper mit einer Mächtigkeit zwischen 10m-20m. Seit dem 01.01.1985 wird die Grundwasserzeitreihe geführt, innerhalb derer es fehlende Daten zu Beginn der 90er Jahre gibt, vom 01.04.1990 bis zum 31.01.1991.

Durchschnittlich beträgt der Grundwasserspiegel in den Jahren der Messungen 430.07m und hat einen Schwankungsbereich von 2.07m. Der Spiegelhöchststand liegt bei 431.4m und stammt aus den 80er Jahren (13.04.1988). Bei 429.33m liegt der niedrigste Pegel, gemessen am 10.01.2004.

Dieses Minimum entstammt dem Jahrhundertssommer 2003, dessen Einwirkungen im Grundwasserstand durch eine Phase niedrigen Pegels bis ins regenreiche Jahr 2006 zu erkennen sind. Bis ins Jahr 2008 liegt der Spiegel zumeist über dem Langzeitmittel und bewegt sich folgend auf tieferem Niveau. Das Trockenjahr 2011 ist ebenfalls zu erkennen, zeigt allerdings im Vergleich zu 2003 keine sich absetzenden Einschnitte im Grundwassergang. Insgesamt zeichnet sich die Grundwasserganglinie durch einen unbeständigen Verlauf aus, innerhalb dessen kein Trend ermittelt wurde.

8.6.14.1 Grundwassertemperatur Pfaffenweiher (Subingen)

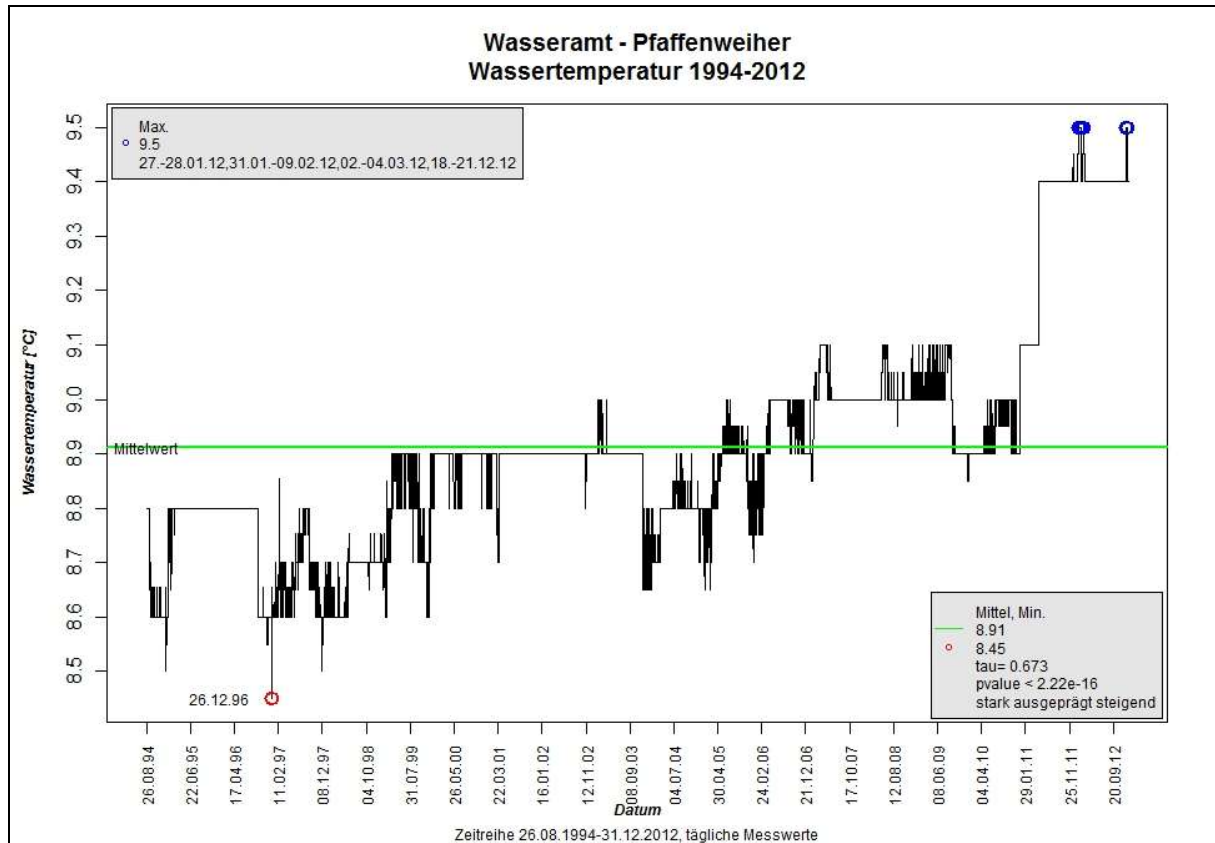


Abbildung 69: Grundwassertemperatur Pfaffenweiher (Subingen)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C,

Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Am 28.08.1994 beginnt die Datierung der Grundwassertemperatur in Pfaffenweiher, knapp 10 Jahre nach der Messreihe des Pegels.

Die Durchschnittstemperatur des Grundwasserkörpers liegt bei 8.91°C. Den Tagen des Jahres 2012: 27.-28.01.2012, 31.01.-09.02.2012, 02.-04.03.2012, 18.-21.12.2012, entstammt die Maximumtemperatur mit 9.5°C. Am 26.12.1996 ist die niedrigste Temperatur mit 8.45°C gemessen worden. Innerhalb dieser Amplitude von 1.05°C ist ein stark ausgeprägter Temperaturangestiegen enthalten und ersichtlich. Der signifikanten positive Trend hat mit 0.67 ($p < 2.22e-16$) den zweithöchsten tau-Wert aller Temperaturreihenmessergebnisse. Die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt unter 1%.

8.6.15 Limmnigraf Subingen (Subingen)

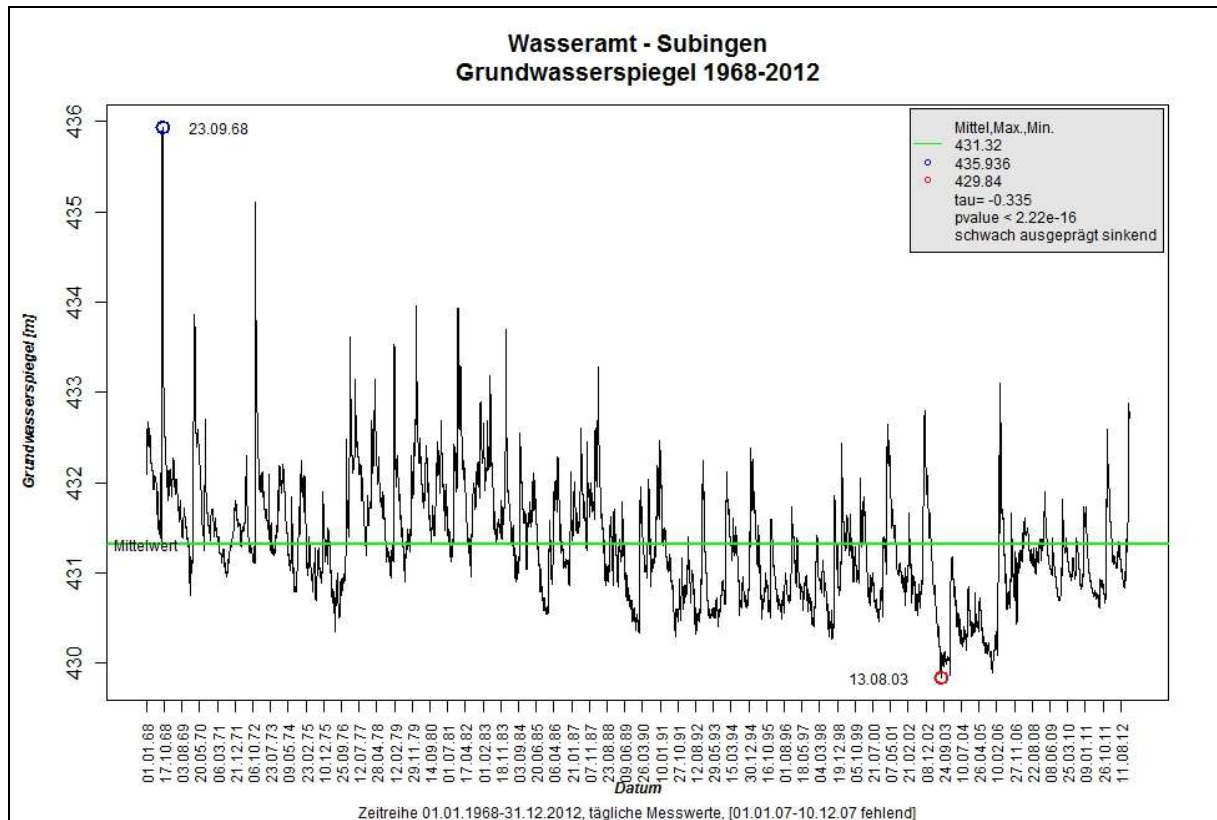


Abbildung 70: Limmnigraf Subingen (Subingen)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
 Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Aus der Messstation Subingen stammt die zweite der zwei längsten Datenreihen des Kanton Solothurn. Sie umfasst 44 Jahre und reicht bis zum 01.01.1968 zurück (wie auch die Zeitreihe des Standortes Dünnerngäu - Oberbuchsiten). Die Werte vom 01.01. bis 10.12.2007 sind nicht im Datensatz enthalten.

In Subingen wird der Spiegel eines 10m bis 20m mächtigen Grundwasserkörpers gemessen. Im Durchschnitt liegt dieser bei 431.32m.

Der höchste Grundwasserspiegel mit 435.94m ist im ersten Jahre der Messung, am 23.09.1968, datiert. Das Minimum liegt bei 429.84m und befindet sich in einer der Niedrigspiegelphase des Jahrhundertsommers 2003 (13.08.). Dieser Bereich hat eine Differenz von knapp einem halben Meter zu den vorherigen Tiefstwerten. Bis ins Jahr 2006 sind die Einwirkungen aus 2003 mit einem niedrigen Niveau ersichtlich. Im niederschlagsreichen Jahr 2006 regeneriert sich der Grundwasserspiegel und liegt erstmals wieder über dem langjährige Mittel.

Die Differenz zwischen Maximum und Minimum beträgt 6.1m, stellt allerdings nicht den gemeinen Schwankungsbereich innerhalb der Ganglinie dar. Dieser beläuft sich auf rund 3m. Im Grundwasserverlauf ist, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1%, ein signifikanter negativer Trend ($\tau = -0.335$, $p < 2.22 \cdot 10^{-16}$) ermittelt worden. Der schwach ausgeprägt sinkend Spiegel ist seit Beginn der Messung zu erkennen, insbesondere ab dem Jahr 1977.

8.6.16 Linnigraf Waldhaus (Subingen)

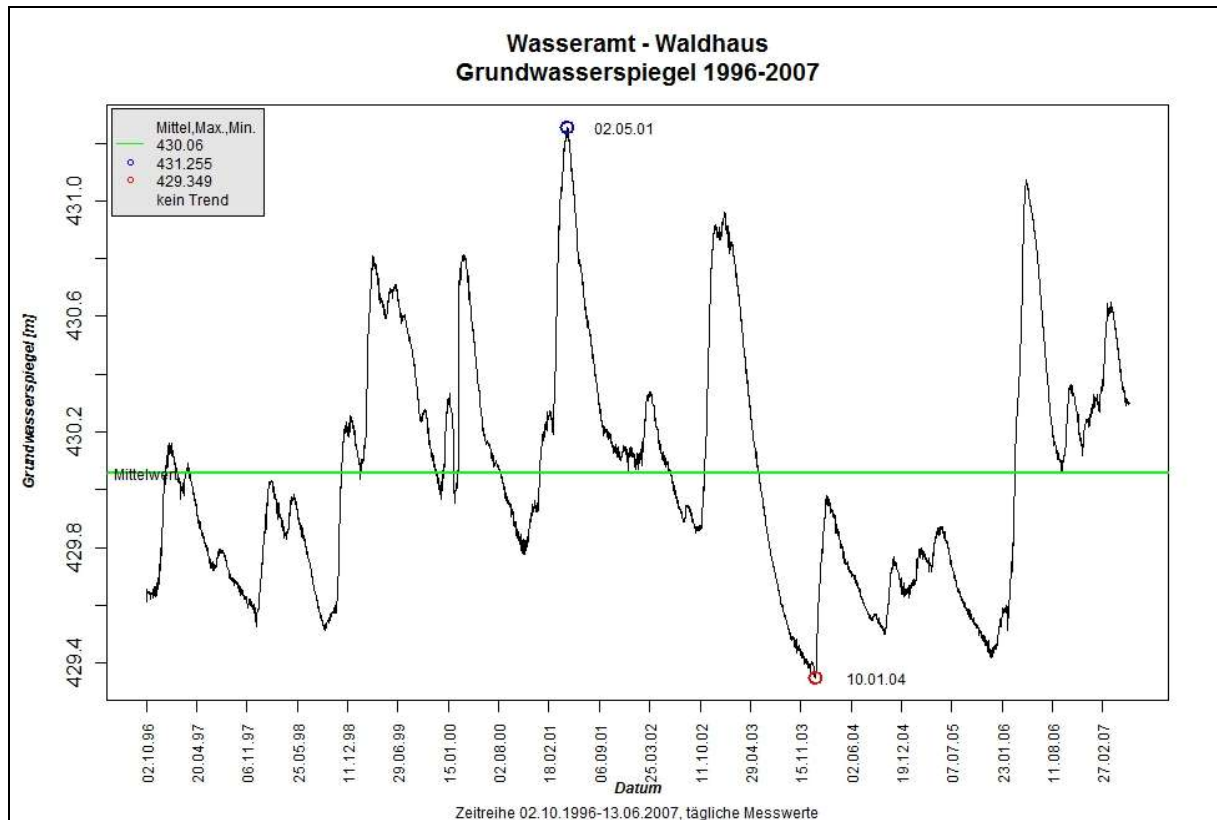


Abbildung 71: Linnigraf Waldhaus (Subingen)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern, Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, Trendklasse

Waldhaus ist eine Messstation in einem 10m bis 20m mächtigen Grundwasserkörper. Die Datenreihe des Grundwasserspiegels steht vom dem 02.10.1996 bis zum 13.06.2007 zu Verfügung.

Durchschnittlich misst der Spiegel in diesen Jahren 430.06m. Er hat einen Schwankungsbereich von 1.9m, mit einem Maximum bei 431.25m (02.05.2001) und einem Minimum bei 429.35m (10.01.2004). Der Ganglinie ist zu entnehmen, dass das Minimum dem Jahr 2003 entspringt. Ab dem Frühjahr 2003 ist ein Absinken bis zum Tiefstwert im Januar 2004 zu erkennen. Die Auswirkungen von 2003 haben einen Grundwasserstand unter dem Mittel zur Folge, der bis in das niederschlagsreiche Jahr 2006 andauert.

Innerhalb des Verlaufs gibt es sowohl ausgedehnte Phasen oberhalb des Mittels, als auch unterhalb, die sich gegenseitig ausgleichen. Daher gibt es keinen Trend in der Zeitreihe.

8.6.16.1 Grundwassertemperatur Waldhaus (Subingen)

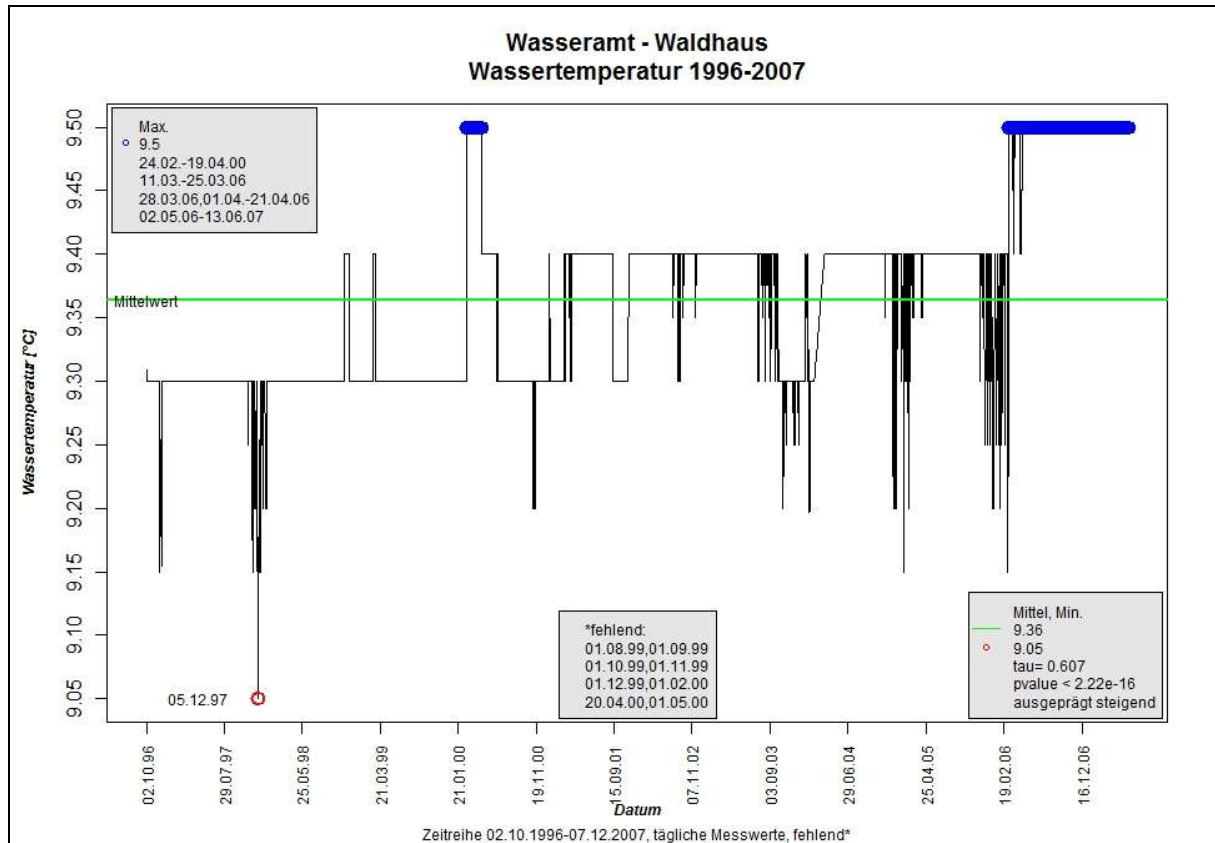


Abbildung 72: Grundwassertemperatur Waldhaus (Subingen)

x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwassertemperatur in °C,

Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Eine Grundwassertemperaturmessreihe gibt es von der Station Waldhaus vom 02.10.1996 bis zum 13.06.2007. Innerhalb dieser Datenreihe gibt es fehlende Werte. Die einzelnen Tage befinden sich zumeist am Monatsbeginn: 01.08.99, 01.09.99, 01.10.99, 01.11.99, 01.12.99, 01.02.00, 20.04.00, 01.05.00. Der Zeitraum vom 09.11.01 bis 06.03.02 ist ebenfalls ohne Daten. Die mittlere Temperatur im Grundwasserkörper beträgt 9.36°C.

Bei 9.5°C liegt die Höchsttemperatur, gemessen an unterschiedlichen Tagen und Zeiträumen der Jahre 2000 und 2006/07: 24.02.-19.04.2000, 11.03.-25.03.2006, 28.03.2006, 01.04.-21.04.2006, 02.05.2006-13.06.2007. Die geringste Temperatur liegt bei 9.05°C, am 05.12.1997. Innerhalb der Temperaturdifferenz mit 0.45°C sind keine periodischen Jahresgänge ersichtlich. Jedoch ein Temperaturanstieg. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 1%, enthält die Zeitreihe einen signifikanten positiven Trend. Dieser bezeichnet mit einem tau-Wert bei 0.61 ($p < 2.22 \cdot 10^{-16}$) eine ausgeprägt steigende Temperaturanglinie.

Die Beständigkeit und Aussagekräftigkeit dieses Trends ist mit Vorsicht anzunehmen, weil es innerhalb einer kurzen Zeitreihe schneller zu der Herausbildung eines Trends kommt.

8.6.17 Pumpwerk Rütifeld (Zuchwil)

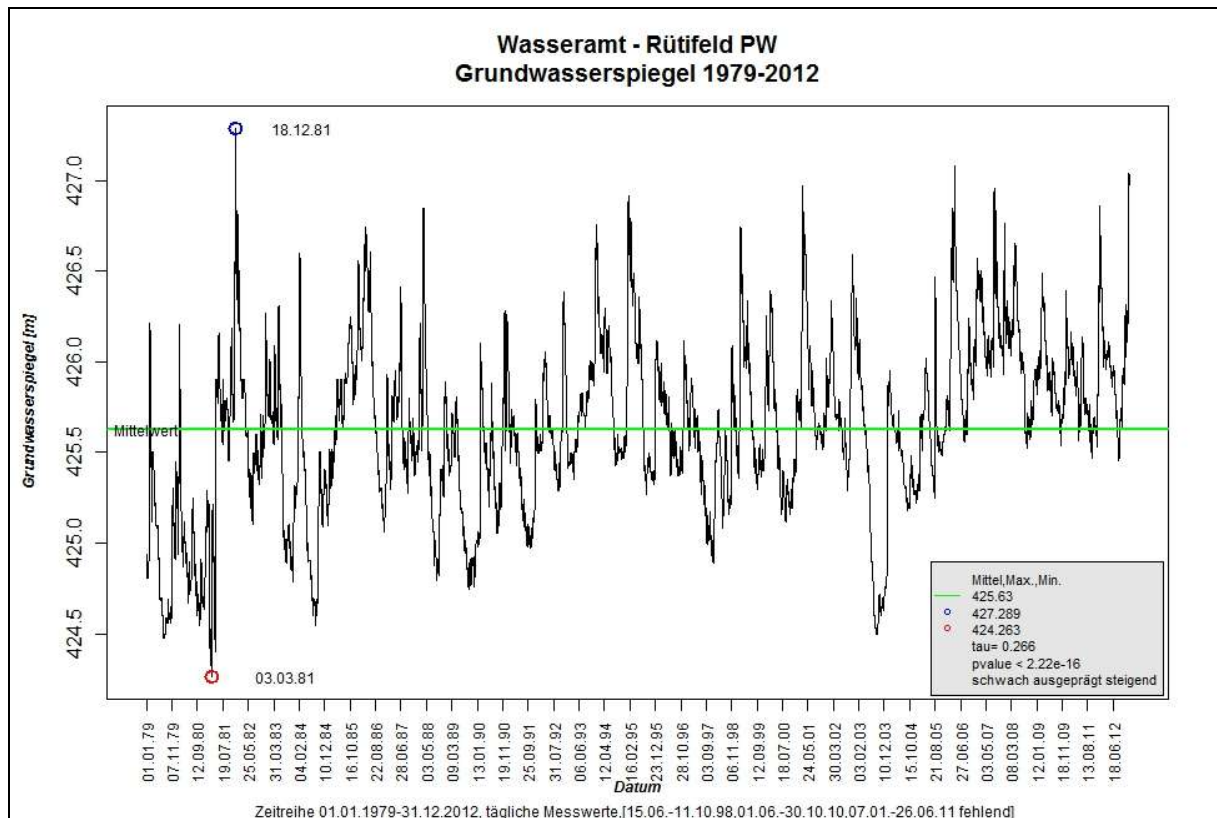


Abbildung 73: Pumpwerk Rütifeld (Zuchwil)
 x-Achse: Datum, y-Achse: Grundwasserspiegel in Metern,
 Legende: Mittelwert, Maximum, Minimum, tau-Wert, pvalue (Statistische Signifikanz), Trendklasse

Im Pumpwerk Rütifeld wird seit dem 01.01.1979 eine Messreihe über den Pegel des umgebenden Grundwasserkörpers, mit einer Mächtigkeit zwischen 10m und 20m, geführt. Fehlende Werte gibt es aus den Zeiträumen vom 15.06.98 bis 11.10.1998, vom 01.06. bis 30.10.2010 und vom 07.01. bis 26.06.11.

Der mittlere Grundwasserspiegel befindet sich bei 425.63m. Sowohl das Maximum, als auch das Minimum stammen aus dem Jahre 1981. Bei 424.26m liegt der Tiefstwert, am 03.03.1981, und bei 427.29m der höchstgemessene Grundwasserstand, am 18.12.1981.

Dies resultiert in einem Differenzbereich von 3.03m.

Das tiefe Niveau der Spiegelstände bis Mitte der 80er Jahre wird nachfolgend nur durch die Niedrigspiegelphase aus dem Jahr des Jahrhundertsommers 2003 erreicht. Der Verlauf der Ganglinie zeigt ab dem Jahre 1984 höher Pegelstände. Zu erkennen sind Anstiegsphasen in den Jahren von 1988 bis 1994, von 1997 bis 2001 und von 2004 bis 2009. Ab dem Jahre 2006 befindet sich der Grundwasserspiegel zumeist über dem langjährigen Mittel. Nur wenige Peaks reichen bis 0.10m unter Mittel, unter ihnen das Trockenjahr 2011.

Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 1% weist die Zeitreihe einen signifikanten positiven Trend auf ($\tau = 0.266$, $p < 2.22e-16$). Der Grundwasserspiegel ist schwach ausgeprägt steigend.

8.6.18 Fazit Wasseramt

Unter den 19 Grundwasserganglinien im Wasseramt sind 13 ohne Trend. Die dazugehörigen Stationen sind Dörnischlag (PW), Eichholz, Erlenmoos (PW), Gerlafingen, Grütt, Luterbachstrasse, Mitteldorf, Pfaffenweiher, RKO, Ruckacker (PW), Tannwald (PW), Waldhaus und XI (PW).

Grundwasseranstiege sind bei den Stationen Ruckacker und XI seit dem Jahr 2009 zu erkennen.

Diese Anstiegsphasen zeigen geringere Spiegelschwankung, als der vorherige Verlauf.

In der Ganglinie des Pumpwerkes Tannwald ist seit 1993 nach jeder Erholung des Grundwassers aus einem Niedrigspegel eine erneute Absenkung des Pegels sichtbar.

Fünf Zeitreihen beinhalten einen signifikanten positiven Trend mit tau-Werten zwischen 0.19 und 0.33 ($p < 2.22e-16$). Schwach ausgeprägt ansteigend sind die Grundwasserspiegel in Biberist (PW) (Kriegstetten), Obergerlafingen, Rütifeld (PW) (Zuchwil), Stöckleten (Rechterswil) und der Wylihofstrasse (Luterbach).

Subingen hat mit einem tau-Wert bei -0.335 ($< 2.22e-16$) als einzige Station im Wasseramt einen signifikanten negativen Trend und damit einen schwach ausgeprägt sinkend

Grundwasserspiegel. Zusammen mit der im Dünnerngäu gelegenen Messstelle Oberbuchsiten, besitzt Subingen die längste Datenreihe im Kanton Solothurn (ab 1968, 44 Jahre).

Mit einer 6.1m grossen Differenz zwischen Minimum und Maximum zeigt der Grundwasserspiegel den grössten Schwankungsbereich im Wasseramt. Der zweitgrösste Schwankungsbereich misst 3.58m (Wylihofstrasse).

Die Stationen Gerlafingen, Grütt, Mitteldorf und Obergerlafingen zeigen ähnlich charakteristische Ganglinien. Deren Abweichungen finden vermehrt bei hohen Pegelständen statt und sind auf tiefem Niveau gering. Die Schwankungsbereiche haben allerdings relativ geringe Differenzen (0.66m-2.25m).

In Bezug auf die Trockenjahre 2003 und 2011 hat das Jahr 2003 tiefere Einschnitte und vermehrt langjährige Auswirkungen in den Grundwasserspiegeln hinterlassen. Ein Minima im Jahre 2003 bzw. im Januar 2004 (das jeweils ersichtlich zurückzuführen ist auf das Jahr 2003) ist bei den Messstellen Eichholz, Grütt, Luterbachstrasse, Pfaffenweiher, RKO, Ruckacker (PW), Subingen, Waldhaus und Wylihofstrasse verzeichnet. Auch an den anderen Standorten im Wasseramt ist das Jahr 2003 durch Niedrigphasen gekennzeichnet. Mit Ausnahme des Pumpwerkes Dörnischlag, in dessen Zeitreihe die Daten aus 2003 und 2011 nicht verfügbar sind. In der 39jährigen Ganglinie des Pumpwerkes Erlenmoos sticht das Jahr 2003 nicht augenscheinlich heraus.

Weniger bemerkbar fügen sich die Messwerte des Trockenjahres 2011 in die Ganglinien ein. In den Zeitreihen der Standorte Grütt, Ruckacker (PW), Subingen, Wylihofstrasse und XI (PW) ist das Jahr 2011 unauffällig und befindet sich teilweise innerhalb einer Grundwasseranstiegsphase.

Das niederschlagsreiche Jahr 2006 ist in allen Grundwasserganglinien mit einem hohen Peak erkennbar und beendet mehrfach einen langjährigen, durch das Jahr 2003 hervorgerufen, Niedrigpegel. Eichholz, Gerlafingen, Grütt, Luterbachstrasse, Mitteldorf, Obergerlafingen, RKO und Stöckleten verzeichnen den Maximumspiegel in 2006.

In den Grundwasserkörpern der Gemeinde Luterbach wird die Einflussnahme durch die Cellulosefabrik „Attisholz“ (Berechtigte Vertikalfilterbrunnen, Pumpwerk XI: Borregaard Schweiz AG (ehem. Attisholz), Riedholz), seit der Werksschliessung im Jahre 2008 ersichtlich. Die im Einzugsbereich liegenden Messstationen (Ruchacker (PW), Wylihofstrasse, XI (PW)) zeigen seit dem Jahre 2008 geringeren Pegelschwankungen und eine Verschiebung der Tiefstände auf ein höher liegendes Niveau.

Dieser Zusammenhang ist nicht statistisch belegt.

Temperatur

Bei drei der acht Grundwassertemperaturzeitreihen ist ein signifikanter positiver Trend ermittelt worden. Die Wassertemperatur ist unterschiedlich stark ausgeprägt angestiegen, mit den tau-Werten 0.19, 0.61 und 0.67. Stark ausgeprägt steigend bei der Messstation Pfaffenweiher, schwach ausgeprägt steigend am Standort RKO und ausgeprägt steigend am Waldhaus.

Bei diesen drei Messstationen ist ebenfalls ein schwach ausgeprägt sinkender Grundwasserspiegel gegeben.

Inwiefern und ob überhaupt einen Zusammenhang zwischen diesen Temperaturanstiegen und den sinkenden Grundwasserspiegeln besteht ist nicht statistisch analysiert worden.

Diese Temperaturganglinien des Wasseramts haben grosse Temperaturschwankungen. Eichholz mit 5.6°C, Stöckleten mit 5.9°C und Wylihofstrasse mit 6°C. Während die Differenzen bei Eichholz und der Wylihofstrasse durch die Extreme der Minima und Maxima hervorgerufen werden, bewegen sich die jährlichen Schwankungen in Stöckleten fast durchgängig auf hohem Niveau.

9 Quintessenz – Analyse der Grundwasserspiegelzeitreihen

Insgesamt sind 50 Grundwasserzeitreihen des Kantons Solothurn in den Gebieten Aaregäu, Dünnerngäu, Lüsseltal, Niederamt, Thal und Wasseramt mit dem Mann-Kendall Trendtest analysiert worden (Abbildungen 74 und 75).

Von den 50 Grundwasserganglinien zeigen 32 keinen Trend (Abbildung 74). Damit ist der Grundwasserspiegel an diesen Messstellen in den Jahren der Aufzeichnungen weder gesunken, noch angestiegen. Innerhalb der jeweiligen, grundwasserkörperspezifischen Schwankungsbereiche bewegen sich die Spiegel auf gleichem Niveau bzw. die Phasen hoher und niedriger Pegelstände gleichen sich gegenseitig aus.

Bei sieben Zeitreihen gibt es einen signifikanten positiven Trend, darunter fünf schwach

ausgeprägt steigend Grundwasserspiegel im Wasseramt.

Zehn Langzeitreihen enthalten einen signifikanten negativen Trend, in Form eines schwach ausgeprägt sinkenden Grundwasserspiegels. Acht dieser zehn negativen Trends befinden sich im Areal des Dünnerngäu.

Die Zeitreihe der Messstation Schachen (Niederamt) besitzt nur ein Jahr mit Datenaufzeichnungen. Dies ist nicht ausreichend für einen Trendanalyse, da lediglich ein „Trend“ im Jahresgang ermittelt werden könnte. Somit kann das Ergebnis der Trendanalyse in diesem Fall nicht verifiziert werden.

In der Analyse sind fünf Messstationen enthalten die sich nicht mehr in Betrieb befinden. Das sind die Stationen Härkingen (PW, Dünnerngäu), Belser (KG, Niederamt, Erlinsbach), Dellen (PW, Niederamt, Trimbach), Kätzlimatt (PW, Thal, Mümliswil) und Waldhaus (Wasseramt, Subingen). Zudem der Datensatz der Falkensteinquelle (Niederamt, Lostorf), deren Messwerte aus dem Jahr 2012 zum Zeitpunkt der Analyse noch nicht vorlagen.

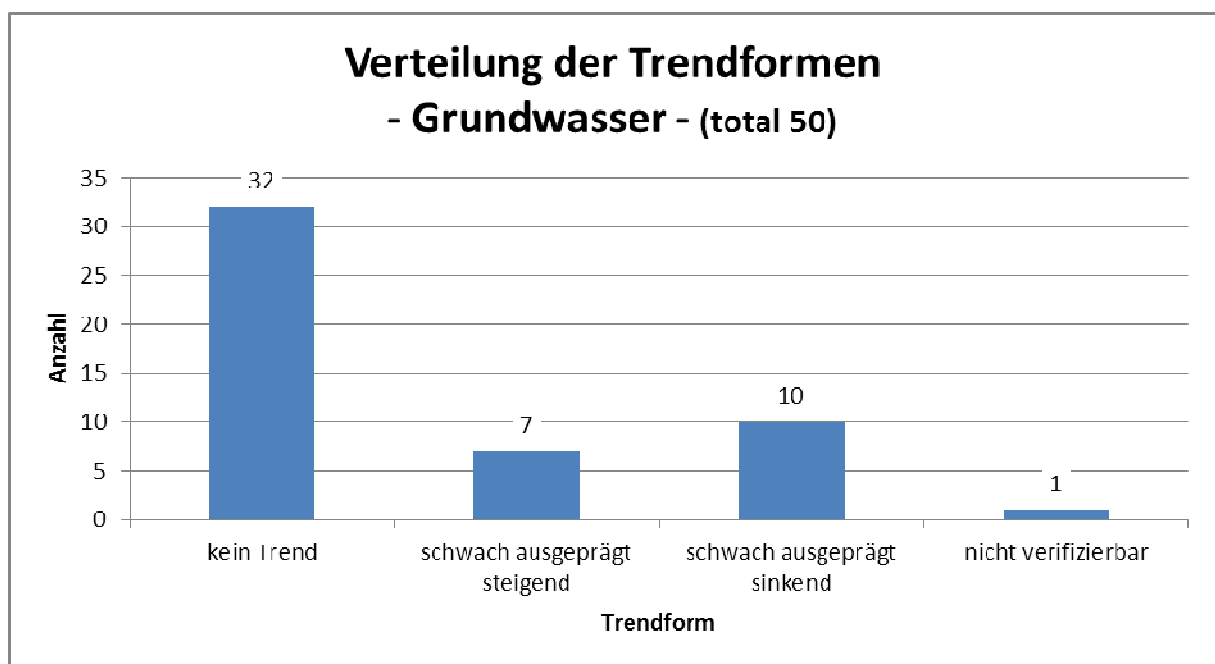


Abbildung 74: Verteilung der Trendformen, Grundwasser
Total 50 analysierte Zeitreihen, x-Achse: Trendformen, y-Achse: Anzahl der Zeitreihen

Bei der Betrachtung der hydrogeologischen Gebiete (Abbildung 75) gibt es im Aaregäu und in Thal keine Trends der gemessenen Grundwasserspiegel. Die grundwasserspezifischen Schwankungen sind ausgeglichen und damit relativ stabil.

Dies gilt ebenfalls für die Grundwasserspiegel im Niederamt. Dort gehören die beiden ermittelten Trends zu den Zeitreihen der Stationen Belser (1981-2006) und Dellen (1979-2009), die sich nicht mehr in Betrieb befindenden. In der Kiesgrube Belser in Erlinsbach gibt es ein negativer Trend ($\tau = -0.30$), der einen schwach ausgeprägt sinkend Grundwasserspiegel

bezeichnet. Das Pumpwerk Dellen in Trimbach hat einen schwach ausgeprägt steigenden Grundwasserspiegel ($\tau = 0.28$).

Nicht verifizierbar ist das Analyseergebnis der Station Schachen in Erlinsbach, durch die Kürze der Zeitreihe.

An den zwei Messstellen im Lüsseltal, in der Gemeinde Breitenbach, kann keine Gebietstendenz abgelesen werden. Die Station Grien zeigt keinen Trend und das Pumpwerk Längacker hat einen schwach ausgeprägt steigenden Grundwasserspiegel ($\tau = 0.22$).

Im Wasseramt zeigen 13 von 19 Zeitreihen keinen Trend. In fünf Datensätzen ist ein positiver Trend zu verzeichnen. Schwach ausgeprägt steigend sind die Grundwasserspiegel an den Messstationen Biberist (PW, Kriegstetten, $\tau = 0.23$), Obergerlafingen ($\tau = 0.33$), Rütifeld (PW, Zuchwil, $\tau = 0.27$), Stöckleten (Rechterswil, $\tau = 0.19$) und der Wylihofstrasse (Luterbach, $\tau = 0.23$).

Die Langzeitreihe (1968-2012) Subingen hat einen schwach ausgeprägt sinkenden Grundwasserpegel und damit als einzige im Wasseramt einen negativen Trend ($\tau = -0.34$).

Bei der Analyse der Messreihen im Dünnerngäu hat das Ergebnis acht negative Trends ergeben. Im Pumpwerk Wangen (b. Olten) ist kein Trend ermittelt worden, aber die Grundwasserganglinie zeigt in gleicher Weise eine sinkende Tendenz des Grundwasserspiegels in den gleichen Jahren. Die Zeitreihe ist im Durchschnitt 13 Jahre älter, als die jüngeren Messreihen.

Durch einen Trend festgestellte schwach ausgeprägt sinkende Grundwasserpegel haben die Zeitreihen der Messstationen Härkingen (PW, $\tau = -0.26$), Zelgli (PW, Kappel, $\tau = -0.22$), Kestenholz ($\tau = -0.22$), Neufeld (PW, Neuendorf, $\tau = -0.20$), Oberbuchsiten ($\tau = -0.19$), Moos (PW, Oensingen, $\tau = -0.34$), Oensingerfeld (Oensingen, $\tau = -0.29$) und Gheid 2 (PW, Olten, $\tau = -0.29$).

Es gibt bei den Trendergebnissen keine Gewichtung hinsichtlich des Messortes. Die Trends sind gleichermassen in Pumpwerken (9 Trends), als auch in Limnigrafen (8 Trends) zu finden. Bezüglich der Unterscheidung zwischen sinkenden und steigenden Grundwasserspiegeln gibt es ebenfalls keine eindeutige Verteilung hinsichtlich des Messortes. Unter den sieben steigenden Spiegeln sind vier bei Pumpwerken zu finden und drei bei Limnigrafen. Ähnlich ist es bei den 10 sinkenden Pegeln. Dort sind es fünf Pumpwerke, eine Kiesgrube und vier Limnigrafen.

Von den 17 Zeitreihen mit einem ermittelten Trend umfasst die Jüngste 16 Jahre, zwei weitere 18 Jahre. Sonst gibt es keine Trends in Ganglinien mit einem Alter unter 20 Jahren. 8 Datensätze haben ein Alter zwischen 21 und 27 Jahren und 6 Zeitreihen sind 30 bis 44 Jahre alt. Damit befinden sich die Trends tendenziell in älteren Langzeitreihen und stellen keine kurzfristigen Erscheinungen dar.

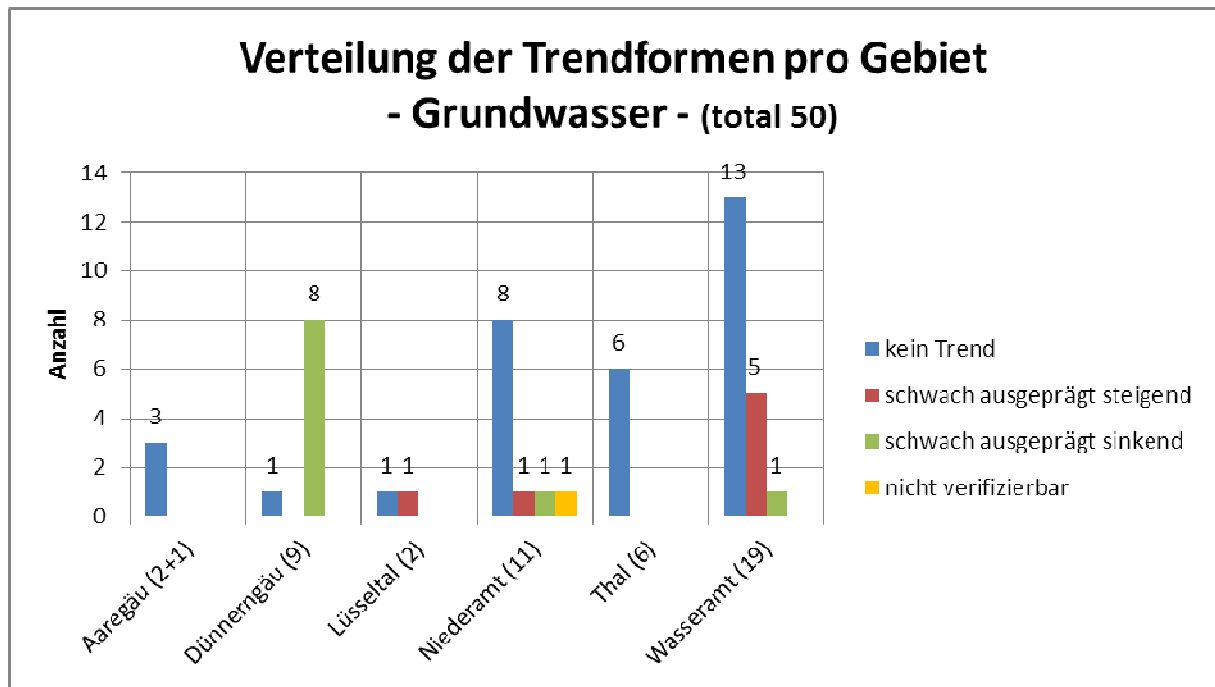


Abbildung 75: Verteilung der Trendformen pro Gebiet, Grundwasser
Total 50 analysierte Zeitreihen, x-Achse: Trendformen pro Gebiet, Gebiete mit Gesamtanzahl der Zeitreihen,
y-Achse: Anzahl der Zeitreihen

10 Quintessenz – Analyse der Grundwassertemperaturzeitreihen

Bei den Analyseergebnissen der 19 Grundwassertemperaturzeitreihen gibt es keine negativen Trends (Abbildungen 76, 77). Die neun ausschliesslich positiven Trends haben unterschiedlich starke Ausprägungen, wobei alle fünf Trendklassen vertreten sind (Abbildung 76). Unter den 19 Zeitreihen sind es neun die keinen Trend aufweisen.

Drei Temperaturganglinien sind schwach ausgeprägt steigen und vier Ganglinien ausgeprägt steigend. In der stark bzw. sehr stark ausgeprägten Trendklasse gibt es jeweils eine Zeitreihe. Ebenfalls, wie bei der Analyse der Grundwasserspiegel, ist auch bei der Grundwassertemperatur das Ergebnis der Station Schachen in Erlinsbach (Niederamt) durch die Kürze der Zeitreihe nicht verifizierbar.

Unter den Analyseergebnissen der Temperaturzeitreihen ist eine Station, das Waldhaus im Wasseramt (Subingen), welche sich nicht mehr in Betrieb befindet.

Innerhalb der hydrogeologischen Gebiete (Abbildung 77) hat das grösste Gebiet, das Wasseramt, mit fünf von acht Datensätzen auch die meisten Zeitreihen ohne Trend. Drei Temperaturreihen besitzen einen positiven Trend. Schwach ausgeprägt steigend ist die Temperatur in RKO (Rechterswil, $\tau = 0.19$), ausgeprägt steigen im sich ausser Betrieb befindenden Waldhaus (Subingen, $\tau = 0.61$, 1996-2007) und stark ausgeprägt steigen in Pfaffenweiher (Subingen, $\tau = 0.67$).

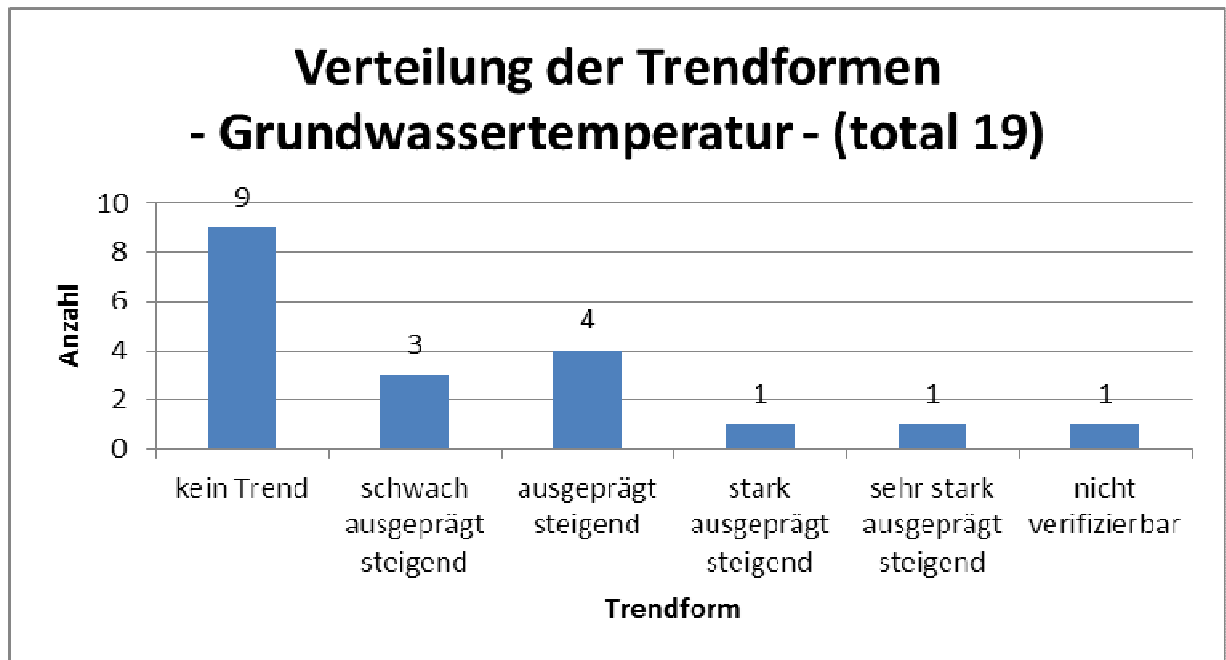


Abbildung 76: Verteilung der Trendformen, Grundwassertemperatur
Total 19 analysierte Zeitreihen, x-Achse: Trendformen, y-Achse: Anzahl der Zeitreihen

Im Lüsseltal und im Niederamt zeigt keine der Temperaturganglinien einen Trend. Die durch periodische Jahresgänge gekennzeichneten Zeitreihen verlaufen relativ gleichmässig und die vorhandenen Temperaturschwankungen sind ausgeglichen.

Die Temperaturzeitreihe der Hammerrainquelle im Gebiet Thal ist ohne Trend. Innerhalb der Ganglinie der Station Stockmatt (Laupersdorf, $\tau = 0.25$) ist die Temperatur schwach ausgeprägt angestiegen.

Beide Temperaturzeitreihen im Aaregäu haben einen positiven Trend. Wobei sich dieser im Pumpwerk Wolfwil ($\tau = 0.26$) schwach ausgeprägt steigend darstellt und bei der Messstation Unter-Forenban (Fulenbach, $\tau = 0.56$) als ausgeprägt ansteigend.

Im Dünnerngäu sind drei positive Trends zu verzeichnen. Darunter die sehr stark ausgeprägt steigende Temperaturganglinie im Oensingerfeld (Oensingen, $\tau = 0.85$). In Kestenholz ($\tau = 0.42$) und Oberbuchsiten ($\tau = 0.64$) steigt die Temperatur ausgeprägt.

Bei diesen drei Messstationen ist ebenfalls ein schwach ausgeprägt sinkender Grundwasserspiegel gegeben. Ob einen Zusammenhang zwischen diesen Temperaturanstiegen und den sinkenden Grundwasserspiegeln besteht ist nicht statistisch analysiert worden.

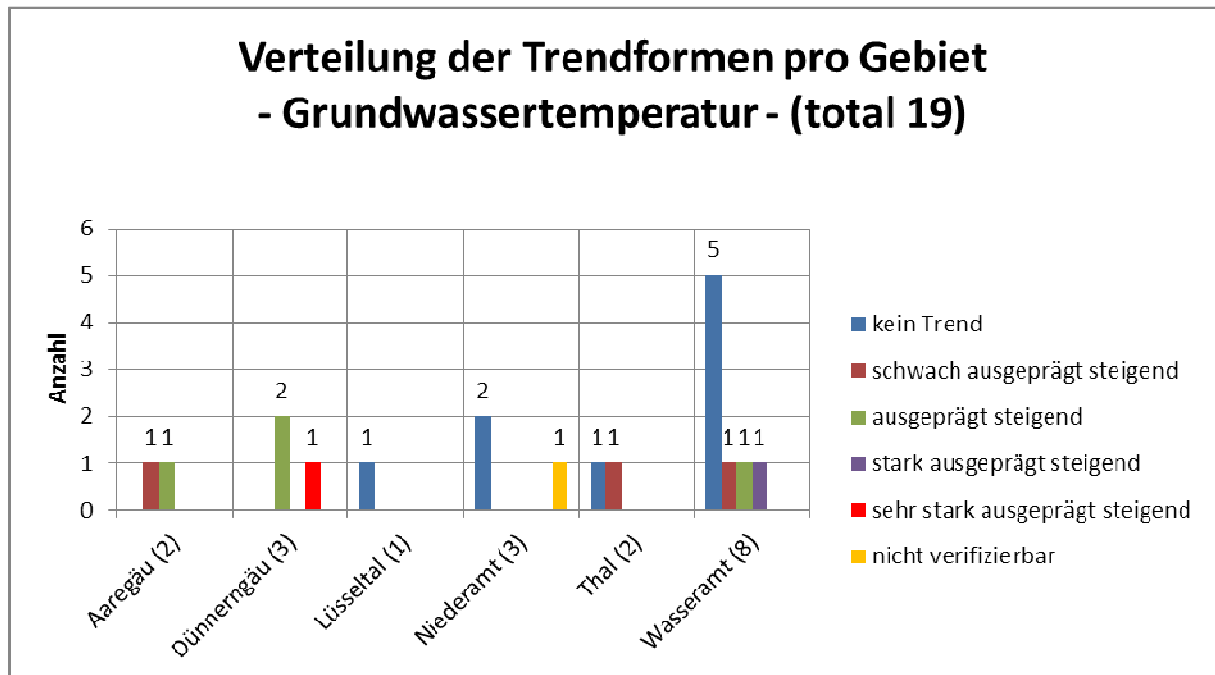


Abbildung 77: Verteilung der Trendformen pro Gebiet, Grundwassertemperatur
 Total 19 analysierte Zeitreihen, x-Achse: Trendformen pro Gebiet, Gebiete mit Gesamtanzahl der Zeitreihen,
 y-Achse: Anzahl der Zeitreihen

Bezüglich des Messortes ist der Temperaturanstieg vorwiegend in Limnigrafen zu finden. Diese Beobachtung könnte möglicherweise auf die Durchmischung der Wasserschichten durch die Pumpwerke zurückzuführen sein.

Unter den Trends befindet sich nur ein Pumpwerk, dessen Messreihe lediglich drei Jahre beinhaltet.

Sechs der neun ermittelten Temperaturtrends stammen aus Zeitreihen die 10 bis 18 Jahre umfassen. Darunter drei 18 jährige und eine 17 jährige Zeitreihe.

Allerdings gibt es auch drei Trends in jungen Messreihen unter 10 Jahren. Bei diesen ist die Aussagekräftigkeit und Beständigkeit des Trends mit Vorsicht zu betrachten, weil es innerhalb einer jungen Zeitreihe (10 Jahre) schneller zu der Herausbildung eines Trends kommen kann.

11 Resümee

Das Resultat der Trendtestanalyse ist positiv zu bewerten.

Unter den Ergebnissen der 50 Grundwasserspiegelzeitreihen sind keine Werte in den Bereichen eines starken bzw. perfekten positiven oder negativen Trends ($\tau = \pm 1$) enthalten. Zwischen den τ -Werten 0.19 und 0.33 befinden sich die sieben positiven Trends und zwischen -0.20 und -0.34 die zehn negativen Trends. Demnach sind sowohl die positiven, als auch die negativen Trends als schwach ausgeprägt einzuordnen.

Die Ergebnisse sind immer in Relation von Schwankungsgrad, Grundwasserkörpermächtigkeit und Zeitraum zu betrachten.

Nicht jeder Trend führt in einem Grundwasserkörper zu einer direkten Gefährdung. Zumal die Grundwasserkörper in den meisten Fällen unter einer eintragsreichen Flussspeisung stehen, bzw. einen grossen Flurabstand zur Oberfläche besitzen.

Gefährdet sind solche Grundwasserkörper, bei denen eine relative grosse Absenkung oder ein grosser Anstieg innerhalb einer geringen Mächtigkeit vorliegt. Und solche bei denen eine Absenkung in einem kurzen Zeitraum stattfindet. In diesem Fall würde es dafür sprechen, dass die Grundwasserneubildung in diesen Gefilden nicht so schnell erfolgt und der Grundwasserkörper sich nicht erholen kann.

Das Dünnerngäu hebt sich als einziges Gebiet mit ausschliesslich sinkenden Grundwasserspiegeln ab. Die berechneten Trends sind jedoch auch hier nur schwach ausgeprägt. Die Ganglinien besitzen hohe Schwankungsbereiche, allerdings weisen die Areale Grundwassermächtigkeiten zwischen 30m und über 50m auf.

Ansteigende Grundwassertemperatur zwischen 0.5°C und 0.8°C gibt es in drei dieser Zeitreihen. Inwiefern es einen Zusammenhang zwischen den Temperaturanstiegen und den sinkenden Grundwasserspiegeln gibt ist nicht statistisch analysiert worden.

Bei den neun Grundwassertemperaturtrends sind ausschliesslich Temperaturanstiege zu verzeichnen. Diese sind ebenfalls in Relation von Schwankungsgrad, Grundwasserkörpermächtigkeit und Zeitraum zu betrachten.

Die errechneten Trends der Grundwasserspiegel- und Grundwassertemperaturganglinien müssen sich in der Zukunft nicht fortsetzen. Der Mann-Kendall Test stellt lediglich die Entwicklung bis heute dar. Er kann keine Aussage darüber treffen, wieso es zu dieser Entwicklung gekommen ist, noch wie es sich zukünftig entwickeln wird.

Es ist eine Momentaufnahme, die einen Überblick gibt und anhand derer weitere Beobachtungen, Handlungsbedarf und weitere Analysen abgeleitet werden können.

12 Outlook

Mit Hilfe der Ergebnisse des Mann-Kendall Trendtests ist es möglich konkrete Messstationen und Gebiete hinsichtlich der Momentaufnahme, wie auch deren zukünftige Entwicklungen, mit Aufmerksamkeit zu betrachten.

Zudem kann abgeschätzt und analysiert werden, in welchem Masse bestimmte Faktoren für das Grundwasserverhalten verantwortlich sein können und ob gewisse Schwankungen innerhalb der Grundwasserkörper/-temperatur normal sind.

Ein Zusammenhang zwischen Grundwassergang/-temperatur und anthropogenen Eingriffen, welche sich in negativer Form durch Grundwasserübernutzung und Eingriffen in bestehende Verhältnisse äussern (bspw. Änderung der Flächennutzung und Realisierung von Bauvorhaben),

kann ermittelt werden.

Daneben wäre der Einfluss des Klimas genauer zu untersuchen. Dessen Beeinflussung kann sich direkt oder indirekt durch die Veränderung von Temperatur und Niederschlag auswirken. Die Grundwasserneubildung und deren Abhängigkeit von Infiltration und Exfiltration durch Vorfluter sind eine direkte Auswirkungen. Der indirekte Einfluss besteht durch erhöhten Wasserbedarf von Mensch und Natur.

Literaturverzeichnis

Department of Mathematics, The Ohio State University:

[Henry Berthold Mann | Department of Mathematics](#) (Zugriff 31.07.2012)

FUERST, J. et. al (2008): Trends in Niederschlag und Abfluss. (Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich) Wien

Horten-Zentrum für praxisorientierte Forschung und Wissenstransfer, letzte Aktualisierung 2008:

[evimed - Glossar: Statistische Signifikanz, p-Wert](#) (Zugriff 02.07.2012)

School of Mathematics and Statistics, University of St Andrews, Scotland:

[Kendall Maurice biography](#) (Zugriff 31.07.2012)

PANU, U.S. et. al (1994): Stochastic and Statistical Methods in Hydrology and Environmental Engineering. (Kluwer Academic Publishers) Netherlands

R Documentation: Mann-Kendall Trend test:

[R: Mann-Kendall trend test](#) (Zugriff 31.07.2012)

R Documentation: Kendall rank correlation:

[R: Kendall rank correlation](#) (Zugriff 31.07.2012)

[Statistik - Joachim Hartung, Bärbel Elpelt, Karl-Heinz Klösener - Google Books](#)

(Zugriff 10.08.2012)

STRY, Y., SCHWENKERT, R., (2010): Mathematik kompakt - für Ingenieure und Informatiker. (Springer-Verlag) Berlin, Heidelberg