

Projekt:

Pilotprojekt Monitoring von Beregnungsbrunnen

- Bericht, Stand Dezember 2022 -

Auftraggeber:



Land Rheinland-Pfalz
vertreten durch
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd
Regionalstelle Wasserwirtschaft,
Abfallwirtschaft und Bodenschutz
Friedrich-Ebert-Straße 14
67433 Neustadt an der Weinstraße

I. Inhaltsverzeichnis (Text)

	Seite
1. Veranlassung	2
2. Messtechnik	3
3. Sachstand	6
4. Monitoring	8
5. Zusammenfassung und Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise	12

➤ Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Kontrolle der Entnahmemengen, abgelesene und berechnete Entnahmemengen.	10
Tabelle 4-2: Entnahmemengen, errechnet aus den vom 01.01.2022 – 31.10.2022 erfassten Förderraten.	11

II. Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Übersichtslageplan mit Monitoringbrunnen
Anlage 2	Ganglinien und Förderraten der beobachteten Brunnen
Anlage 2.1	Brunnen 2, 3, 4 und 11
Anlage 2.2	Brunnen 12, 26, 27 und 34/1
Anlage 3	Ergebnisse der GwStichtagsmessung am 15.02.2022

III. Anhang

- **Beschreibung AquLite Universaldatenlogger**
- **Beschreibung GSM-Modem**
- **Beschreibung Hydrocont analoge Drucksonde**
- **Beschreibung FIBOX Schaltkasten**
- **Beschreibung ARAD Octave Durchflussmesser**
- **Beschreibung LEAB Batterieladegerät**

1. Veranlassung

Im Auftrag der SGD Süd hat unser Büro für ein Pilotprojekt im Raum Hochstadt – Zeiskam in Abstimmung mit dem AG einen Projektbereich abgegrenzt, und die bei der SGD innerhalb des Projektbereichs erfassten Beregnungsbrunnen, die auch über eine Entnahmeerlaubnis verfügen, hinsichtlich ihrer Eignung für das geplante „Pilotprojekt“ begutachtet. Aus den insgesamt rd. 40 Beregnungsbrunnen im Projektbereich sind die Brunnen:

- 2
- 3
- 4
- 11
- 12
- 26
- 27
- 34/1

als geeignet für den Einbau der geplanten Messtechnik ausgewählt worden.

Da Beregnungsbrunnen bisher in der Regel mit analogen Wasserzählern überwacht werden, deren Zählerstände die Betreiber jährlich der Behörde melden, war neben der Auswahl geeigneter Brunnen auch die Konzeptionierung der einzusetzenden Technik Neuland.

Ergänzend zu den ursprünglich vorgesehenen Durchflussmessungen, sollte abstimmungsgemäß in den oben genannten Brunnen auch eine kontinuierliche Messung der GwStände erfolgen. Um den personellen Aufwand zu begrenzen, sollte zudem eine zentrale Datenerfassung mit der entsprechenden Datenübertragung eingerichtet werden.

Für das für die ausgewählten Beregnungsbrunnen zu konzeptionierende Monitoring bestanden im Detail folgende technischen Anforderungen:

- Kontinuierliche Messung und Erfassung der Förderraten und der GwStände.
- Übertragung der Messwerte auf einen Datenserver, auf dem die Daten im Remotezugriff zur Verfügung gestellt werden.
- Einsatz möglichst autarker Technik, die mit entsprechender Modifikation ggf. zukünftig auch an anderen Brunnen (ohne Stromversorgung) eingesetzt werden kann.

Auch wenn die technischen Voraussetzungen bei den Beregnungsbrunnen nicht die Anforderung an Monitoringmessstellen erfüllen, und Abstriche bei der Genauigkeit der Messwerte bei der Konvertierung in ein regionales Höhensystem gemacht werden müssen, lassen sich doch mit Hilfe der kontinuierlichen Erfassung der relativen Wasserstandsdaten Trends bei der Entwicklung der GwStände beobachten. Mit den Entnahmen verbundene nachteilige Veränderungen der mit den Beregnungsbrunnen erschlossenen GwVorkommen wären in jedem Fall zu erkennen. Darauf geben allerdings weder die bisher erfassten Daten der Beregnungsbrunnen noch die Ganglinien der Monitoringmessstellen im Projektgebiet Hinweise.

2. Messtechnik

Wie bereits beschrieben, kamen nach einer vorgezogenen Begutachtung von rd. 40 Beregnungsbrunnen im Projektgebiet 14 Brunnen in die engere Auswahl. Davon waren nach einer anschließenden näheren Eignungsprüfung noch 8 Brunnen für den Einbau der geplanten Messtechnik als geeignet eingestuft worden, und wurden für das Pilotprojekt ausgewählt. Berücksichtigt wurden dabei nur Brunnen, die mit elektrischen Unterwassermotorpumpen betrieben werden. Der größere Teil dieser Brunnen verfügt über einen festen Stromanschluss. Die Pumpen der Br. 3, 4 und 11 werden von einem Aggregat mit Strom versorgt. In der Annahme eines mehr oder weniger regelmäßigen Brunnenbetriebs in der Beregnungssaison, wurde zunächst davon ausgegangen, dass die eingesetzten Akkus dabei soweit aufgeladen werden, dass sie am Ende der Saison vollgeladen in die Winterpause gehen. Wie sich im Projektverlauf herausstellte, war das nicht bei allen Brunnen gegeben. Bei den Br. 3 und 11 wurden die eingesetzten Akkus nicht ausreichend geladen, was sich als Problem für die eingesetzte Technik herausstellte. Da die betroffenen Brunnen im Prinzip ausreichend gelaufen sind, müssen die möglichen Ursachen der Ladungsunterbrechung, wie auch bei dem mit einem Stromanschluss ausgestatteten Br. 12 noch ermittelt werden.

Da das Monitoring der Beregnungsbrunnen technische Anforderungen hat, für die es noch keine fertigen Lösungen gibt, wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. Aquitronic, die sich bereits seit langer Zeit mit der Messung, Erfassung und Übertragung von Pegeldata befasst, eine technische Lösung für die Monitoringaufgaben entwickelt, die alle Anforderungen erfüllen sollte.

Die Grundbausteine dieser Lösung sind Datenlogger und Modems von der Fa. Aquitronic, die bisher mit digitalen Drucksonden und elektronischen Messgeräten zur Überwachung physikalisch-chemischer Wasserparameter zum Einsatz kamen.

Für das im Projekt geforderte Monitoring der Fördermengen wurden mit eingebautem Akku betriebene Ultraschall-Großwasserzähler der Fa. Arad ausgewählt, die vor dem Einsatz mit einem Prototyp des geplanten Systems auf Konnektivität getestet worden sind. Während der Wasserzähler mit seinem eingebauten Akku mindestens 10 Jahre laufen soll, benötigt der Messumformer, der die Durchflussdaten auf den Datenlogger überträgt, eine externe 12 V Spannungsversorgung.

Die Wasserzähler von ARAD können abhängig von ihrer Parametrierung

- richtungsunabhängig
- nur vorwärts
- richtungsabhängig

die Durchflussmengen messen.

Für uns erschien dabei mit Blick auf die Verdrehsicherung bei der Montage die richtungsunabhängige Messung die sinnvollste. Was uns zu diesem Zeitpunkt nicht bekannt war, ist die Verbindung unterschiedlicher Brunnen über ein Beregnungsleitungsnetz, oder eventuell auch ein Rückfluss aus dem Leitungssystem in die Brunnen. Aufgrund fehlerhafter Rückflussverhinderer fließen auf diesem Weg bei den passenden Systemverhältnissen mehrere 10er m³ in verschiedene nicht in Betrieb befindliche Brunnen. Aufgrund der

Parametrierung der Durchflussmesser wird das auf diesem Weg zurück in den Untergrund infiltriert Wasser jedoch als Entnahmemenge erfasst.

Da bei den Beregnungsbrunnen der Einbau von Messtechnik, ebenso wie Kontrollmessungen der Wasserspiegel, üblicherweise auch nicht vorgesehen sind, bestehen in den Brunnen sehr beengte Platzverhältnisse. Aus diesem Grund wurden sehr klein gebaute analoge Drucksonden mit atmosphärischem Abgleich von der Fa. ACS eingesetzt, deren Eignung für den Einsatz mit der geplanten Datenloggertechnik bereits bei anderen Projekten von AquiTronic überprüft wurde. Diese Sonden haben, neben der sehr kompakten Bauart, auch einen sehr geringen Energieverbrauch. Dennoch benötigen sie, wie der Datenlogger und das Modem, auch eine externe Energieversorgung.

Mit dem Ziel eine möglichst kompakte und universelle technische Lösung zu entwickeln, und um die direkte Verbindung der Systeme mit der Energieversorgung der Brunnenbetreiber zu vermeiden, wurde jede Messeinheit dafür mit einem eigenen Akku ausgestattet. Die Akkus sollen neben der baulichen Trennung auch den Betrieb der Messeinheiten an den Brunnen ohne direkte Stromversorgung über einen längeren Zeitraum (möglichst die komplette Unterbrechung der Beregnung) sichern. Die Akkuladung erfolgt über eingebaute Ladegeräte, die vom Stromanschluss der Brunnen bzw. den im Betrieb laufenden Aggregaten mit Energie versorgt werden sollen.

Optional könnten auch Solarmodule den Ladestrom liefern. Darauf wurde jedoch aus Kostengründen (netto rd. 4.800 €/Station), und aufgrund von Hinweisen auf Vandalismus im Projektgebiet, zunächst verzichtet.

Leider ist es aufgrund von noch nicht abschließend geklärten Ursachen bei den Br. 3 und 11 zu Ausfällen aufgrund nicht ausreichender Ladung der Akku gekommen. Bei den mit Aggregat betriebenen Brunnen ist nur die Anlage bei Br. 4 bisher ohne Energieprobleme durchgelaufen. Dafür kam es bei diesem Brunnen Anfangs zu Datenausfällen (fehlerhaften Messwerten), da die eingesetzte Drucksonde einen Wassereintritt hatte.

Da das Monitoringsystem bei Br. 11, trotz regelmäßigem und auch längerer Pumpphasen im Juli 2022, und das System bei Br. 12, der einen festen Stromanschluss hat, im Oktober 2022 ausgefallen sind, können zurzeit auch technische Probleme nicht ausgeschlossen werden.

Auch wenn die Ausfälle bei den Br. 3 und 11 durch den Einsatz neuer und geladener Akkus zwischenzeitlich behoben sind, steht die ursächliche Klärung noch aus und ist voraussichtlich erst in der nächsten Beregnungssaison möglich.

Bei den Br. 4 und später Br. 26 kam es aufgrund von Wassereintritten in die Pegelsonden zu fehlerhaften Pegelmessungen. Da die Fehleranalyse mit Kontrollmessungen und Kontrolle der Einbautiefen relativ aufwändig ist, und Arbeiten an den Brunnen nur von den vom Betreiber vorgegebenen Fachfirmen auszuführen waren, konnte die Sonde in Br. 4 erst vor der Beregnungssaison im Februar 2022 ausgetauscht werden. In diesem Zuge wurde auch die Sonde in Br. 34-1 getauscht, der offensichtlich eine sehr große und außerhalb des Messbereichs der Sonde liegende Spreizung zwischen Ruhe- und Betriebswasserständen hat. Eine ebenfalls hierbei erfolgte Überprüfung des Systems an Br. 26 ergab einen technischen Fehler am Datenwandler. Dieser wurde behoben und das System ist danach wieder in Betrieb genommen worden. Der Austausch des Datenwandlers hat zwar die Messwerte bei Br. 26 verändert, leider aber nicht das ganze Problem behoben. Wie sich später herausstellte, waren auch hier die Messfehler zumindest anteilig auf eine fehlerhafte Sonde zurückzuführen. Nachdem hier im April 2022 die in Br. 34-1 ausgetauschte Sonde zum Einsatz kam, läuft das Monitoringsysteme auch an diesen Brunnen seither problemlos. Da die

ausgetauschte Sonde etwas flacher eingebaut worden ist, verringert sich die im Brunnen gemessene Druckhöhe nach dem Sondenwechsel

An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Wassereinbrüche in den fehlerhaften Sonden nicht zwingend qualitative Ursachen haben müssen. Auch wenn ACS die Schäden sehr kulant gehandhabt hat, würden wir übermäßige mechanische Beanspruchung der Sonden und der Sondenkabel beim Einbau als mögliche Ursachen nicht ganz ausschließen. Wie bereits beschrieben, sind die Platzverhältnisse in den Brunnen sehr beengt, und die Sonden mussten zusammen mit den Pumpen eingebaut werden.

Nachdem aufgrund der gegebenen Stromversorgungen durch Netzanschluss oder Generator zunächst zur Laufzeitverlängerung der Systeme auf einen Tiefentladeschutz der Akkus verzichtet worden ist, wurden die Messeinheiten an den mit Aggregat betriebenen Brunnen mit einem Tiefentladeschützen nachgerüstet, nachdem die Systeme nach Wiederinbetriebnahme der Brunnen aufgrund zu geringer Akkuladungen nicht wieder automatisch angelaufen sind.

Trotz dieser Nachrüstung und zwischenzeitlicher Kontrollen sind danach auch die Messsysteme an den Brunnen 3 (seit März 2022) und 11 (seit Juli 2022) ausgefallen. Auch wenn deren Betrieb mit Austauschakkus zur Zeit wieder funktioniert, ist es bisher noch nicht gelungen, den Fehler zu finden. Bei einer Kontrolle am Br. 3 Anfang September wurde eine ausgelöste Sicherung im Schaltkasten des Generators als mögliche Ursache gefunden. Nachdem die Sicherung wieder drin war und der Generator gelaufen ist, hatten alle Komponenten wieder Strom und das System ist neu gestartet worden. Soweit vor Ort erkennbar, hatte dies auch funktioniert. Aufgrund der voreingestellten Mess- und Datenübertragungszeiten, zeigte sich erst später (wöchentliche Datenübertragung), dass die Station nach der Übertragung von 2 Werten wieder ausgefallen sein muss.

Bei einem danach zur Kontrolle durchgeführten Download der Messdaten, wurde bei der Datenaufbereitung festgestellt, dass auch bei Br. 11 seit dem 18.07.2022 keine Daten mehr übertragen werden. Bei der Überprüfung von Br. 11 durch einen Mitarbeiter des Brunnenbetreibers konnten keine Fehler bei der Stromversorgung erkannt werden. Daraufhin ist nach Abstimmung mit der SGD die Fa. Aquitronic mit der Überprüfung der ausgefallenen Systeme beauftragt worden. Da die Unterbrechungen bei der Stromversorgung der mit Generator betriebenen Brunnen zumindest zum Teil länger wie erwartet sind, wurden für die betroffenen Systeme Wechselakkus bestellt, die bei Bedarf zum Austausch verfügbar wären.

Nachdem es hier aufgrund von Lieferzeiten zu Verzögerungen kam, und bei dem eigentlich über einen festen Stromanschluss verfügenden Br. 12 seit Mitte Oktober auch keine Daten mehr übertragen werden, wurde auch diese Anlage noch überprüft.

Wie der bisherige Projektverlauf gezeigt hat, lassen sich trotz der guten Kooperation mit den Brunnenbetreibern Verzögerungen bei den technischen Umsetzungen nicht immer vermeiden. Neben dem Ausschluss jeglicher Beeinträchtigung des Beregnungsbetriebs, können auch nur die von den Brunnenbetreibern vorgegebenen Fachfirmen mit Arbeiten an den Brunnen beauftragt werden. Es gibt für die zur Zeit ausgewählten Brunnen nur zwei zuständige Fachfirmen. Beide sind aber gerade in der beregnungsfreien Zeit, die unser Zeitfenster für größere Eingriffen an den Beregnungsbrunnen darstellen, aufgrund von Wartungen, Kontrollen und Instandsetzungen besonders stark ausgelastet. Verzögerungen bei den Abwicklungen unserer Anliegen waren da bisher nicht immer auszuschließen.

Ansonsten beeinträchtigt die erst bei der Bestandsaufnahme zu erkennenden baulichen Ausführungen der Beregnungsbrunnen und der Fördertechnik den Einbau der Pegelmessungen. Aufgrund von zum Teil minimalen Abständen zwischen den Steigleitungen und den Brunnenwänden, war der Einbau der Pegelsonden nur mit angehobener oder zum Teil ausgebauten Brunnenpumpe möglich. Dabei mussten die Sonden in machen Brunnen noch an der Steigleitung fixiert und zusammen mit der Pumpe wieder eingebaut werden. Da in den Brunnen keine Kontrollmessungen der Wasserstände möglich sind, wird auf die automatische Umrechnung der in Meter über Sonde erfassten Wasserstände in m ü. NN verzichtet. Eine automatische Umrechnung der Messwerte mit unsicheren Einbautiefen und Abstichwerten suggeriert eine nicht gegebene Genauigkeit.

Um die gemessenen und in Meter über Sonde erfassten Druckwerte aber im Bedarfsfall auch in Wasserstände in Meter über NN umrechnen zu können, wurden im Nachgang noch die Messpunkthöhen und Lagekoordinaten der Beregnungsbrunnen eingemessen. Damit können die kontinuierlich erfassten relativen Druckwerte (m über Sonde), mit den beim Sondeneinbau erfassten Einbautiefen und Wasserständen, in absolute Werte in m ü. NN umgerechnet werden.

3. Sachstand

Nach nunmehr etwas über einem Jahr Betriebszeit, in der auch eine komplette Beregnungssaison liegt, muss zusammenfassend festgestellt werden, dass das im Probetrieb befindliche Monitoringsystem der Beregnungsbrunnen, trotz der festgestellten Störungen und Ausfälle, ein geeignetes Werkzeug für ein Monitoring von Beregnungsbrunnen darstellt.

Auch wenn die bauliche Ausführung der Beregnungsbrunnen mit unvermeidlichen Ungenauigkeiten bei der Ermittlung der absoluten Wasserstände in den Brunnen verbunden ist, und sehr große Brunneneintrittsverluste zu extremen, z.T. bis auf die Pumpen reichenden Absenkungen der Betriebswasserstände führen, lässt sich mit den korrekt erfassten relativen Daten im Sinne der Fragestellung zweifelsfrei beurteilen, ob eine GwEntnahme den Aquifer beeinträchtigt oder nicht. Ganz klar kommt es in der Beregnungssaison zu regionalen Absenkungen des GwSpiegels in der Beregnungssaison. Diese sind aber deutlich geringer als die technischen Absenkungen in den Brunnen. In den Beregnungspausen regeneriert sich der erschlossene Aquifer und die GwStände steigen wieder auf das Ausgangsniveau an.

Die zum Teil sehr weit abgesenkten Betriebswasserstände können aus technischen Gründen (zu nah an der Pumpe, Überschreitung des Messbereichs) nicht in jedem der Brunnen vollständig erfasst werden. Da sie aber keine hydrogeologischen oder geohydraulischen Auswirkungen haben, ist damit aber keine Einschränkung der Aussagekraft der erfassten Pegeldaten verbunden.

Mit den im Beobachtungszeitraum erfassten Wasserstandsdaten kann man schon jetzt absehen, auch wenn die Wiederanstiegsphase nach Beendigung der Beregnungssaison noch nicht ganz abgeschlossen ist, dass die GwEntnahmen aus den Beregnungsbrunnen keine nachteiligen Veränderungen der hydrogeologischen Situation im Beobachtungsbereich Hochstadt – Zeiskam zur Folge hatten. Die Wasserstände

vor der Beregnungssaison 2022 wurden in allen gemessenen Brunnen bei weiterhin steigendem Trend schon am Ende des Berichtszeitraums nahezu wieder erreicht.

Das belegen auch die Ganglinien der im Monitoringgebiet in verschiedenen Aquifertiefen eingerichteten Mehrfach-GwMessstelle (ZSM GWM 1-3). Die hier seit Juli 2015 beobachteten GwStände ergeben keine Hinweise auf eine Speichorentleerung.

Neben Problemen mit der Energieversorgung gab es bei den Br. 4 und 26 aber auch technische Fehler. Bei Br. 4 sendete die Sonde mutmaßlich ein fehlerhaftes Signal und wurde im Zuge der Anpassung der Sondeneinbautiefen an anderen Brunnen am 11.02.2022 ausgetauscht.

Bei Br. 26 konnte die Fa. AquiTronic zunächst auch einen Fehler am Datenlogger nicht ausschließen. Die Messstation wurde daher am 09.02.2022 zur Überprüfung und Reparatur abgebaut, und am 15.02.2022 wieder montiert und in Betrieb genommen. Das hatte zwar auch die erfassten Messwerte der Pegelsonde verändert, aber augenscheinlich das Problem nicht behoben. Die erfassten Druckwerte waren danach zwar rd. einen Meter höher, für den Brunnenstandort aber immer noch zu niedrig. Damit lag die Vermutung nah, dass auch hier die Drucksonde fehlerhaft arbeitet. Diese konnte dann in Abstimmung mit der Fa. Stubenbordt im April 2022 von der Fa. BLT gegen die wegen der Messbereichsüberschreitungen in Br. 34-1 ausgewechselte Sonde getauscht werden.

Noch nicht gelöst sind die technischen Ursachen bei den mit Aggregat betriebenen Brunnen 3 und 11, die eventuell auf eine unzureichende Energieversorgung zurückzuführen sind.

Trotz Nachbesserung der Messstationen mit einem Tiefentladeschutz, und einer Überprüfung mit Neustart des zuerst ausgefallenen Systems am Br. 3, ist es nicht gelungen, die Messstation von Br. 3 während des Generatorbetriebs wieder dauerhaft in Betrieb zu nehmen.

Mitte Juli 2022 ist dann auch die Mess- und Übertragungstechnik am Br. 11 ausgefallen, obwohl der Brunnen nach den vorherigen Aufzeichnungen von März bis Juli immer wieder in Betrieb war. Bei einer Kontrolle durch den Betreiber waren auch keine Fehler bei der Stromversorgung festzustellen, weshalb bei dieser Anlage auch andere technische Probleme oder Schäden nicht auszuschließen waren.

Seit Mitte Oktober ist jetzt auch die Datenübertragung bei Br. 12 abgebrochen, der einen festen Stromanschluss hat und davor auch sehr stark betrieben worden ist. Hier sollte demnach sicher Strom für die Ladung des Akkus zur Verfügung stehen.

Die Überprüfung der zurzeit in Störung befindlichen Anlagen durch die Fa. Aquitronic erfolgte am 28.11.2022. Wie uns Herr Schrägle telefonisch mitteilte, hat bei den Brunnen 3 und 11 der Tiefentladeschutz der Akkus die Stromversorgung der Systeme unterbrochen. Die Ursache dafür, dass die Akkus mutmaßlich nicht mehr geladen wurden, kann noch nicht festgestellt werden. Wir gehen davon aus, dass das Problem auf der Seite der Generatoren liegt, die sich zurzeit in der Wartung und Überprüfung befinden. Um die Funktion der Anlagen zunächst wieder herzustellen, hat Herr Schrägle neue und komplett geladene Austauschakkus eingesetzt, womit die Anlagen seither wieder laufen.

Die Überprüfung der Anlage bei Br. 12 hat als Fehlerursache ebenfalls eine Unterbrechung der Energieversorgung ergeben. Da der Brunnen einen festen Stromanschluss hat und uns nicht bekannt ist, ob andere

technische Gründe die Abschaltung erforderlich machten, wurde hier die Fa. Stubenbordt um eine Überprüfung gebeten. Diese ist auch bereits veranlasst worden.

Während bei den Pegelmessungen die technischen Probleme zwischenzeitlich behoben werden konnten und nur noch eine vertretbare Ungenauigkeit aufgrund der brunnenbaulichen Ausführungen vorhanden ist, sind bei dem stichprobenweisen Abgleich der erfassten Förderdaten mit den abgelesenen Zählerständen der Durchflussmessungen, die erst mit den von Herrn Schrägle übermittelten Zählerständen stattgefunden hat, weitere Fragen aufgetaucht. Bei den exemplarisch überprüften Brunnen wurden signifikante Abweichungen zwischen den errechneten und tatsächlich gemessenen Fördermengen festgestellt.

Wie die daraufhin durchgeführte detailliertere Kontrolle der erfassten Messwerte zeigt, gibt es bei den Brunnen nicht wie erwartet nur Entnahmen. Wie bereits beschrieben kommt es mutmaßlich aufgrund fehlerhafter Rückflussverhinderer auch immer wieder zu Infiltrationen. Die infiltrierten Mengen sind fallweise so groß, dass dadurch die Ruhewasserspiegel im Brunnen sichtbar angehoben werden. Durch die richtungsunabhängige Messung werden die Infiltrationsmengen digital als Durchfluss (Förderrate) übermittelt und erhöhen dadurch die rechnerisch ermittelte Entnahmemenge.

Wie die stichprobenhafte Kontrolle der Zählerstände mit den anhand der erfassten Förderraten errechneten Mengen ergeben hat, bestehen bei den bisher ohne Unterbrechungen bei der Datenerfassung betriebenen Anlagen der Br. 4 und 12 Mehrmengen von 14 bzw. 17 %.

Bei dem Brunnen 11 lag die rechnerisch ermittelte Entnahmemenge 27 % unter dem abgelesenen Zählerstand. Da es bei diesem Brunnen aber zu Beginn mehrfach Erfassungs- und Übertragungsprobleme gab, kann hier nicht ausgeschlossen werden, dass alle Durchflüsse erfasst worden sind.

Bei der detaillierten Suche nach den Ursachen der Abweichungen bei den Br. 4 und 12 wurde festgestellt, dass diese Brunnen im Betrieb sehr stark abgesenkt werden, und dabei wahrscheinlich auch immer wieder den Trockenlaufschutz auslösen. Da bei den mutmaßlich handbetriebenen Brunnen innerhalb der einzelnen Betriebsphasen wiederholt Förderunterbrechungen (keine gemessenen Förderraten) zu beobachten sind, liegt der Verdacht nahe, dass die Betriebspumpe trockenlaufbedingt sehr häufig schaltet. Bei den aus technischen Gründen nur stündlich erfassten Werten, hat das zur Folge, dass die tatsächlich erfolgten Entnahmen nicht mehr korrekt abgebildet werden. Aufgrund der häufigen Förderunterbrechungen kommt es dazu, dass die aus den Stundenwerten errechnete Fördermenge größer ist als die tatsächliche entnommene Menge ist, weil der Brunnen von den bei der Berechnung angesetzten 60 Minuten z.B. nur 40 Minuten in Betrieb war. Einzige Option dieses Genauigkeitsproblem grundsätzlich zu lösen wäre eine signifikante Erhöhung des Messtakts, was aber wiederum auch technische Änderungen bei der Energieversorgung und eventuell auch bei der Datenerfassung erforderlich machen würde.

Da die Übertragungsraten auch der grundlegende Genauigkeitsansatz alternativer Technologien ist, dann aber auch deutlich höhere Anforderungen an die Datenübertragung stellt und auch mit deutlich höheren Übertragungskosten verbunden ist, wird darin zunächst kein Lösungsansatz für das Problem gesehen.

4. Monitoring

Wie den für alle Brunnen angefügten Ganglinien (Anlage 2) zu entnehmen ist, hat die für das Pilotprojekt eingesetzte Messtechnik seit ihrer Inbetriebnahme im August 2021, abgesehen von den bereits beschriebenen Störungen, funktioniert.

Die GwEntnahmen wurden als Förderraten zusammen mit den damit verbundenen Wasserspiegeländerungen erfasst und aufgezeichnet. Das hat, abgesehen von Br. 2 am Golfplatz, selbst bei den beiden Brunnen mit den fehlerhaften Drucksonden zusammengepasst. Am Br. 2 hatte der Wasserzähler im November 2021 und im Februar 2022, eigentlich außerhalb der Beregnungszeit, kurzzeitige Durchflussmengen angezeigt, ohne dass der Wasserspiegel im Brunnen darauf reagiert hatte. Da augenscheinlich die Durchflussmesser und auch die Pegelsonde funktionieren, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die von der Fa. Tisatec in einem Peilrohr im Brunnen eingebaute Pegelsonde in dieser Zeit keinen hydraulischen Kontakt mit dem Brunnen hatte. Da der Brunnen augenscheinlich sehr stark auf Entnahmen reagiert, kann ein anders gearteter Fehler ausgeschlossen werden.

Nach unserer Einschätzung kann bei Br. 2 auch ein alterungsbedingtes Leistungsproblem des Brunnens nicht ausgeschlossen werden. Abgesehen von der nicht reagierenden Pegelmessung ist die Pumpe evtl. aufgrund eines Fehlers in der Steuerung am 21.11.21 um 19:25 Uhr noch einmal in Betrieb gegangen, und ist dann bis zum 24.11.21 auch nachts immer wieder einmal kurz (1-2 Stunden) gelaufen. Aufgrund der auch hier zu beobachtenden Differenzen zwischen Zählerstand und rechnerisch ermittelter Fördermenge wahrscheinlich auch immer nur solange, bis der Trockenlaufschutz den Pumpbetrieb wieder unterbrochen hat. Die Differenz zwischen dem am 10.02.2022 abgelesenen Zählerstand (rd. 936 m³) und dem rechnerisch ermittelten Wert (1.656 m³) ist bei diesem Brunnen am größten. Aufgrund der häufigen Schaltzeiten spricht alles dafür, dass die tatsächliche Pumpzeit deutlich kürzer war, als die stündlich erfassten Förderaten vermuten lassen.

Eine finale Kontrolle des Sachverhalts war uns vor Ort bisher noch nicht möglich. Nachdem im Februar 2022 festgestellt wurde, dass die Pumpe defekt ist, ist der Brunnen seither außer Betrieb. Ende April ist dann die Pumpe, und leider auch die Pegelsonde, ausgebaut worden. Die Pegelsonde hat Tisatec dann auf unseren Wunsch bei einem turnusmäßigen Ortstermin im August 2022 wieder eingebaut. Danach wurde augenscheinlich auch zweimal kurz versucht, eine kleine Pumpe im Brunnen laufen zu lassen. Dabei wurde der Wasserspiegel im Brunnen signifikant abgesenkt, was dann auch von der wieder eingebauten Sonde eindeutig registriert wurde.

Wir haben versucht eventuelle Hinweise auf die beobachteten Fehler bei Tisatec zu recherchieren, gehen demnach aber davon aus, dass sich nicht mehr rekapitulieren lässt, warum bei den kurzzeitigen Entnahmen im November 2021 und Februar 2022 keine Reaktionen des GwSpiegels zu verzeichnen waren. Da seit August 2022 augenscheinlich beide Messungen (Förderraten und Pegel) funktionieren, und der Brunnen immer noch nicht wieder in Betrieb ist, gibt es aktuell keine Hinweise auf Fehlfunktionen. Eine weitere Kontrolle ist erst im eventuellen zukünftigen Betrieb möglich.

Bei der Erfassung der Fördermenge können, wie bereits beschrieben, nur die Förderraten (m³/h) und nicht die Zählerstände (m³) übertragen und von dem System erfasst werden. Das ist bei in einem engen Takt erfassten Messwerte oder einem wirtschaftlichen Brunnenbetrieb auch kein Problem. Im vorliegenden Fall wurde aus Gründen der Energieeinsparung und der Datenerfassung nur die Erfassung von Stundenwerten durchgeführt. Das führt bei dem nicht vorhersehbaren Brunnenbetrieb am Trockenlaufschutz, der eine Vielzahl von Schaltzyklen zur Folge hat, und fehlerhaften hydraulischen Anlagen (Rückfluss), bei der Aufsummierung der Förderraten offensichtlich zu einer Überschätzung der tatsächlichen Fördermengen.

Zurzeit gehen wir davon aus, dass die Höhe der Differenzen direkt vom Brunnenbetrieb und den hydraulischen Anlagen abhängt. Es wird erwartet, dass bei Brunnen die nicht trockenlaufbedingt so häufig schalten

und über funktionierende hydraulische Anlage verfügen, diese systematischen Fehler über den Betrachtungszeitraum deutlich geringer sind.

In der nachfolgenden Tabelle sind die bei der Überprüfung der Anlagen am 28.11.22 abgelesenen Zählerstände den für diese Brunnen rechnerisch ermittelten Entnahmemengen gegenübergestellt. Leider sind von den bisher vorliegenden Messungen nur die Brunnen 4 und 12 vergleichbar. Bei Brunnen 3 und 11 haben Systemausfälle (Br. 3 in 2022, Br. 11 in 2021) zu einer geringeren rechnerischen Fördermenge geführt.

Tabelle 4-1: Kontrolle der Entnahmemengen, abgelesene und berechnete Entnahmemengen.

Brunnen	Abgelesen (m ³ , Stand 28.11.22)	Berechnet (m ³ , 19.08.2021 – 31.10.2022)
3*	27.027	-
4	35.405	40.424
11*	45.241	32.989
12	56.207	66.003

*Systemausfälle

Auch wenn alles für eine Hauptfehlerursache durch infolge von Trockenlauf häufig schaltende Brunnenpumpen spricht, werden zurzeit noch mögliche Abweichungen aufgrund fehlerhafter Parametrierungen der Messsignale überprüft. Da die Durchflussmesser in den betreffenden Brunnen baugleich und gleich parametrisiert sind, wird dies aufgrund der beobachteten prozentualen Unterschiede jedoch für relativ unwahrscheinlich gehalten.

Die Infiltrationen, die mehrere 10er m³/Stunde erreichen können und besonders zu Saisonbeginn zu beobachten sind, sind augenscheinlich auf feststehende Rückflussverhinderer zurückzuführen. In einigen Fällen schließen diese aber offensichtlich in der gesamten Betriebszeit der Brunnen nicht mehr vollständig. Die infiltrierten Wassermengen werden bei der richtungsunabhängigen Parametrierung als Fördermengen erfasst und lassen sich bei der automatisierten Konvertierung der Daten auch nicht ohne weiteres ausschließen. Bei Bedarf, z.B. bei signifikanten Abweichungen zu den gemeldeten Mengen, müssten diese Fehlwerte händisch überprüft und korrigiert werden, was bei rd. 8.760 Datensätzen/Brunnen und Jahr allerdings mit einem gewissen Aufwand verbunden.

Da uns bisher, abgesehen von störungsbedingten Kontrollablesungen an den Br. 2, 3, 4, 11 und 12, keine Zählerstände vorliegen, konnte nur eine stichprobenartige Kontrolle der rechnerisch ermittelten Fördermengen erfolgen.

Aufgrund der parallel erfassten Pegelstände ist davon auszugehen, dass die Wasserzähler in der gesamten Betriebszeit eingebaut waren und die anhand der übertragenen Förderraten rechnerisch ermittelten Entnahmemengen aufgrund der vorgenannten Gründe größer wie die tatsächlich entnommenen Wassermengen sind.

Auf der Grundlage der für die Beregnungssaison 2022 ermittelten Daten, hat die numerische Auswertung der Förderraten folgende Entnahmemengen ergeben:

Tabelle 4-2: Entnahmemengen, errechnet aus den vom 01.01.2022 – 31.12.2022 erfassten Förderaten.

	Entnahme 2022 [m³]
Brunnen 2-1	128
Brunnen 2-2	0
Brunnen 3	27.026*
Brunnen 4	36.597
Brunnen 11	27.091
Brunnen 12	60.514
Brunnen 26	10.033
Brunnen 27	59.009
Brunnen 34-1	7.550

* Systemausfall, keine Übertragung; am 07.09.2022 abgelesener Zählerstand für die Zeit seit August 2021

Bei den Ruhewasserständen der im Monitoring beobachteten Brunnen zeigt sich auch in der beregnungsfreien Zeit (2021 – 2022) eine marginale, zyklische Beeinflussung durch andere GwEntnahmen. Hierbei handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um Beeinflussungen durch die im Umfeld betriebenen Brunnen der öffentlichen TwVersorgung. Die beobachteten Beeinflussungen sind allerdings so gering und wenig signifikant, dass eine Zuordnung zu bestimmten Brunnen kaum möglich ist.

Augenscheinlich wird diese Beeinflussung nach der Beregnungssaison noch von einem regionalen Wiederanstieg in dem von den Beregnungsbrunnen erschlossenen GwLeiter überlagert, bei dem vor Beginn der Beregnungssaison 2022, trotz der marginalen Beeinflussung durch die TwBrunnen, im beobachteten Bereich wieder quasistationäre Verhältnisse erreicht wurden.

Dieser Wiederanstieg setzt wie auch im Jahr 2021 unmittelbar am Ende der Beregnungszeit 2022 wieder ein, war aber, wie bereits im Vorjahr, zum Stichtag der Berichterstellung (31.12.2022) noch nicht vollständig abgeschlossen.

Signifikante Reaktionen der in den Beregnungsbrunnen gemessenen Ruhewasserstände sind augenscheinlich nur zu beobachten, wenn im deutlich näheren Umfeld andere Beregnungsbrunnen betrieben wurden. Da die Beregnungsbrunnen nicht flächendeckend in das Pilotprojekt eingebunden sind, lassen sich auch hier nur bedingt Korrelationen herstellen.

Die in den Monitoringbrunnen erfassten Ruhe- und Betriebswasserstände zeigen eine lokale saisonale Absenkung des GwSpiegels. Auch wenn die GwSpiegel in den Sommermonaten grundsätzlich etwas fallen, spricht der unmittelbar am Ende der Beregnungssaison einsetzende Wiederanstieg dafür, dass bei der zu beobachtenden Absenkung auch ein entnahmebedingter Anteil enthalten ist. Dieser Anteil ist im östlichen Bereich des Monitoring Gebietes (Br. 12, 26, 27 und 34/1) augenscheinlich auch etwas größer, was sicher auch der höheren Brunnendichte in diesem Gebiet geschuldet ist.

In Richtung Westen (Br. 2, 3, 4, und 11) geht mit den größeren Abständen zwischen den Brunnen dieser räumliche Effekt zunehmend zurück. Die betriebsbedingten Absenkungen in den Einzelbrunnen erreichen nach den jeweiligen entnahmen wieder sehr schnell das Ausgangswasserspiegelniveau.

Grundsätzlich ist für alle Brunnen festzustellen, dass die jeweils gemessenen Absenkungen in keiner Weise die tatsächlichen Absenkungen im GwLeiter wiedergeben. Aufgrund der bereits beschriebenen sehr

großen Brunneneintrittsverluste werden die Betriebswasserspiegel in den Brunnen deutlich weiter absenkt, als im umgebenden GwLeiter.

5. Zusammenfassung und Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise

Nach der Installation und Inbetriebnahme der Pilotanlagen für das Monitoring der ausgewählten Beregnungsbrunnen im August 2021 zeigten sich bereits kurz nach Testbeginn erste augenscheinliche Messfehler bei den Br. 4 und 26. Nach dem zwischenzeitlichen Austausch der Sonden, in die nach Kontrolle des Herstellers in beiden Fällen Wasser eingetreten sein soll, funktionieren diese Messsysteme an dem Brunnen seither ohne Probleme.

Von technischen Störungen betroffen sind im Berichtszeitraum die Messsysteme an den Brunnen 3 und 11, deren Stromversorgung mit Aggregaten erfolgt. Die Systeme konnten zwar zwischenzeitlich mit neuen Akkus wieder in Betrieb genommen werden. Die Ursachen für die unzureichende Akkuladung sind bisher jedoch noch nicht geklärt. Seit Mitte Oktober werden auch von Br. 12 keine Daten mehr übertragen. Dessen Messsystem ist mit dem festen Stromanschluss des Brunnens verbunden, wo die Energieversorgung eigentlich kein Problem sein dürfte.

Mit der Überprüfung der ausgefallenen Anlagen war die Fa. Aquitronic beauftragt. Aufgrund der Lieferverzögerung von zwei bedarfsweise vorgesehenen Austauschakkus (Br. 3 und 11) hatte sich der Termin auf den 28.11.2022 verschoben. Herr Schrägle von Aquitronic, der die Kontrollen vorgenommen hat, stellte bei allen geprüften Anlagen fest, dass die Ausfälle durch zu geringe Ladestände der Akkus verursacht wurden. Warum die Generatoren und auch der Stromanschluss bei Br. 12 im Betrieb die Akkus nicht geladen haben, lässt sich zurzeit nicht feststellen.

Bei Br. 12 war bei der Kontrolle am 28.11.22 die Hauptsicherung der Brunnensteuerung gezogen, was aber erst nach dem letzten Pumpenbetrieb Mitte September erfolgt sein kann. Den Ausfall der Messstation kann das eigentlich nicht erklären, da der Akku hier schon länger nicht geladen worden sein muss.

Wir haben den Betreiber um eine Überprüfung gebeten, die er bei den zuständigen Fachfirmen auch schon veranlasst hat. Sollte sich die Stromversorgung zeitnah wieder herstellen lassen, müsste das System mit der am 28.11.2022 gemessenen Restladung wieder automatisch anlaufen können.

Ein brunnenseitiges technisches Problem besteht augenscheinlich am Br. 2 (Golfplatz). Hier hat es mutmaßlich aufgrund von Brunnenalterung einen signifikanten Leistungsrückgang bei dem Beregnungsbrunnen gegeben, der dann wahrscheinlich auch den aktuellen Pumpenschaden zur Folge hatte. Aus diesem Grund war der Brunnen im Jahr 2022 nicht in Betrieb und auch im Jahr 2021 gab es nach den erfassten Daten in der Beregnungssaison aus diesem Brunnen keine Entnahmen.

Mit der ausgefallenen Pumpe wurde Ende April 2022 leider auch die Sonde ausgebaut. Diese ist auf unsere Bitte im Rahmen eines turnusmäßigen Kontrolltermins im August 2022 wieder eingebaut worden, und hat danach, was ein kurzer Probelauf mit einer kleineren Pumpe gezeigt hat, augenscheinlich auch funktioniert und gemessen. Da der Brunnen beim Probelauf bereits mit nur halber Leistung sehr schnell in Richtung

Trockenlauf abgesenkt worden ist, bleibt abzuwarten was hier weiter passiert. Eine Wiederinbetriebnahme der GwEntnahmen zur Beregnung hat es im Berichtszeitraum zumindest nicht gegeben.

Ergänzend zu dem ursprünglichen Konzept zum Monitoring der Brunnenbetriebs, erfolgte im Nachgang noch eine lage- und höhenmäßige Einmessung der Brunnen. Damit können die in den Beregnungsbrunnen als Druck gemessenen GwStände (Meter über Sonde) bei Bedarf, z.B. wie für die gemeinsame Stichtagsmessung am 15.02.2022, mit den bereits beschriebenen Abstrichen bei der Genauigkeit, in m ü. NN umgerechnet und in regionale hydrogeologische Betrachtungen einbezogen werden.

Nachdem nach der Inbetriebnahme der Monitoringsysteme im August 2021 und dann beim Wiederanstieg des GwSpiegels nach der Beregnungssaison in mehreren Brunnen Messbereichsüberschreitungen zu beobachten waren, erfolgte kurz vor der Stichtagsmessung eine Korrektur bei den Einbautiefen einzelner Pegelsonden, die aufgrund etwas zu großer Einbautiefen die Ruhewasserstände der betroffenen Brunnen nicht mehr erfassen konnten. In Br. 34-1 wurde eine Sonde mit größerem Messbereich eingebaut, da hier die Pegeländerungen den Messbereich weit überschritten hatten.

Das Monitoringsystem konnte damit zwischenzeitlich soweit optimiert werden, dass die relativen Daten der Drucksondenmessungen in dezimetergenaue Wasserstände in m ü. NN umgerechnet werden können.

Auch wenn dadurch über den Betrieb der Einzelbrunnen hinausgehende räumliche Betrachtung der gewonnenen Wasserstandsdaten möglich sind, möchten wir an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich auf die eingeschränkte Genauigkeit und nicht auszuschließende Abweichungen im dm-Bereich hinweisen.

Trotz der aufgrund der baulichen Ausführung der Brunnen und Anlagen gegebene Ungenauigkeiten bei der Umrechnung der erfassten relativen Daten (Wasserstände in Meter über Sonde), lassen auch diese Messwerte eine zweifelsfreie fachliche Bewertung der zur Beregnung durchgeführten GwEntnahme im Beobachtungsbereich zu. Die im Rahmen der Beregnung erzeugte lokale Absenkung des GwSpiegels im dm-Bereich regeneriert sich nach Saisonende sehr schnell.

Wie den dokumentierten Ganglinien der beobachteten Brunnen zu entnehmen ist, sind die Ausgangswasserspiegel vor der Beregnungssaison im Frühjahr 2022 bereits am Ende des Berichtszeitraums im Dezember 2022 wieder nahezu erreicht.

Die GwBewirtschaftung im Raum Hochstadt – Zeiskam zeigt keine nachteiligen Veränderungen der hydrogeologischen Situation und ist als nachhaltig zu bezeichnen.

Die in den Einzelbrunnen sehr weit abgesenkten Betriebswasserstände sind dabei als rein technischen Wasserstände anzusehen, die sich aufgrund der baulichen Ausführung der Brunnen und den damit verbundenen sehr großen Brunneneintrittsverlusten nur in den Brunnen selbst so tief einstellen. Die tatsächliche entnahmebedingte Absenkung im GwLeiter ist deutlich geringer und anhand der jetzt vorliegenden Beobachtungsdaten ist auch davon auszugehen, dass sich diese nur im engeren Brunnenumfeld auswirkt.

Nachdem noch vor Beginn der Beregnungssaison 2022 einige messtechnischen Optimierungen umgesetzt werden konnten, bestehen leider immer noch die sich zu Beginn des Jahres 2022 bereits andeutenden technischen Probleme mit der Energieversorgung an den Brunnen die mit Generatoren betrieben werden. Hier wird weiterhin versucht die Ursachen zu finden, und die Probleme zu beheben. Die Aggregate, die als mögliche Ursachen ebenfalls nicht ausgeschlossen werden können, sind bereits abgeräumt und stehen erst wieder ab Beginn der Beregnungssaison 2023 zur Verfügung.

Auch wenn die betroffenen Stationen Br. 3 und 11 mit den Austauschakkus wieder Betrieb genommen werden konnten, muss für den zukünftigen Betrieb überprüft werden, ob die Probleme beim nächsten Generatorbetrieb wieder auftreten und was diese verursacht.

Bis dahin könnte aber, sofern die Überprüfung der Anlagen keine weiteren technischen Fehler an den betroffenen Monitoringsystemen ergibt, und die geplanten Austauschakkus den Betrieb der Stationen aufrechterhalten, bei der Wartung der Aggregate schon einmal überprüft werden, ob die für die Messtechnik genutzten 220-V-Anschlüsse in Ordnung und für die angeschlossenen Elektronik geeignet sind.

Zur besseren Beurteilung der geohydraulischen Situation empfiehlt sich in jedem Fall die Beobachtung der GwStandentwicklung bis zum Ende des aktuell noch laufenden regionalen Wiederanstiegs, der wie vor Beginn der Beregnung im Jahr 2022 auch wieder vor Beginn der Beregnung im Jahr 2023 abgeschlossen sein sollte. Die gesammelten Betriebsdaten der beobachteten Brunnen stünden dann zusammen mit den Klimadaten dieses Zeitraums für ein vollständiges „Beregnungsjahr“ zur Verfügung.

Leider hat erst die bei der Berichterstellung durchführbare stichprobenhafte Kontrolle der rechnerisch ermittelten Fördermengen mit den abgelesenen Zählerständen der eingebauten Großwasserzähler ergeben, dass hier deutliche Abweichungen vorhanden sind. Nach aktuellem Kenntnisstand ist dies auf die hydraulischen Anlagen und den Brunnenbetrieb zurückzuführen und kann von der eingesetzten Messtechnik nicht beeinflusst werden. Einziger Weg zur Fehlerminimierung wäre ein engerer Messtakt, was aus Gründen der Energieversorgung und der Datenübertragung und -verarbeitung technisch schwierig ist. Da eigentlich alle Brunnen im Pilotprojekt zumindest in der Beregnungssaison über eine ausreichende Stromversorgung verfügen sollten, ist zu empfehlen die Messtakte versuchsweise zu verkürzen. Damit könnte überprüft werden, ob sich die Abweichungen bei den Fördermengen damit wie erwartet reduzieren lassen.

Da der bisherige Betrieb gezeigt hat, dass unterschiedlichste Probleme auftreten können, die im Berichtszeitraum immer noch nicht alle behoben werden konnten, ist sollte das Pilotprojekt noch über den ursprünglich geplanten Zeitraum von nur einem Jahr hinaus weiterlaufen.

Durch die Ursachenermittlung und Behebung auftretender Probleme kann auch die im Rahmen des Pilotprojektes eingesetzte Technik weiterentwickelt werden.

Die von ARAD angegebene Batterielebensdauer bei den Durchflussmessern soll bis zu 15 Jahre betragen, wobei wir gehen davon aus, dass diese Zeit unter gemäßigteren Bedingungen ermittelt worden ist. Für eine Abschätzung der möglichen Betriebskosten wäre es hilfreich zu klären, wie lange die Laufzeit bei den der Witterung ausgesetzten Durchflussmessern an den Beregnungsbrunnen ist.

Um einsetzende Messfehler und Ausfälle frühzeitig zu erkennen, sollten auch im weiteren Betrieb die Messwerte sowie die technische Funktion der Systeme regelmäßig überprüft werden.

Büro HG GmbH

Gießen, den 03.01.2023

Dipl.-Geol. Dr. Bernd Hanauer

Dipl.-Geol. Norbert Siek