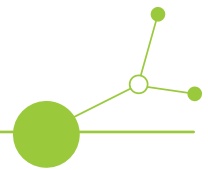


MAURICE

Deliverable 2.1.2

Joint report for pilot actions
monitoring in Stuttgart-Feuerbach
and Lombardy



Version 2
11 2025





D2.1.2

Joint report for pilot actions monitoring in Stuttgart-Feuerbach and Lombardy

Authors

Paolo Colombo¹

Martin Scheuber²

Kristina Schenk²

Luca Alberti¹

¹ Department of Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano, Milan, Italy

² State Capital of Stuttgart, Stuttgart, Germany

Acknowledgments

Special mention to Stefano Gomarasca, Rachele Riva and Andrea Rovelli who participated in the data collection for Pilot Action Milan.



Table of contents

A. Introduction	4
B. Monitoring results for Pilot Action Stuttgart	5
1. Einleitung	6
2. Pilotgebiet	6
3. Hydrogeologie	7
4. Hydrologisches Monitoring	8
5. Grundwasser-Monitoring	11
5.1. Teilgebiet 1	13
5.2. Teilgebiet 2	16
5.3. Teilgebiet 3	21
5.4. Teilgebiet 4	24
5.5. Teilgebiet 5	27
5.6. Teilgebiet 6	31
5.7. Teilgebiet 7	35
5.8. Aquifer Quartär	36
5.9. Aquifer Mittlerer Gipshorizont/Bleiglanzbankschichten	37
5.10. Aquifer Dunkelrote Mergel	38
5.11. Aquifer Bochinger Horizont	39
5.12. Aquifer Grundgipsschichten	40
5.13. Aquifer Unterkeuper	41
6. Langfristige Entwicklung der Grundwasserentnahmen	42
7. Langfristige Grundwasserdruckhöhenentwicklung	42
7.1. Bereich Stuttgarter Straße	43
7.2. Bereich Werner Straße	43
7.3. Bereich Stuttgart-Nord	44
7.4. Bereich Stuttgart-Wangen	46



8. Datenerhebung für das hydrologische und numerische Gundwassermodell	47
9. Niederschlagsverhältnisse im Zeitraum 12/2023 bis 08/2025	47
10. Anmerkungen zum Monitoring-Prozess	50
11. Vorschläge zum weiteren Vorgehen.....	50
12. Literatur	51
C. Monitoring results for Pilot Action Milan	52
13. Groundwater levels observations	53
14. Lowland springs observations	57
15. Groundwater temperatures observations	59



A. Introduction

The present Deliverable outlines the monitoring results in both Pilot Action Stuttgart and Pilot Action Milan, carried out by MAURICE partners PP3 (City of Stuttgart), PP6 (Politecnico di Milano) and PP7 (Consorzio Est-Ticino Villoresi). These results are then crucial both for the evaluation of the Pilot Action developments and for the work which will be reported in Deliverables 2.2.3, 2.3.2 and 2.3.3, regarding the construction of numerical models and evaluation of scenarios of climate change and adaptation solutions.

Monitoring activities were able to collect groundwater levels and other hydraulic parameters, such as discharges in lowland springs and creeks and precipitation, but also temperatures in groundwater and surface waters.

The report is structured to have a chapter dedicated to each Pilot Action. The chapter about Pilot Action Stuttgart is in German, while the chapter dedicated to Pilot Action Milan is in English. At the beginning of Chapter B (Monitoring results for Pilot Action Stuttgart) an English summary is provided for non-German speakers.



B. Monitoring results for Pilot Action Stuttgart

1. English summary

The diverse effects of climate change on water resources are the focus of the MAURICE project. Over several years, a significant decline in piezometric heads has been observed at numerous groundwater measuring points in different layers of the stratified aquifer in the pilot area of Stuttgart-Feuerbach. The pilot project aims to understand and evaluate the effects of climate change on piezometric levels in the aquifers in Stuttgart-Feuerbach.

The pilot area is located in the north of Stuttgart and comprises the city districts of Feuerbach and Botnang, as well as the Feuerbach catchment area (Fig. 1). The geological structure is complex. From top to bottom, the layers consist of the Quaternary, the Gypsum Keuper (middle gypsum horizon, dark red marl, bochinger horizon, base gypsum layers), the Lower Keuper, and the Upper Muschelkalk.

Due to geological conditions and numerous tectonic faults, groundwater flow conditions in Feuerbach are very complex. The local stratified aquifer system consists of the Quaternary aquifer, the Middle Gypsum Horizon, the Dark Red Marl, the Bochinger Horizon, and the base gypsum layers. The regional aquifer system consists of the Lower Keuper and Upper Muschelkalk aquifers.

In 2007 and 2017, large-scale groundwater level measurements were carried out in the local groundwater system in the pilot area. In all aquifers, piezometric levels dropped from the high slope areas towards the Feuerbach valley line. In all aquifers, groundwater pressure levels fell by up to several meters between 2007 and 2017 and after 2017.

To collect the relevant data for the hydrological model, a weather station was set up in December 2023 in the pilot area, at which precipitation amount, precipitation intensity, relative humidity, absolute humidity, air temperature, ambient pressure, and dew point are recorded every 10 minutes. To estimate the precipitation data from this new weather station for the Stuttgart urban area, the data were compared with data from the Hohenheim and Schnarrenberg weather stations for the period from December 2023 to June 2025. The total precipitation amounts of the three weather stations in this period are of the same order of magnitude, but there are significant differences in the temporal distribution of precipitation, with differences of up to 35 mm per day.

In October/December 2023, 20 data loggers were installed in wells groundwater measuring points in the Quaternary and Keuper aquifer layers mentioned above to continuously monitor the development of piezometric levels (Fig. 4). With a few exceptions, groundwater levels rose relatively steadily by between 0.08 m and 2.26 m between October 2023 and August 2024 (Fig. 5). Detailed graphical representations of piezometric level development are provided.

The monitoring process carried out enabled to evaluate data on the development of piezometric levels in the aquifers in the Quaternary in the Gipskeuper and Lower Keuper for the pilot area, taking into account groundwater withdrawals and groundwater recharge for the period from October 2023 to August 2025. Piezometric levels generally rose during the observation period due to precipitation conditions.

It is proposed that groundwater monitoring in the MAURICE model area be continued in order to record piezometric levels at the wells MB 5, AMIIGA 1, and P 14 representative for the MAURICE model area. In addition, the MAURICE groundwater model is to be continued.



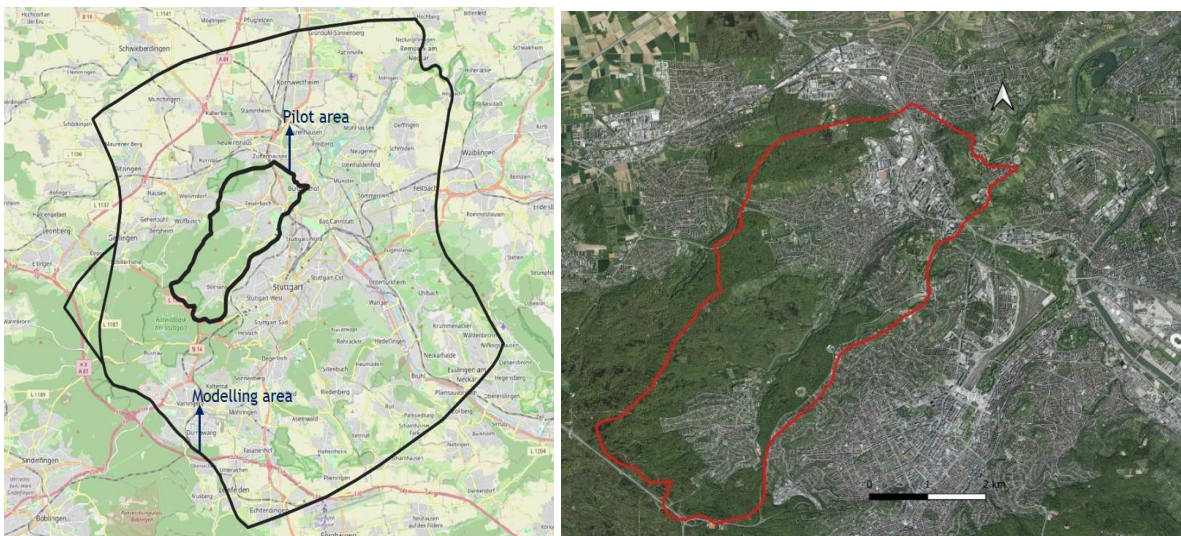
2. Einleitung

Das Amt für Umweltschutz der Stadt Stuttgart nimmt als Partner mit weiteren elf Partner aus sechs mitteleuropäischen Staaten am Projekt MAURICE (Bewirtschaftung der städtischen Wasserressourcen in Mitteleuropa angesichts des Klimawandels) teil. Das Projekt beschäftigt sich mit den unterschiedlichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserressourcen mit dem Ziel die Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasserdruckhöhen zu verstehen und zu bewerten. Im Stadtteil Feuerbach wurden in zahlreichen Grundwassermessstellen stark sinkende Grundwasserdruckhöhen über mehrere Jahre beobachtet. Ziel ist es, die Ursache der fallenden Grundwasserstände sowie ihre Auswirkungen auf die Grundwasserressourcen in Feuerbach zu untersuchen, um Strategien und Handlungsempfehlungen zu entwickeln, mit denen eine Anpassung an künftige Bedingungen erreicht werden kann.

3. Pilotgebiet

Das Pilotgebiet befindet sich im nördlichen Teil von Stuttgart und umschließt die Stadtteile Feuerbach und Botnang und das Feuerbachtal (Abb. 1).

Abb. 1 Lage des Pilotgebiets und des Modellraums des Grundwassermodells von Stuttgart (Stadtkarte und Luftbild)



Das Ziel des Pilotprojektes besteht darin, die Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasserdruckhöhen in Stuttgart zu verstehen und zu bewerten. Im Stadtteil Feuerbach wurde in zahlreichen Grundwassermessstellen ein besorgniserregender Trend sinkender Grundwasserdruckhöhen über mehrere Jahre beobachtet. Diese Beobachtungen wurden kontinuierlich dokumentiert, sodass eine umfangreiche Datenbasis vorliegt. Für den Stadtteil Feuerbach liegen umfangreiche Grundwasserdaten vor, die aus langjährigen umfangreichen Grundwasseruntersuchungen und Bautätigkeiten über mehrere Jahre gewonnen wurden. Dies ist eine solide Grundlage, um die Entwicklung der Grundwasserdruckhöhenentwicklungen mit den vorliegenden Klimadaten zu korrelieren. In der Förderperiode 2021-2027 wurde das Interreg CENTRAL EUROPE-Programm als geeignetes Finanzierungsinstrument identifiziert. Eine entsprechende Projektidee sowie Kooperationen im Rahmen einer hierfür erforderlichen internationalen Projektpartnerschaft konnten konkretisiert werden. Mitbeteiligt an dem Projekt sind die Städte Jaworzno (Polen), Nowy Bydów (Tschechien), Mailand (Italien), Ljubljana (Slowenien) und Varaždin (Kroatien) den letzten Jahren wurden die hydrogeologischen Bedingungen in Feuerbach intensiv erforscht, wodurch ein relativ umfassendes Verständnis des Grundwassersystems



entstanden ist. Die Abgrenzung des Pilotgebietes berücksichtigt in erster Linie das oberflächliche Einzugsgebiet des Feuerbachs. Die Abgrenzung wurde strategisch so gewählt, dass sie das gesamte Grundwasserneubildungsgebiet innerhalb des Pilotgebietes umfasst. Ein solcher methodischer Ansatz zur Definition des Pilotgebietes ermöglicht die Verwendung hydrologischer Modellierung, um mögliche Änderungen der Grundwasserneubildungsmuster als direkte Folge klimatischer Schwankungen zu untersuchen.

Für die numerische Modellierung wurde das bestehende großräumige numerische Grundwassermodell von Stuttgart als Grundlage genutzt [4]. Das Pilotgebiet mit einer Fläche von rund 22 km² ist ein Teilgebiet des Stuttgarter Grundwassermodells. Die Integration in das Stuttgart Grundwassermodell führt dazu, dass das Pilotgebiet mit dem regionalen Muschelkalk-Aquifer verbunden wird. Die Szenarien werden in enger Abstimmung mit der Stadtklimatologie entwickelt und berechnet. Anschließend ermöglicht die im Pilotgebiet angewandte numerische Modellierung eine Analyse, inwieweit die beobachteten Änderungen des Grundwasserspiegels auf Auswirkungen des Klimawandels zurückgeführt werden können.

4. Hydrogeologie

Die Grundwasserströmungsverhältnisse im Feuerbach sind aufgrund der differenzierten, stark gegliederten geologischen Stratigraphie und zahlreichen Störungen sehr komplex (Abb. 3). Im Gipskeuper ist die Durchlässigkeit und damit die Grundwasserströmung stark vom lithologischen Aufbau (klüftige Dolomitbänke) und der Gipsauslaugung (Subrosion) abhängig [1]. Heute ist die Gipsauslaugung nur noch im Kernbereich des Projektgebietes aktiv, nämlich im Stadtgebiet Feuerbach entlang der Hänge und in der Nähe des Wiener Platzes [2]. Aufgrund ihrer hydraulischen Eigenschaften können die Grundwasserleiter im Projektgebiet in zwei Aquifersysteme zusammengefasst werden:

Oberes Aquifersystem (Lokale Aquifere):

Im Pilotgebiet gibt es mehrere lokale Aquifere. In der Feuerbachtalaue ist der oberste Aquifer im Quartär ausgebildet. Der Gipskeuper besteht im Pilotgebiet aus folgenden Teilaquiferen:

- Mittlerer Gipshorizont
- Dunkelrote Mergel
- Bochinger Horizont
- Grundgipsschichten

Tiefes Aquifersystem /Regionale Aquifere):

Unterer Keuper und Oberer Muschelkalk

Die Grundwasserfließverhältnisse in den Aquiferen im Quartär und im Gipskeuper (Mittlerer Gipshorizont, Dunkelrote Mergel und Bochinger Horizont) für die Jahre 2007 und 2017 sind detailliert im Bericht D2.2.1 dargestellt. Für den Aquifer in den Grundgipsschichten liegen keine Grundwassergleichenpläne für 2007 und 2017 vor.

Die Grundwasserfließrichtung im Quartär war 2007 von den Hangbereichen generell in Richtung auf die von Südwesten nach Nordosten verlaufende Talweglinie des Feuerbachs ausgerichtet. Die Grundwasserdruckhöhen sanken von 275 m ü. NN in den Hangbereichen bis auf 260 m ü. NN im Nordosten ab.



Im Jahr 2017 war im Quartär im zentralen Bereich von Feuerbach eine Grundwasserscheide ausgebildet. Südwestlich der Grundwasserscheide strömte das Grundwasser aus allen Himmelsrichtungen auf einen Bereich in der Talweglinie des Feuerbachs im Bereich der Stuttgarter Straße.

Im südwestlichsten Bereich waren die Grundwasserdruckhöhen um bis zu über 5 m abgesunken und das Quartär war lokal trockengefallen. Nordöstlich der Grundwasserscheide strömte das Grundwasser wie im Jahr 2007 noch Nordosten auf den Bereich der Talweglinie des Feuerbachs, hier lagen die Grundwasserdruckhöhen im nordöstlichen Bereich weiterhin bei 260 m ü. NN.

Im Jahr 2007 sanken die Grundwasserdruckhöhen im Mittleren Gipshorizont im zentralen Bereich von Feuerbach von den Hangbereichen generell in Richtung auf die Talweglinie des Feuerbachs bis auf rund 260 m ü. NN im Nordwesten ab.

Auch im Jahr 2017 sanken die Grundwasserdruckhöhen im Mittleren Gipshorizont im zentralen Bereich von Feuerbach von den Hangbereichen generell in Richtung auf die Talweglinie des Feuerbachs bis auf rund 260 m ü. NN im Nordwesten ab. Im zentralen Bereich von Feuerbach, in dem der Mittlere Gipshorizont grundwasserführend ist, lagen die Grundwasserdruckhöhen 2017 2 m bis 3 m unter denen des Jahres 2007.

Die Grundwasserdruckhöhen in den Dunkelroten Mergeln sanken im Jahr 2007 von den Hangbereichen generell in Richtung auf die Talweglinie des Feuerbachs von bis über 290 m ü. NN bis auf rund 260 m ü. NN im Nordwesten ab. Im Jahr 2017 war in den Dunkelroten Mergeln im zentralen Bereich von Feuerbach eine Grundwasserscheide bei einer Grundwasserdruckhöhe von rund 265 m ü. NN ausgebildet. Südwestlich der Grundwasserscheide strömte das Grundwasser aus allen Himmelsrichtungen auf einen Bereich in der Talweglinie des Feuerbachs im Bereich der Stuttgarter Straße. Im südwestlichsten Bereich waren die Grundwasserdruckhöhen um bis zu über 5 m abgesunken. Nordöstlich der Grundwasserscheide strömte das Grundwasser wie im Jahr 2007 noch Nordosten auf den Bereich der Talweglinie des Feuerbachs, hier lagen die Grundwasserdruckhöhen im nordöstlichen Bereich weiterhin bei 260 m ü. NN. Im Bochinger Horizont sanken die Grundwasserdruckhöhen im Jahr 2007 von den Hangbereichen bei bis zu 287,5 m ü. NN generell in Richtung auf die Talweglinie des Feuerbachs bis auf rund 260 m ü. NN im Nordwesten ab.

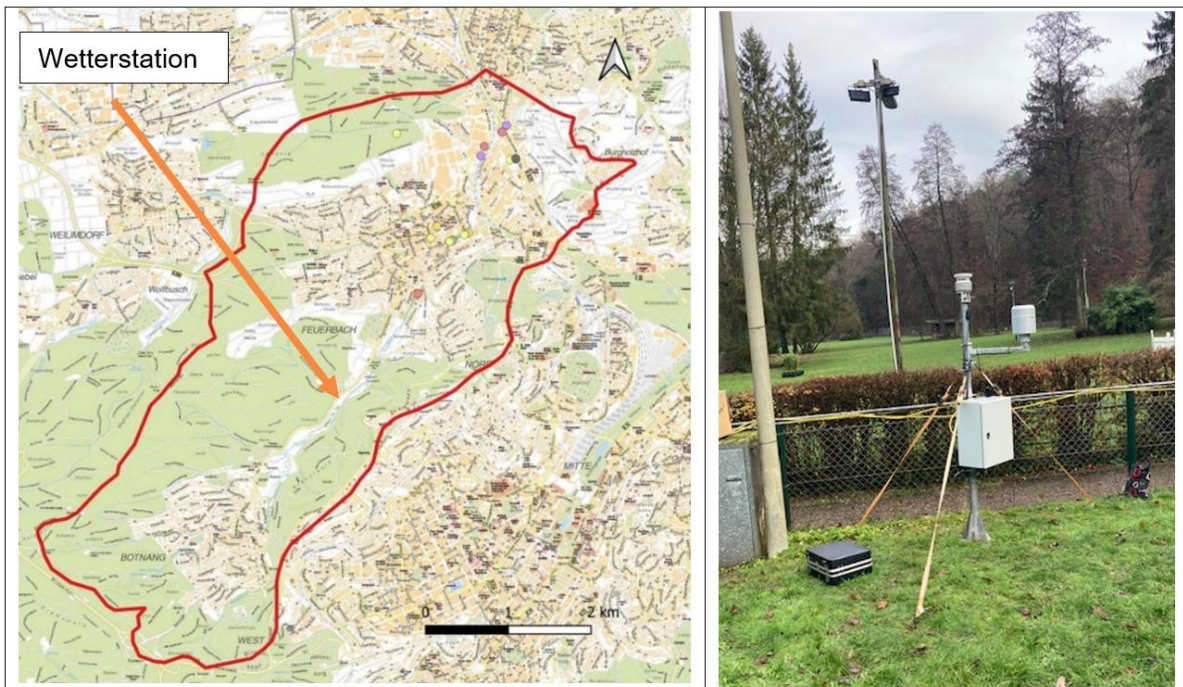
Auch im Bochinger Horizont war im Jahr 2017 im zentralen Bereich von Feuerbach eine Grundwasserscheide ausgebildet. Südwestlich der Grundwasserscheide strömte das Grundwasser aus allen Himmelsrichtungen auf einen Bereich in der Talweglinie des Feuerbachs im Bereich der Stuttgarter Straße.

Im südwestlichsten Bereich waren die Grundwasserdruckhöhen um bis 10 m abgesunken. Nordöstlich der Grundwasserscheide strömte das Grundwasser wie im Jahr 2007 noch Nordosten auf den Bereich der Talweglinie des Feuerbachs, hier lagen die Grundwasserdruckhöhen im nordöstlichen Bereich weiterhin bei 260 m ü. NN.

5. Hydrologisches Monitoring

Zur Erfassung der relevanten Daten für das hydrologische Modell wurde am 15.12.2023 von der Abteilung Luftreinhaltung und Klimaschutz des Amts für Umweltschutz der Lhst. Stuttgart im Feuerbachtal südwestlich von Feuerbach auf dem Gelände des Hundesportvereins Feuerbach eine Wetterstation aufgebaut (Abb. 13).

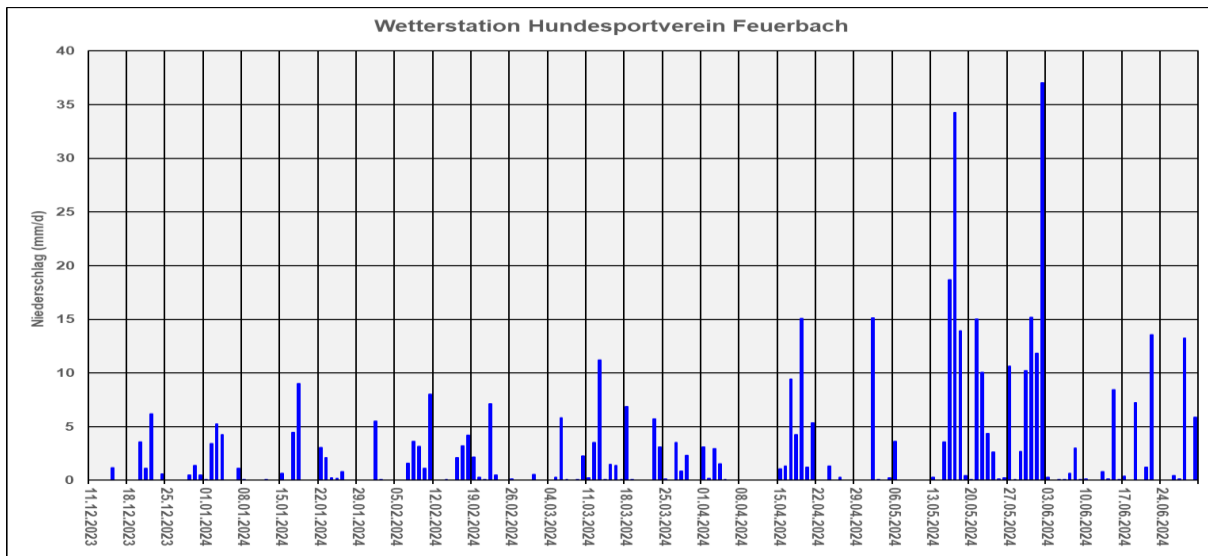
Abb. 2 Lage und Foto der Wetterstation Hundesportverein Feuerbach



Seither werden im 10 Minutenrhythmus die Niederschlagsmenge, die Niederschlagsintensität, die relative Luftfeuchtigkeit, die absolute Luftfeuchtigkeit, die Lufttemperatur, der Umgebungsdruck und der Taupunkt erfasst. In der Abb. 14 ist die tägliche Niederschlagsverteilung vom 15.12.2023 bis zum xx.xx.2025 graphisch dargestellt.



Abb. 3 Wetterstation Hundesportverein Feuerbach - Niederschlag in mm/d - Zeitraum 15.12.2023 bis 13.08.2025

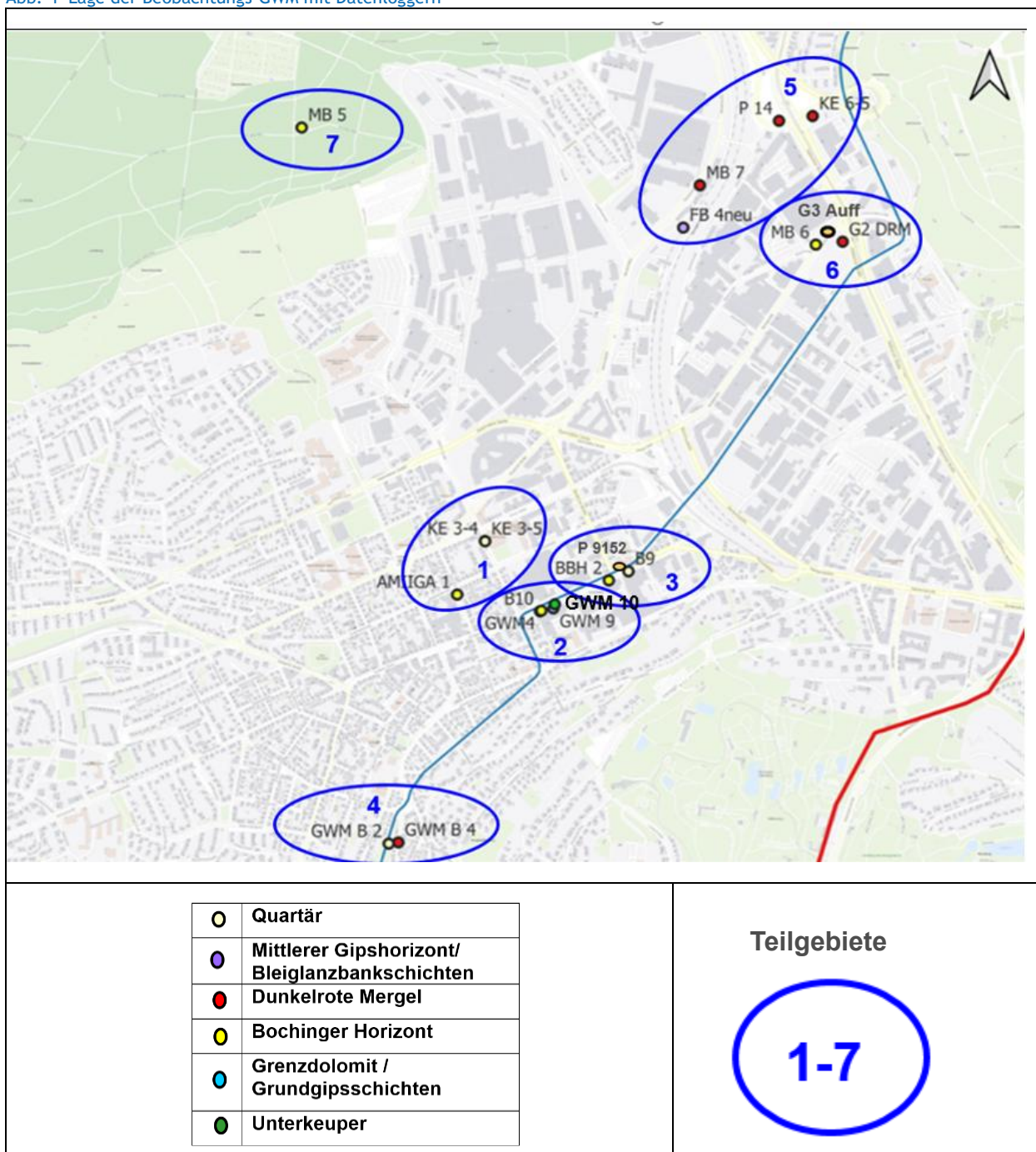




6. Grundwasser-Monitoring

Zur Kontrolle der Grundwasserdruckhöhenentwicklung wurden in 7 Teilgebieten in 21 Grundwassermessstellen in den Aquiferen Quartär, Gipskeuper (Teilaquifere Mittlerer Gipshorizont/Bleiglanzbankschichten, Dunkelrote Mergel, Bochinger Horizont, Grundgipsschichten) und Unterkeuper insgesamt 21 Datenlogger eingebaut (Abb. 15). Der Einbau der Datenlogger in die Grundwassermessstellen erfolgte 05.10.2023 (18 Stück) und am 12.12.2023 (3 Stück). Die Messungen erfolgten stündlich. Der Ausbau der Datenlogger erfolgte in allen Grundwassermessstellen am 13.08.2025 nach 22 bzw. 20 Monaten.

Abb. 4 Lage der Beobachtungs-GWM mit Datenloggern





In der Tabelle 1 sind die Grundwasserdruckhöhen beim Einbau (04./05.10.2023 und 12.12.2023) und beim Ausbau (13.08.2025) der Datenlogger sowie die Differenzen bezogen auf Einbau und Ausbau aufgelistet.

Tab. 1 Grundwasserdruckhöhen in den Grundwassermessstellen mit Datenloggern beim Einbau und beim Ausbau der Datenlogger und Differenz der Grundwasserdruckhöhen beim Einbau und Ausbau der Datenlogger

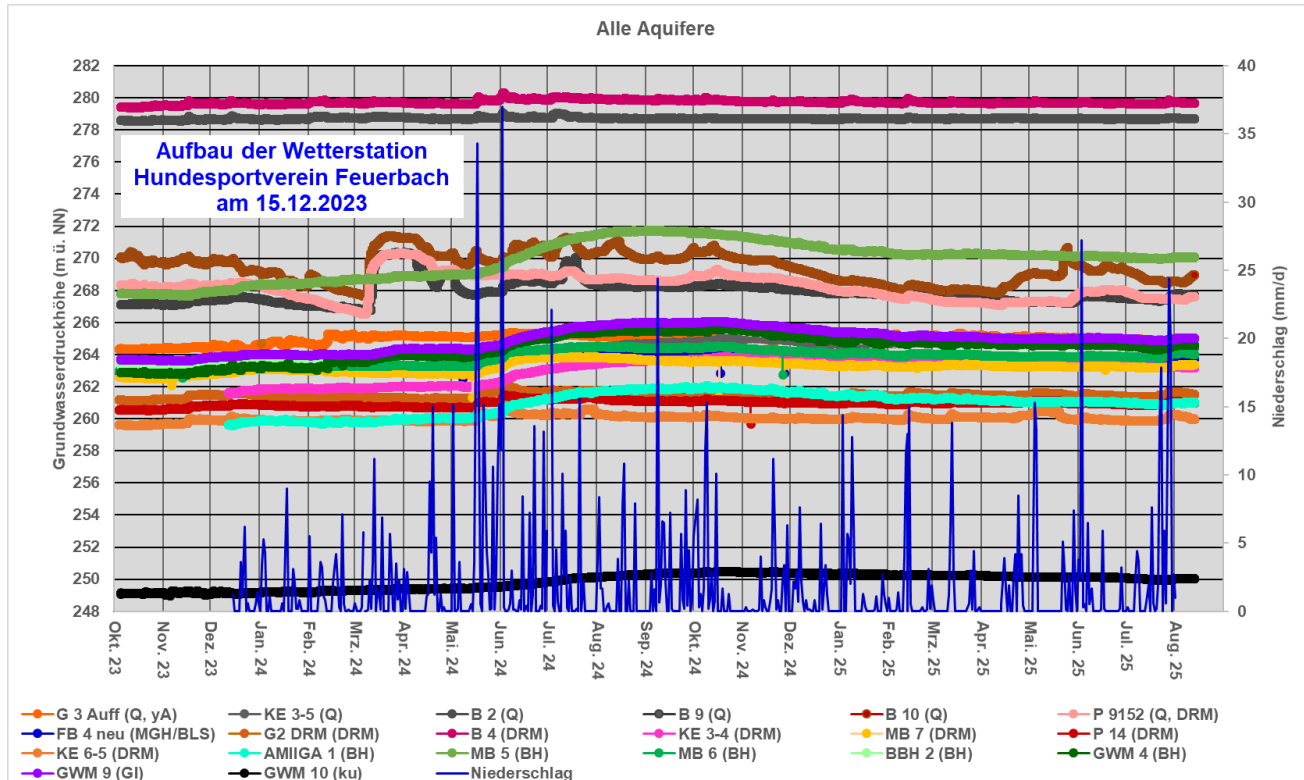
Aquifer	GWM	Grundwasserdruckhöhe in m ü. NN beim Einbau der Datenlogger 04./05.10.2023 bzw. am 12.12.2023	Grundwasserdruckhöhe in m ü. NN beim Ausbau der Datenlogger am 13.08.2025	Differenz der Grundwasserdruckhöhen beim Einbau und beim Ausbau der Datenlogger in m
q	B 10 (Q)	270,03	268,94	-1,09
q, DRM	P 9152 (Q, DRM)	268,33	267,61	-0,72
q	B 2 (Q)	278,59	278,67	0,08
q	G 3 Auff (Q, yA)	264,36	264,83	0,47
q	B 9 (Q)	267,11	267,69	0,58
q	KE 3-5 (Q)	262,83	264,44	1,61
MGH	FB 4 neu (MGH)	262,88	263,73	0,85
DRM	G2 DRM (DRM)	261,16	261,51	0,35
DRM	B 4 (DRM)	279,41	279,66	0,25
DRM	KE 6-5 (DRM)	259,60	259,98	0,38
DRM	P 14 (DRM)	260,56	260,99	0,43
DRM	MB 7 (DRM)	262,58	263,35	0,77
DRM	KE 3-4 (DRM)	261,59	263,18	1,59
BH	MB 6 (BH)	262,97	264,01	1,04
BH	BBH 2 (BH)	263,39	264,69	1,30
BH	AMIIGA 1 (BH)	259,60	261,00	1,40
BH	GWM 4 (BH)	262,88	264,59	1,71
BH	MB 5 (BH)	267,80	270,06	2,26
Gl, Gd	GWM 9 (Gl)	263,69	265,01	1,32
Ll, AK	GWM 10 (ku)	249,14	250,05	0,91

Bis auf zwei Grundwassermessstellen im Quartär, in denen die Grundwasserdruckhöhen bis um 1,09 m absanken, stiegen die Grundwasserdruckhöhen in den restlichen Grundwassermessstellen an. In den ebenfalls im Quartär ausgebauten Grundwassermessstellen bis um 1,61 m, im Mittlerer Gipschizont um 0,85 m, in den Dunkelroten Mergeln zwischen 0,35 m und 1,59 m, im Bochinger Horizont zwischen 1,04 m und 2,26 m, in den Grundgipsschichten um 1,32 m und im Unterkeuper um 0,91 m.

Für den Zeitraum Anfang Oktober 2023 bis Mitte August 2025 sind nachfolgend in der Abb. 16 die Ergebnisse der Grundwasserdruckhöhenmessungen in den 21 Grundwassermessstellen und der Niederschlagsdaten der Wetterstation Stuttgart-Schnarrenberg (14.10. - 14.12.2023) sowie der Wetterstation Hundesportverein Feuerbach (15.12.2023 - 13.08.2025) graphisch dargestellt.



Abb. 5 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in allen 20 Grundwassermessstellen und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober bzw. Dezember 2023 bis August 2025



Nachfolgend wird die Grundwasserdruckhöhenentwicklung in den 7 Teilgebieten näher dargestellt und bewertet.

6.1. Teilgebiet 1

Das Teilgebiet 1 befindet sich im Zentrum von Feuerbach, nordwestlich der Talweglinie des Feuerbachs. Die GWM, in die die Datenlogger erst am 12.12.2023 eingebaut wurden, sind in folgenden Aquifere ausgebaut:

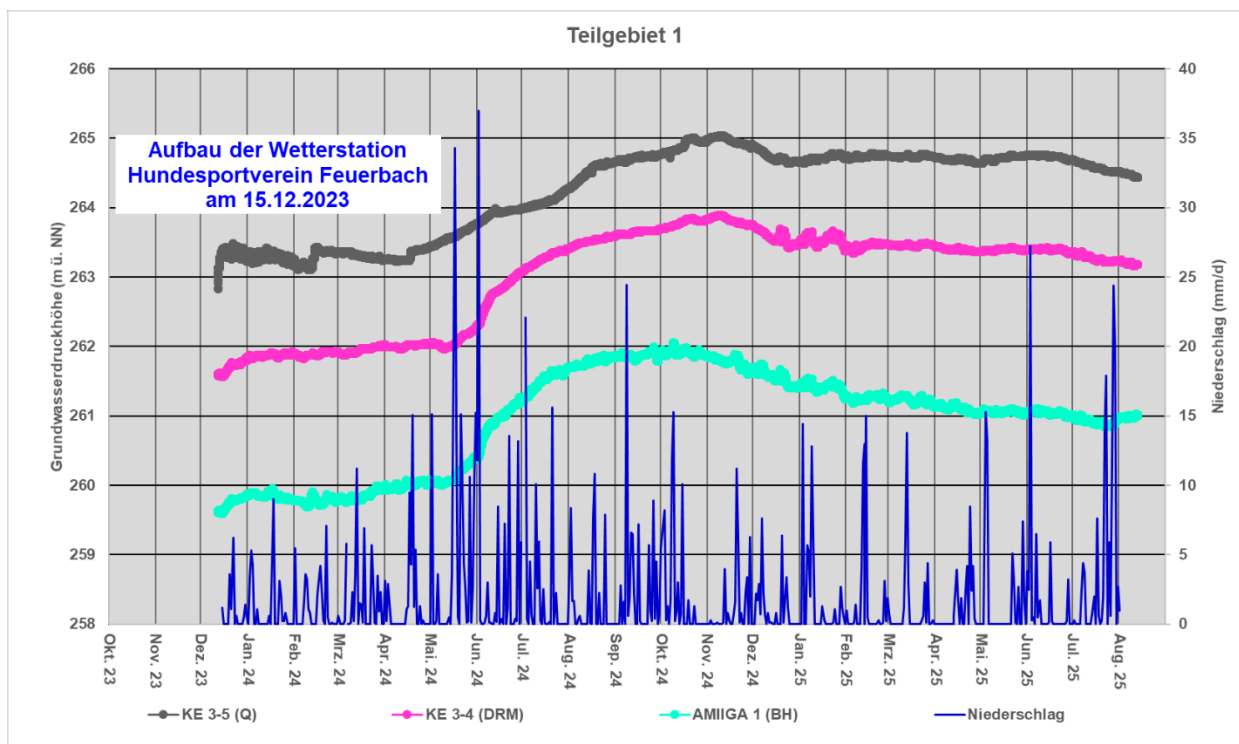
- KE 3-5: Quartär
- KE 3-4: Dunkelrote Mergel
- AMIIGA 1: Bochinger Horizont



Abb. 16 Bilder zu den Grundwassermessstellen KE-3-5, KE 3-4 und AMIIGA 1



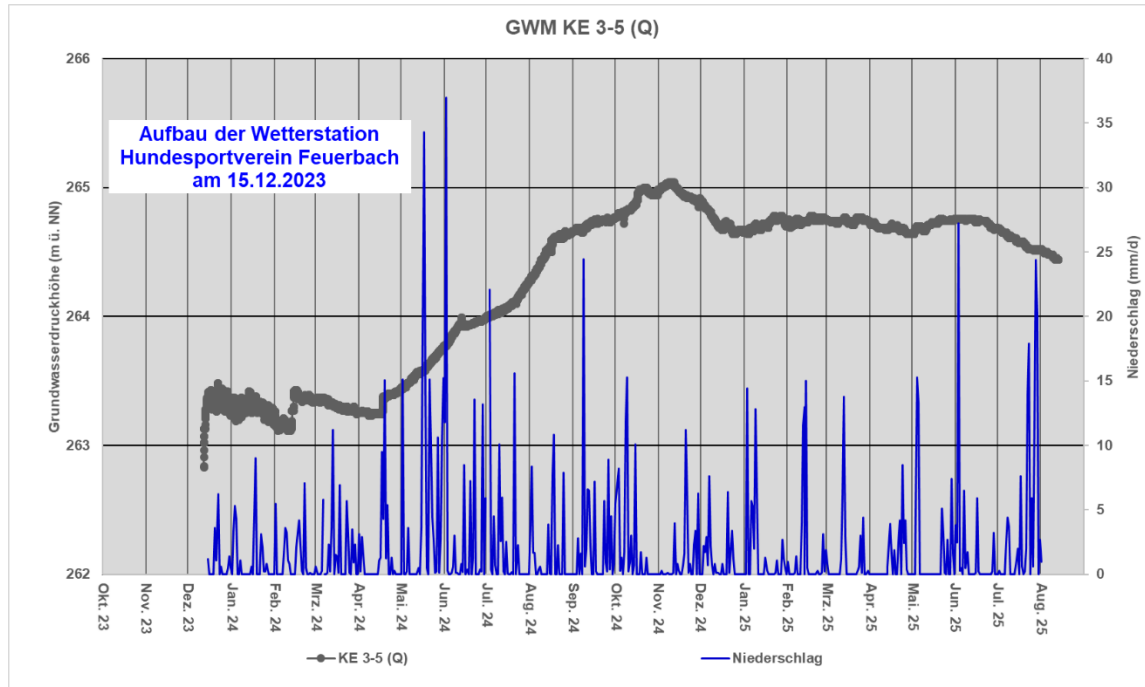
Abb. 7 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in den Grundwassermessstellen im Teilgebiet 1 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Dezember 2023 bis August 2025



Die Grundwasserdruckhöhen sanken generell von der im Quartär ausgebauten Grundwassermessstelle KE 3-5 über die in den Dunkelroten Mergeln ausgebaute Grundwassermessstelle KE 3-4 bis in die im Bochinger Horizont ausgebaute Grundwassermessstelle AMIIGA 1 ab.

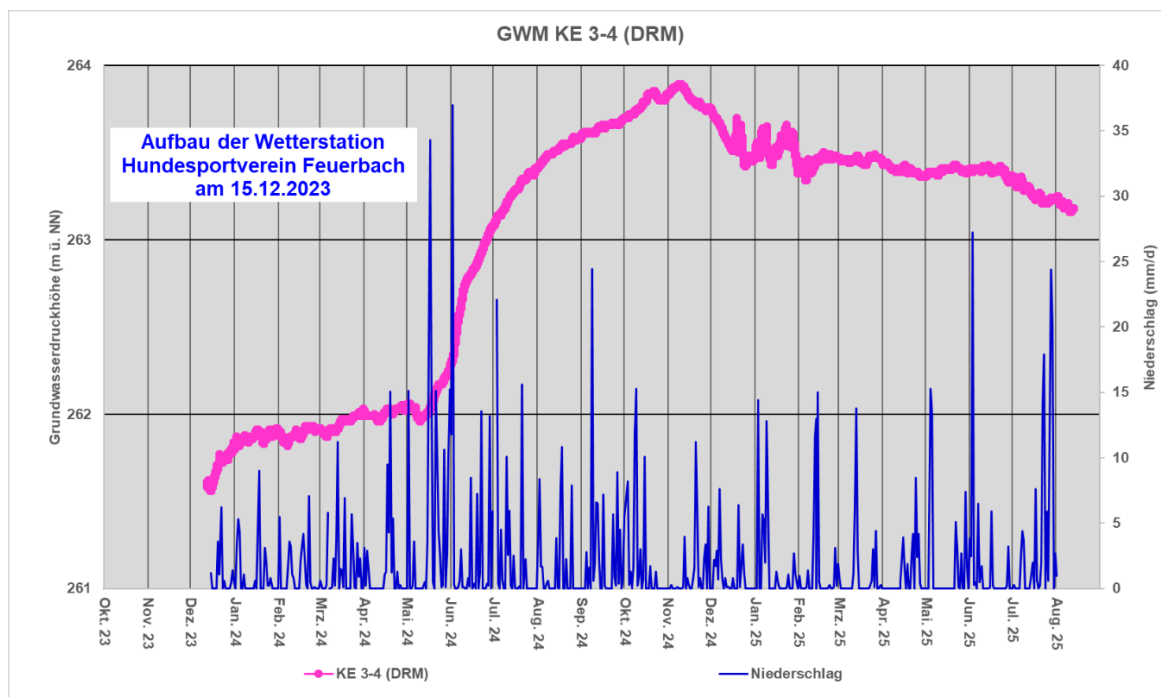


Abb. 8 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle KE 3-5 (Q) im Teilgebiet 1 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



In der Grundwassermessstelle KE 3-5 (Q) stiegen die Grundwasserdruckhöhen wie in der Grundwassermessstelle KE 3-4 (siehe Abb. 18) bis November 2024 generell an und sanken dann bis August 2025 wieder etwas ab.

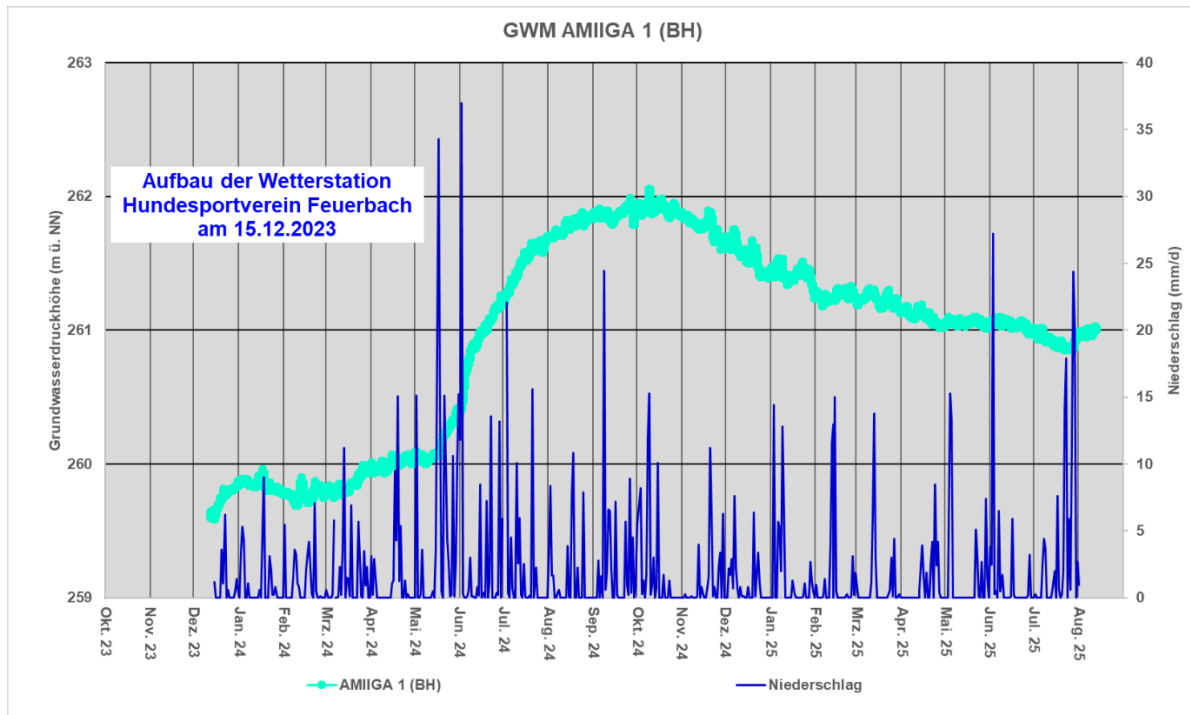
Abb. 9 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle KE 3-4 (DRM) im Teilgebiet 1 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



In der Grundwassermessstelle KE 3-4 (DRM) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis November 2024 generell an und sanken dann bis August 2025 wieder etwas ab.



Abb. 10 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle AMIIGA 1 (BH) im Teilgebiet 1 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



In der Grundwassermessstelle AMIIGA 1 (BH) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis Oktober 2024 generell an und sanken dann bis August 2025 wieder etwas ab.

6.2. Teilgebiet 2

Das Teilgebiet 2 liegt in Bereich der Talweglinie des Feuerbachs im südwestlichen Bereich des Zentrums von Feuerbach. Die GWM sind in folgenden Aquiferen ausgebaut:

- GWM B 10: Quartär
- GWM 4: Bochinger Horizont
- GWM 9: Grundgipsschichten
- GWM 10: Unterkeuper

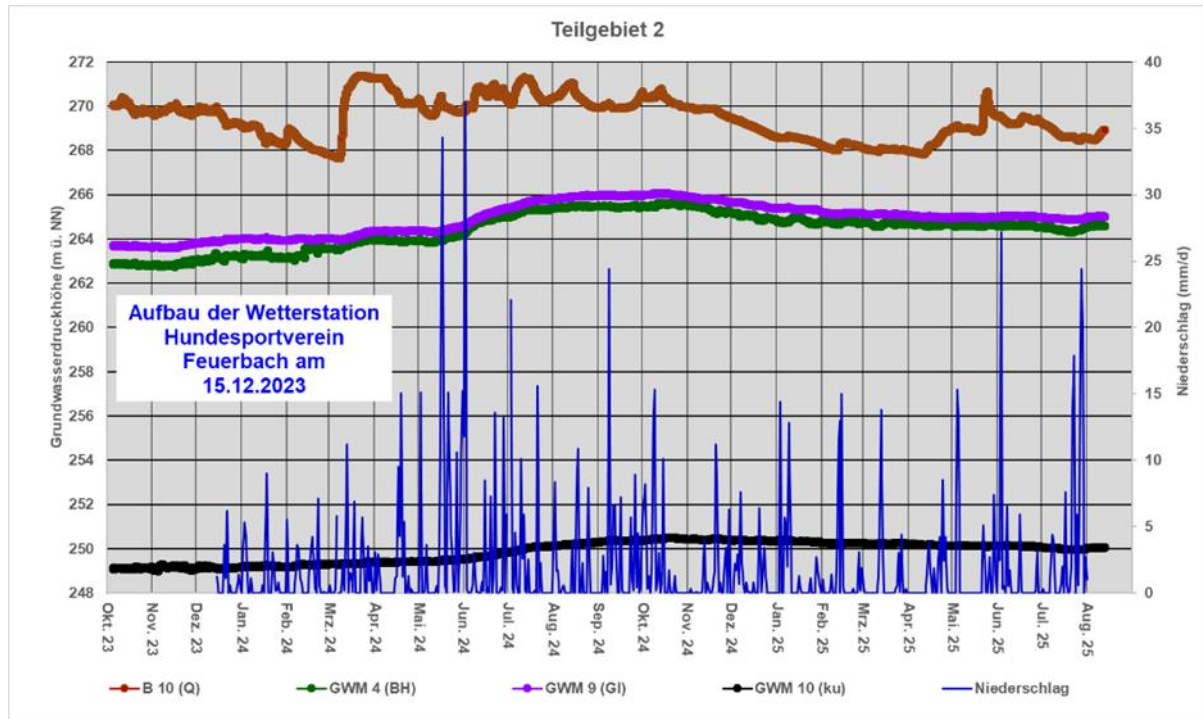


Abb. 11 Bilder zu den Grundwassermessstellen GWM B 10, GWM 8, GWM 9 und GWM 10





Abb. 12 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in den Grundwassermessstellen im Teilgebiet 2 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025

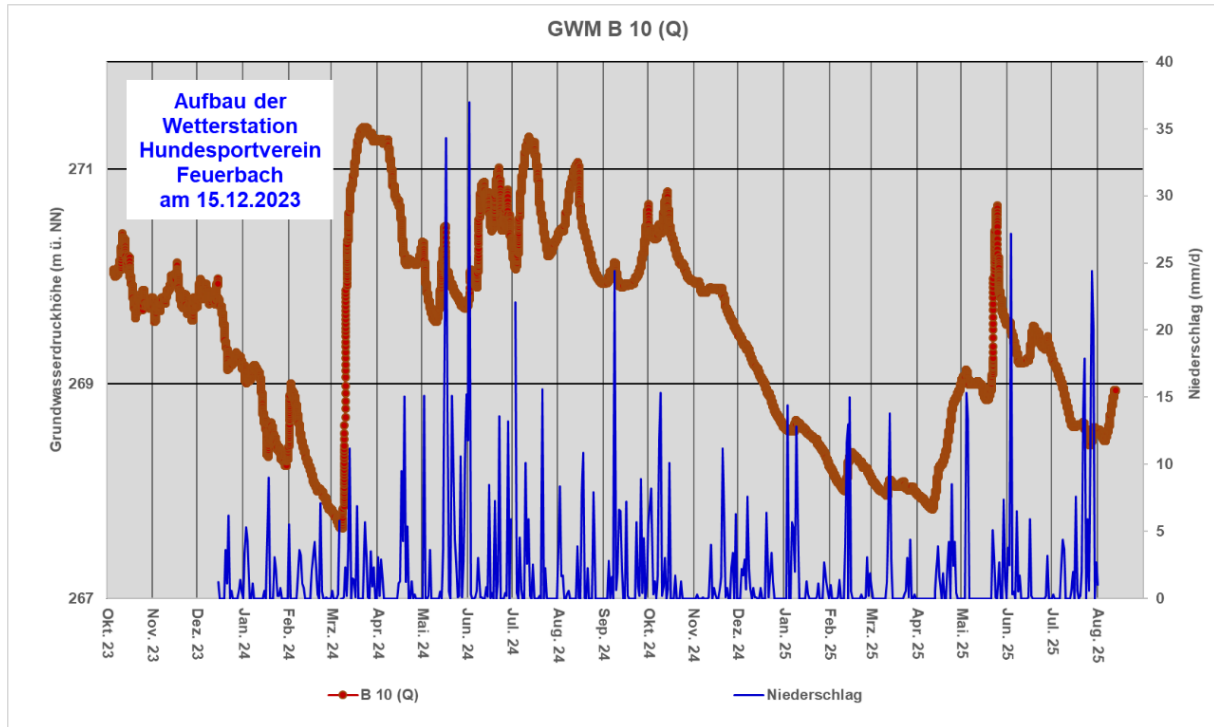


Die Grundwasserdruckhöhen sanken generell von der im Quartär ausgebauten Grundwassermessstelle B 10 über die in den Grundgipsschichten ausgebaute Grundwassermessstelle GWM 9 und die im Bochinger Horizont ausgebaute Grundwassermessstelle GWM 4 bis in die im Unterkeuper ausgebaute Grundwassermessstelle GWM 10 ab.

Im Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025 sank lediglich in der GWM B 10 (Quartär) die Grundwasserdruckhöhe mit schwankendem Verlauf erkennbar ab. In den Grundwassermessstellen HWM 4 (BH), GWM 8 (GI) und GWM 10 (ku) stiegen die Grundwasserdruckhöhen etwas an. Die Grundwasserdruckhöhenentwicklung in den Aquiferen Bochinger Horizont, Grundgipsschichten und Unterkeuper ist fast identisch.



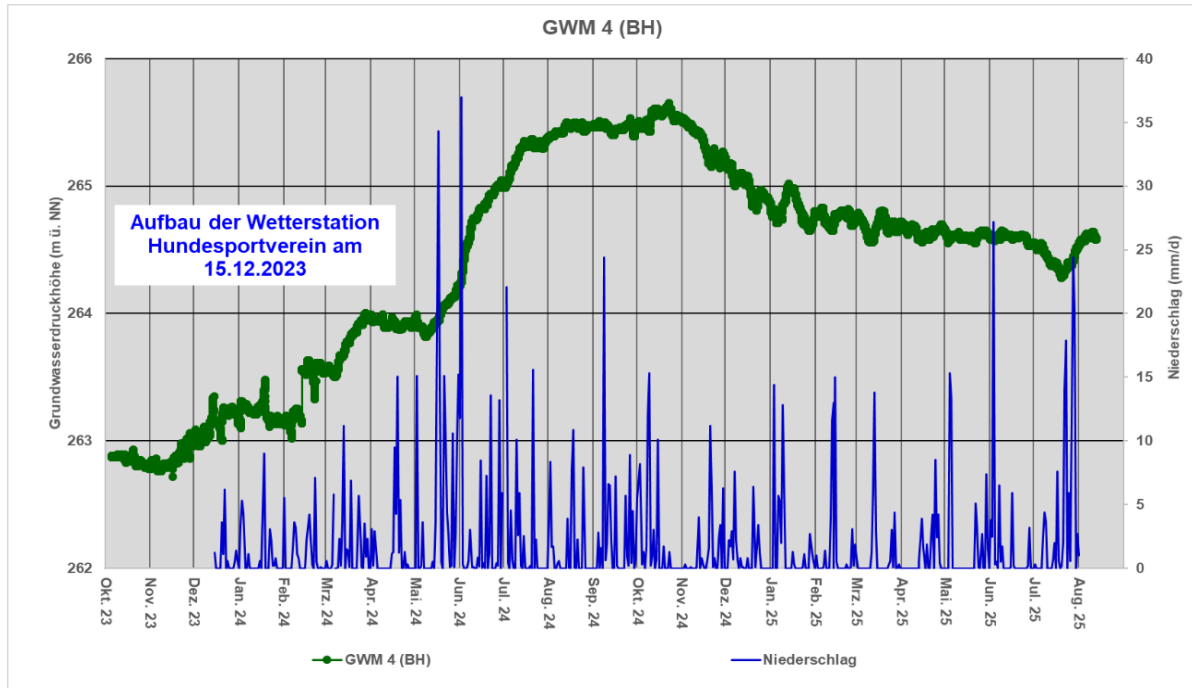
Abb. 13 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle B 10 (Q) im Teilgebiet 2 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



In der Grundwassermessstelle B 10 (Q) sanken die Grundwasserdruckhöhen bis Anfang März 2024 ab, stiegen dann wieder in sehr kurzer Zeit bis Ende März 2024 an um nachfolgend bis August 2024 wieder mit schwankendem Verlauf abzusenken. Die Gründe für den rasanten Anstieg der Grundwasserdruckhöhen im Zeitraum März/April 2025 sind nicht bekannt

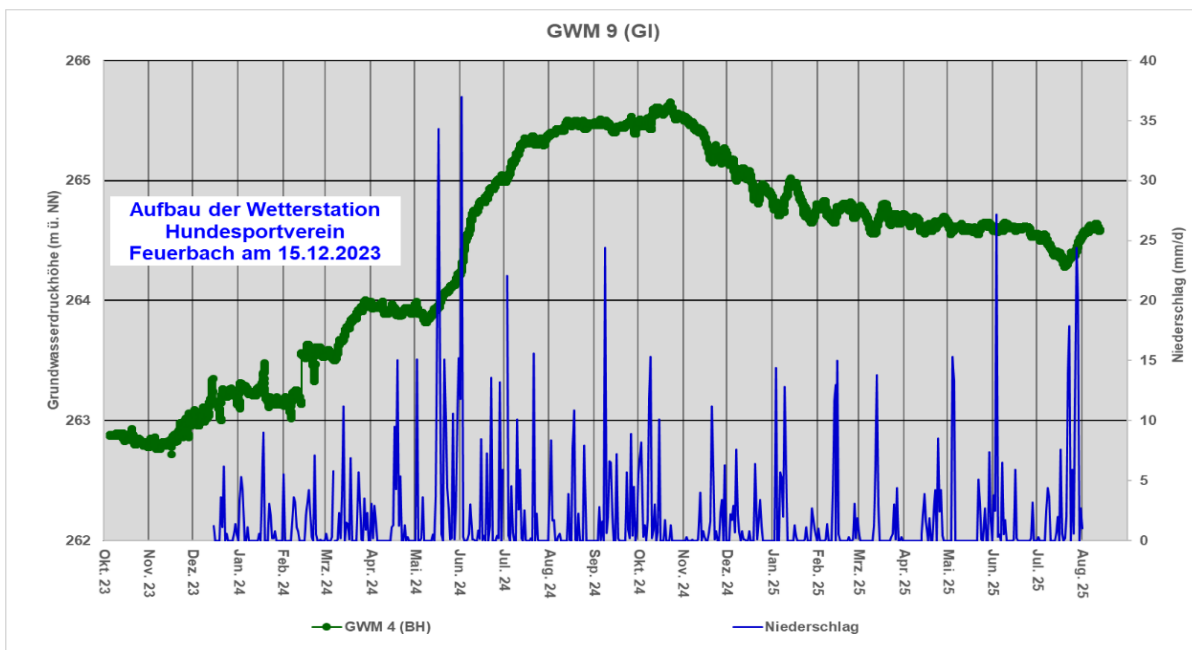


Abb. 14 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle GWM 4 (BH) im Teilgebiet 2 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



In der Grundwassermessstelle GWM 4 (BH) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis November 2024 an und sanken dann bis August 2024 wieder mit leicht schwankendem Verlauf ab.

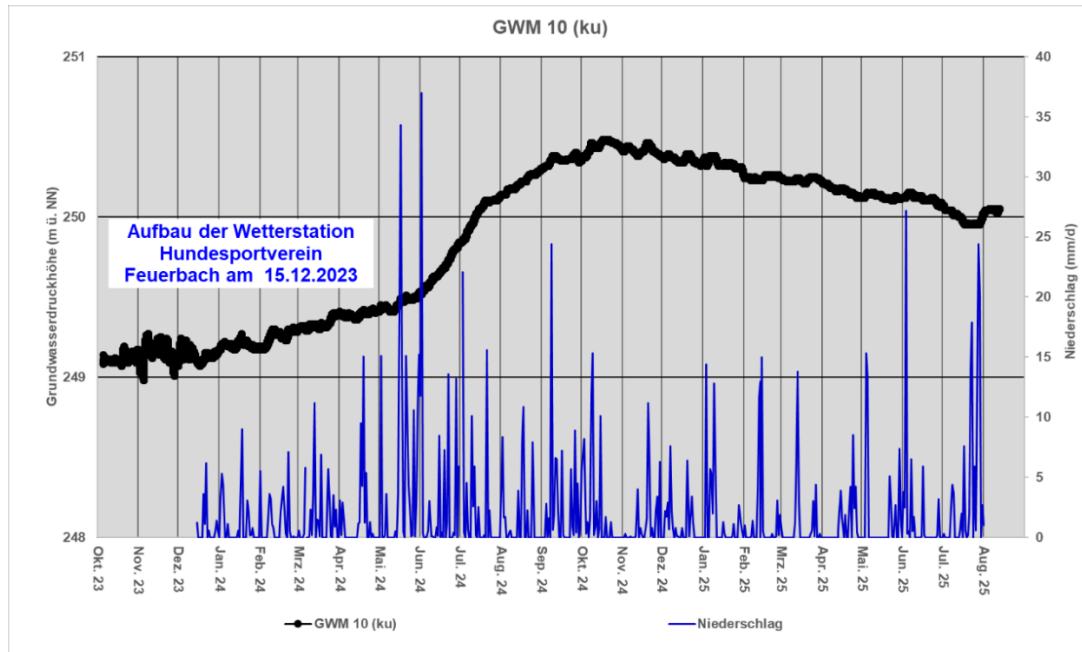
Abb. 15 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle GWM 9 (GI) im Teilgebiet 2 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



In der Grundwassermessstelle GWM 9 stiegen bis November 2024 an und sanken dann bis August 2024 wieder mit leicht schwankendem Verlauf ab.



Abb. 16 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle GWM 10 (ku) im Teilgebiet 2 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



In der Grundwassermessstelle GWM 10 (ku) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis November 2024 generell an und sanken dann bis August 2025 wieder etwas ab.

6.3. Teilgebiet 3

Das Teilgebiet 3 befindet sich ebenfalls in Bereich der Talweglinie des Feuerbachs direkt nordöstlich des Teilgebiets 2. Die GWM sind in folgenden Aquiferen ausgebaut:

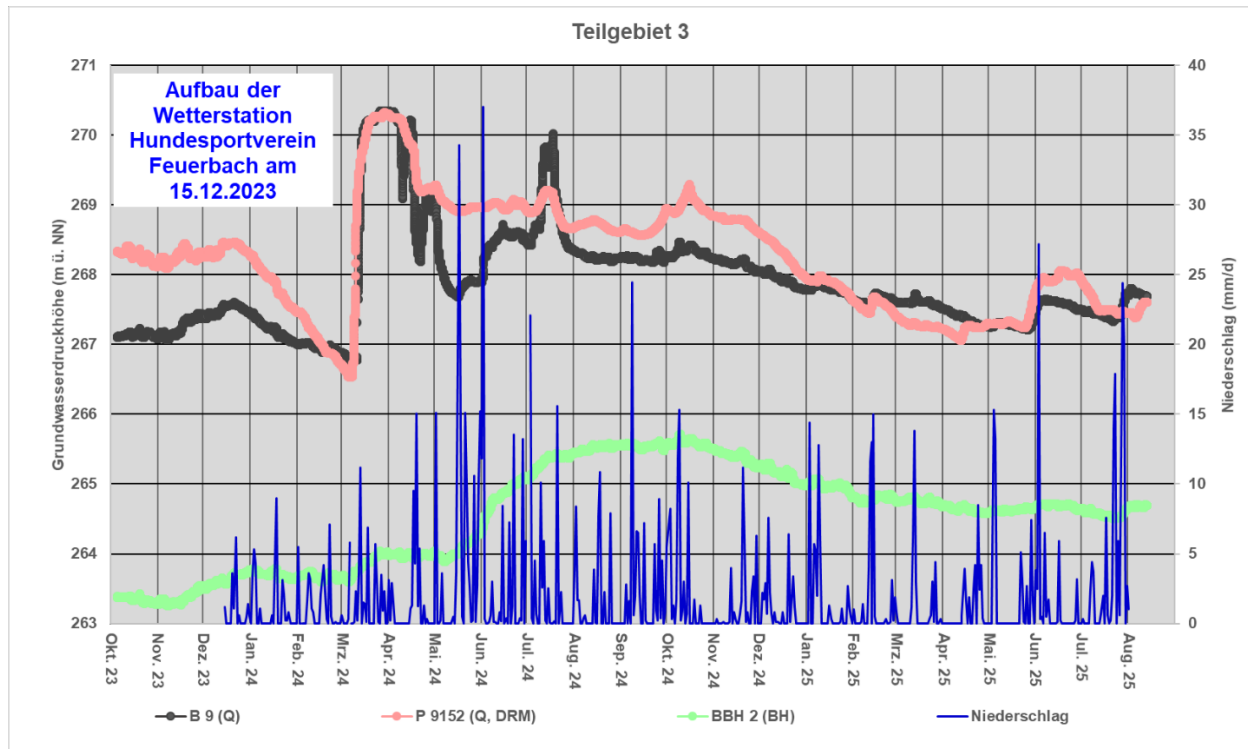
- B 9: Quartär
- P 9125: Quartär
- BBH 2: Bochinger Horizont

Abb. 17 Bilder zu den Grundwassermessstellen GWM B 9, P 9125 und BBH 2





Abb. 18 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in den Grundwassermessstellen im Teilgebiet 3 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



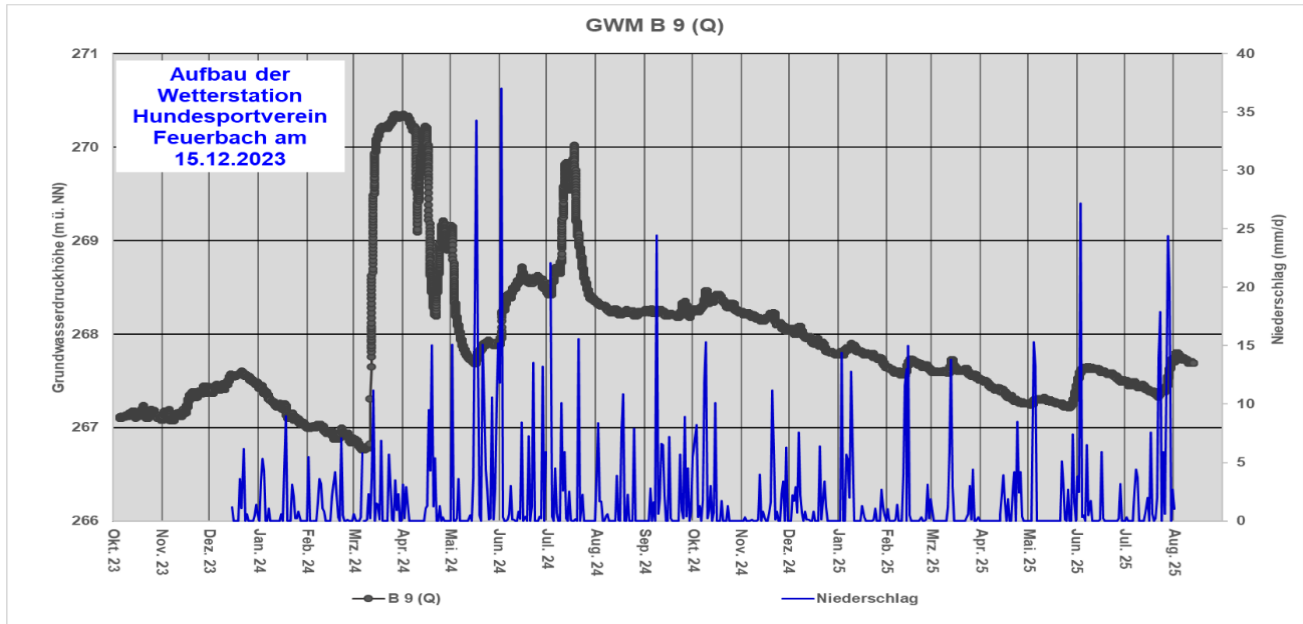
Die Grundwasserdruckhöhen in der im Quartär ausgebauten Grundwassermessstelle B 9 und der im Quartär und den Dunkelroten Mergeln ausgebauten Grundwassermessstellen P 9152 lagen generell um bis zu knapp 6 m über den Grundwasserdruckhöhen in der im Bochinger Horizont ausgebauten GWM BBH 2.

Bezogen auf den Untersuchungszeitraum Dezember 2023 bis August 2025 erfolgte lediglich in der im Quartär und den Dunkelroten Mergeln ausgebauten Grundwassermessstelle P 9152 mit stark schwankendem Verlauf ein Absinken der Grundwasserdruckhöhen. In der im Quartär ausgebauten Grundwassermessstelle B 9 und der im Bochinger Horizont ausgebauten Grundwassermessstelle BBH 2 stiegen die Grundwasserdruckhöhen mit stark schwankendem und etwas schwankendem Verlauf generell an.

Die sonderbare Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der im Quartär ausgebauten Grundwassermessstelle B 9 und der im Quartär und den Dunkelroten Mergeln ausgebauten Grundwassermessstellen P 9152 mit starken kurzfristigen Absenkungen und Anstiegen im Bereich von bis zu knapp 4 Metern konnte bisher nicht geklärt werden. Eine Recherche vor Ort ergab, dass den Anwohnern in dem Untersuchungszeitraum keine besonderen Vorkommnisse, die zu diesen Grundwasserdruckhöhen Schwankungen hätten führen können, aufgefallen sind. Auch bei den umliegenden Grundwasserentnahmen infolge von hydraulischen Sanierungen gab es keine Hinweise, die diese Grundwasserschwankungen hätten erklären können.

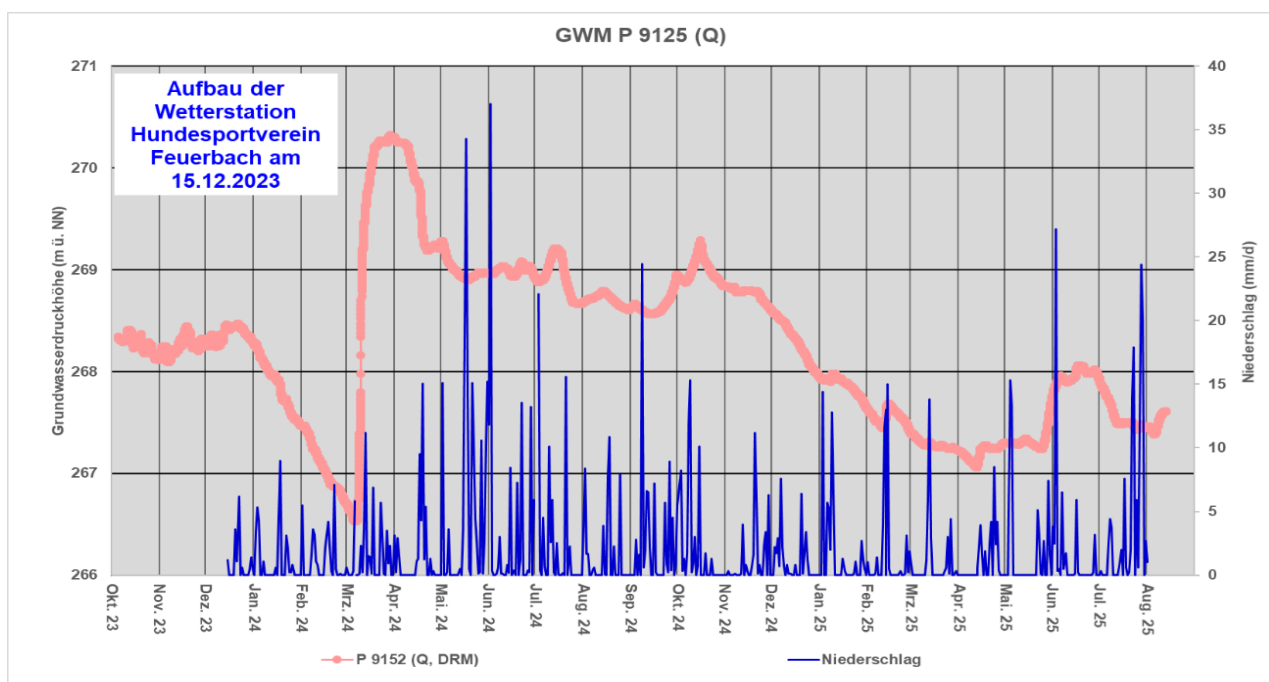


Abb. 19 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle B 9 (Q) im Teilgebiet 3 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis 13.08.2025



In der Grundwassermessstelle B 9 (Q) stiegen die Grundwasserdruckhöhen von Oktober 2023 bis Januar 2025 leicht an, dann sanken sie bis Anfang März 2024 etwas ab. Danach erfolgte bis Ende März 2024 ein steiler Anstieg um rund 3,5 m. Die Gründe für den steilen Anstieg der Grundwasserdruckhöhen sind nicht bekannt. Bis Ende Mai 2024 sanken sie mit stark schwankendem Verlauf wieder um rund 2,5 m ab um dann bis Mitte Juli wieder um rund 2,2 m anzusteigen. Danach erfolgte ein schnelles Absinken um rund 1,9 m bis Ende August 2024. Bis August 2025 sanken sie mit leicht schwankendem Verlauf wieder um bis zu 2 m ab.

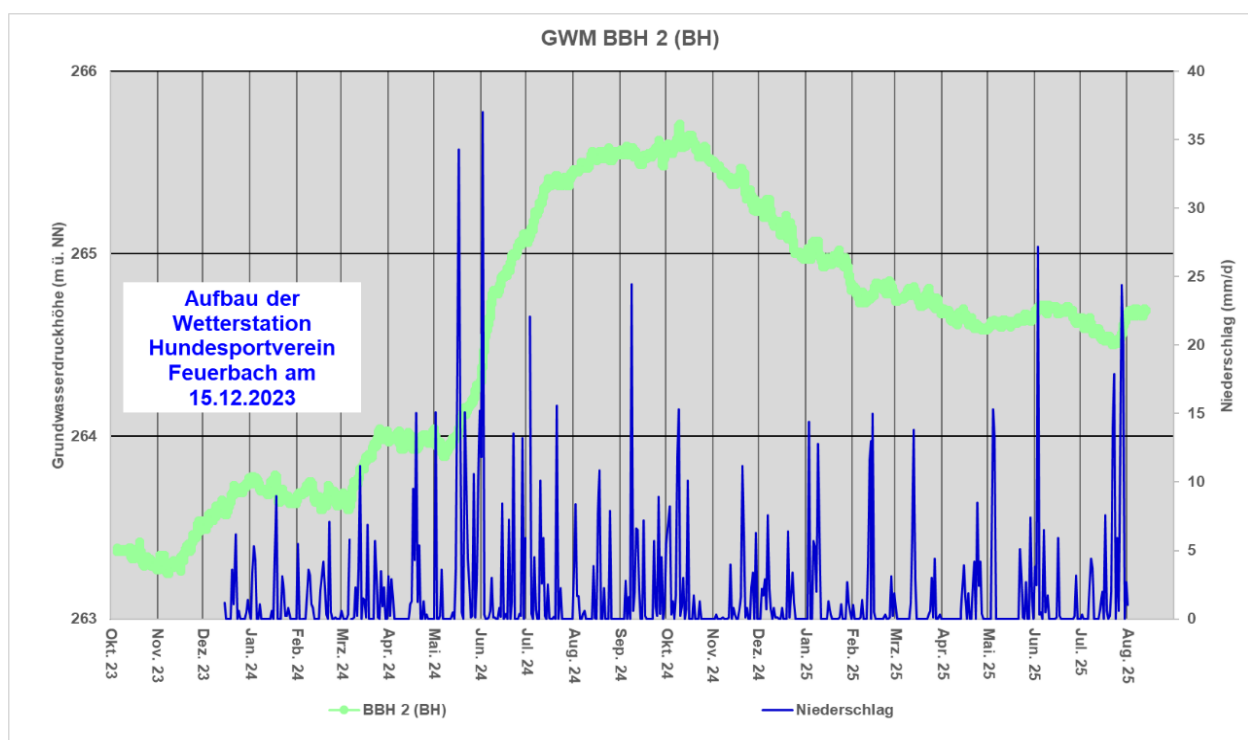
Abb. 20 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle P 9152 (Q) im Teilgebiet 3 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis 13.08.2025





In der Grundwassermessstelle P 9152 (Q) schwankten die Grundwasserdruckhöhen von Oktober 2023 bis Januar 2025 nur leicht, dann sanken sie bis Anfang März 2024 um etwa 1,9 m ab. Danach erfolgte bis Ende März 2024 ein steiler Anstieg um rund 3,7 m. Der Grundwasserdruckhöhenanstieg erfolgte aufgrund der starken Niederschläge im Mai und Juni 2024. Bis Ende Mai 2025 sanken sie mit stark schwankendem Verlauf wieder um rund 2,5 m ab um dann bis Mitte Juli 2025 wieder um rund 2,2 m anzusteigen. Danach erfolgte ein schnelles Absinken um rund 1,9 m bis Ende August 2024. Bis August 2025 sanken sie mit leicht schwankendem Verlauf wieder um bis zu 2 m ab.

Abb. 21 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle BBH2 (BH) im Teilgebiet 3 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis 13.08.2025



In der Grundwassermessstelle BBH 2 (BH) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis Oktober 2024 generell erkennbar an und sanken dann bis August 2025 wieder merklich ab.

6.4. Teilgebiet 4

Auch das Teilgebiet 4 liegt im Bereich der Talweglinie des Feuerbachs am südwestlichen Rand von Feuerbach oberstromig der Teilgebiete 2 und 3. Die GWM sind in folgenden Aquiferen ausgebaut:

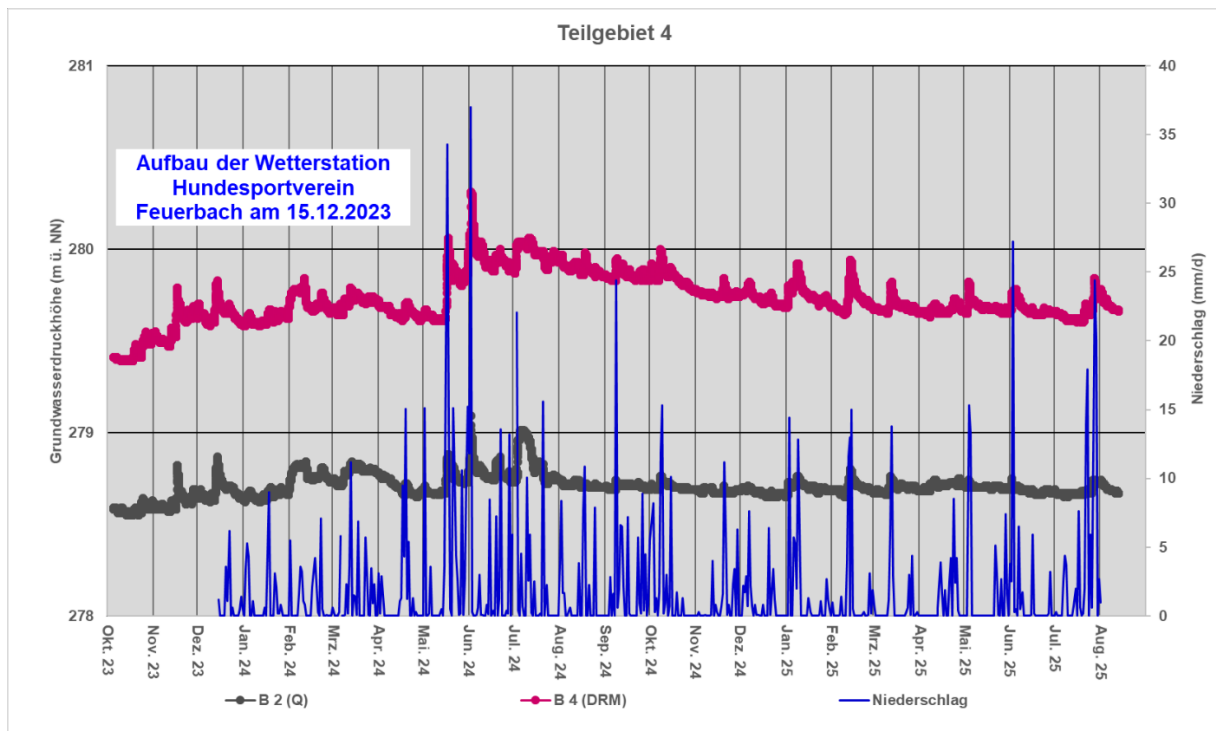
- B 2: Quartär
- B 4: Dunkelrote Mergel



Abb. 22 Bilder zu den Grundwassermessstellen B 2 und B 4



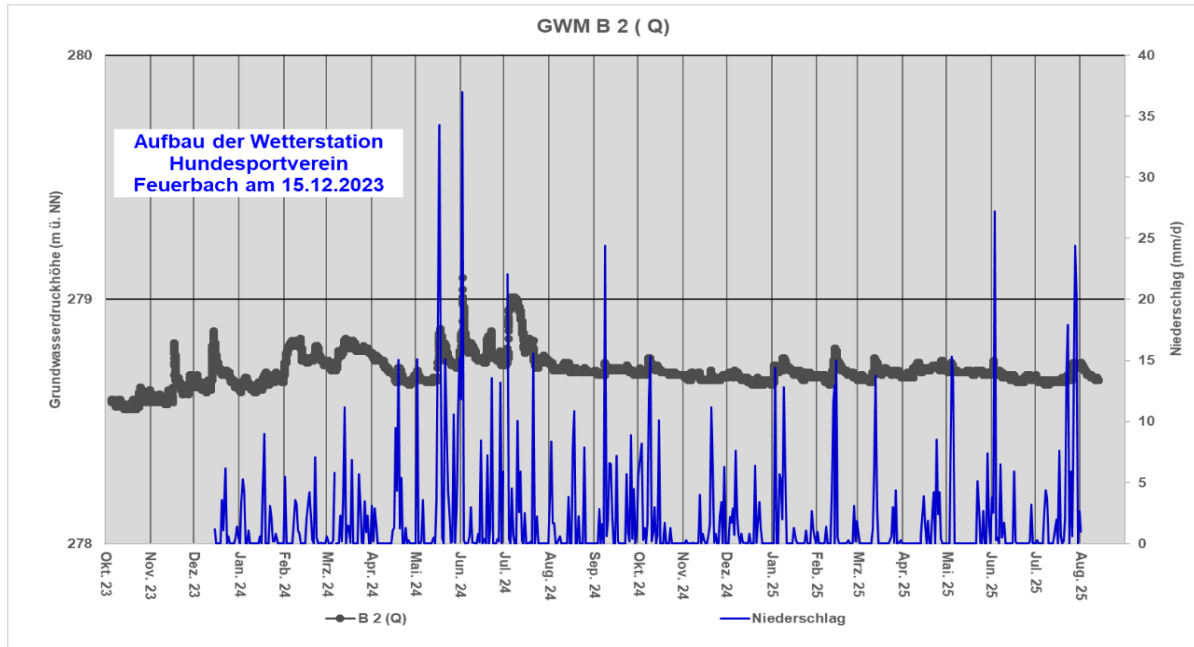
Abb. 23 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in den Grundwassermessstellen im Teilgebiet 4 mit Datenloggern und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



Die Grundwasserdruckhöhen in der in den Dunkelroten Mergeln ausgebauten Grundwassermessstelle B 4 lagen generell rund 1 m über denen in der im Quartär ausgebauten Grundwassermessstelle B 2. In beiden Grundwassermessstellen erfolgte im Untersuchungszeitraum ein genereller Anstieg mit schwankendem Verlauf um 0,17 m im Quartär und um 0,52 m in den Dunkelroten Mergeln. Die Grundwasserdruckhöhen in beiden GWM reagierten relativ schnell auf höhere Niederschlagsmengen.

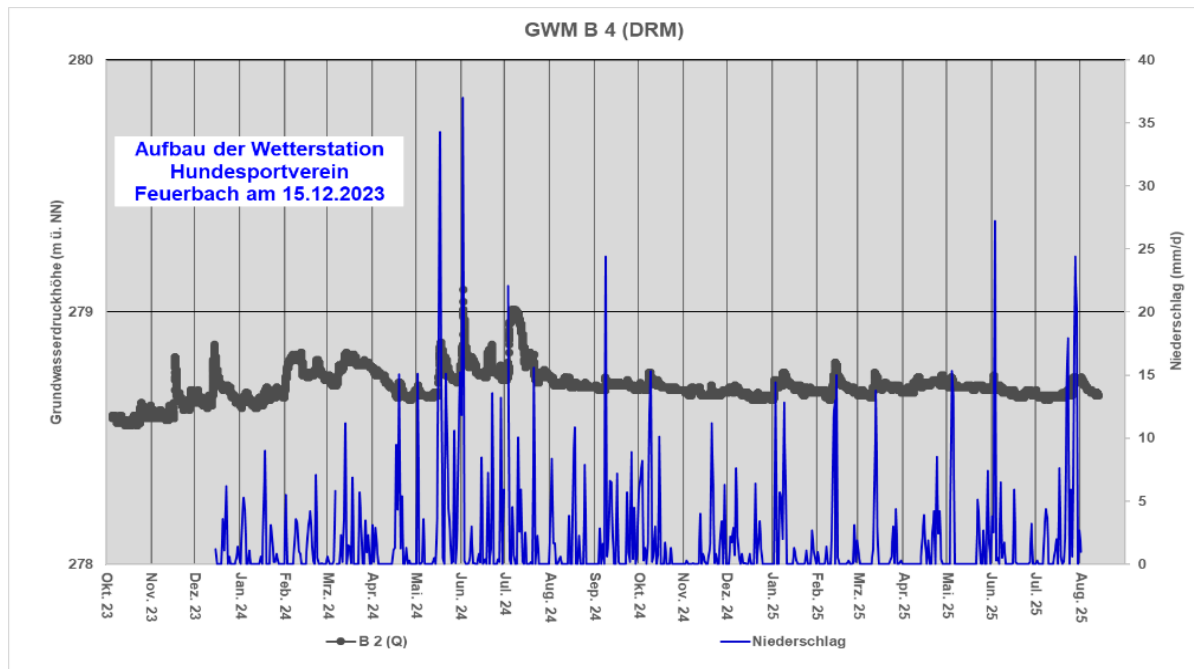


Abb. 24 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle B 2 (Q) im Teilgebiet 4 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



In der Grundwassermessstelle B 2 (Q) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis Anfang Juli 2024 generell mit schwankendem Verlauf leicht an und sanken dann bis August 2025 wieder mit leicht schwankendem Verlauf etwas ab.

Abb. 25 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle B 4 (DRM) im Teilgebiet 4 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025





In der Grundwassermessstelle B 4 (DRM) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis Anfang Juni 2024 generell mit schwankendem Verlauf erkennbar an und sanken dann bis August 2025 wieder mit schwankendem Verlauf etwas ab.

6.5. Teilgebiet 5

Das Teilgebiet 5 befindet sich am südöstlichen Rand von Feuerbach südwestlich der hier in Richtung Nordost nach Nordnordwest abknickenden Talweglinie des Feuerbachs. Die GWM sind in folgenden Aquiferen ausgebaut:

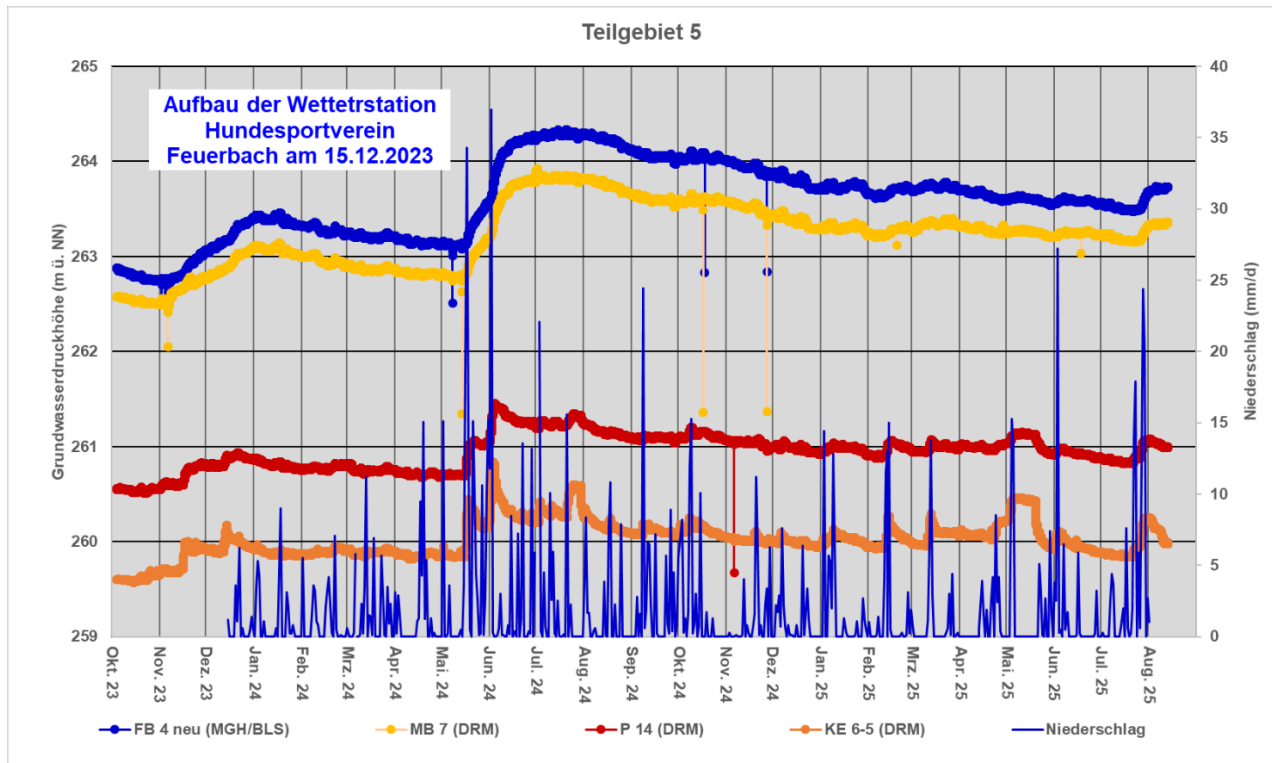
- FB 4 neu: Mittlerer Gipshorizont
- KE 6-5: Dunkelrote Mergel
- MB 7: Dunkelrote Mergel
- P 14: Dunkelrote Mergel

Abb. 26 Bilder zu den Grundwassermessstellen FB 4 neu, KE 6-5, MB 7 und P 14





Abb. 27 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in den Grundwassermessstellen im Teilgebiet 5 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



Die Grundwasserdruckhöhen stiegen im Beobachtungszeitraum generell mit schwankendem Verlauf um 0,38 m bis 0,85 m an.

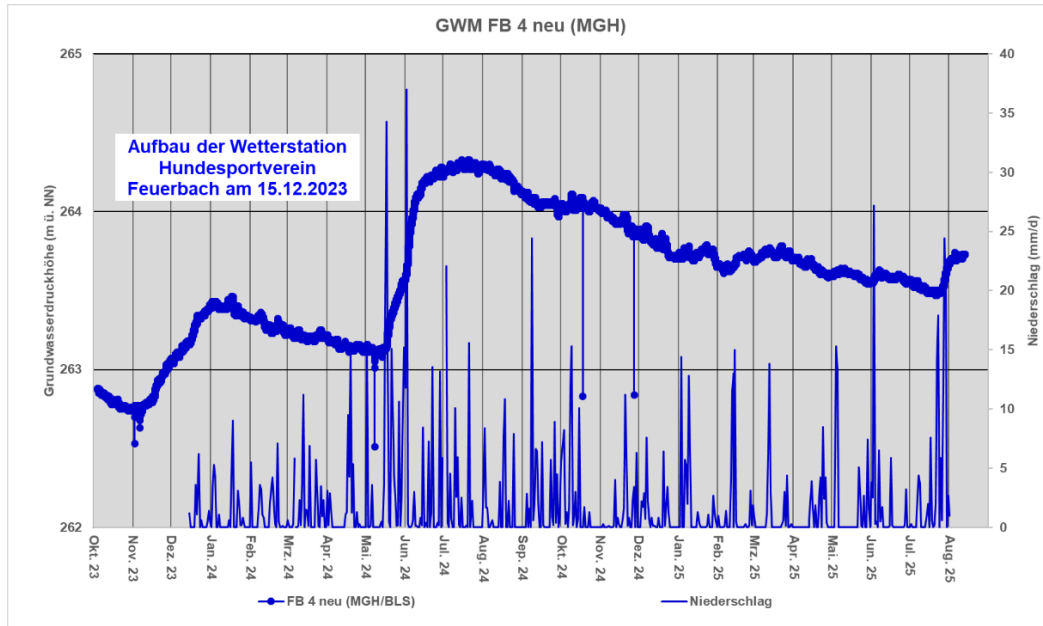
Die Grundwasserdruckhöhen in den Grundwassermessstellen im Teilgebiet 5 sinken generell in Richtung auf die Talweglinie des Feuerbachs, der der Vorfluter für den quartären Aquifer ist, ab.

Die Grundwasserdruckhöhen in der im Mittleren Gipshorizont ausgebauten Grundwassermessstelle FB 4 neu lagen generell über den Grundwasserdruckhöhen der in den in den Dunkelroten Mergeln ausgebauten Grundwassermessstellen MB 7, P 14 und KE 6-5. Die geringen Grundwasserdruckhöhenschwankungen in den Grundwassermessstellen P 14 und KE 6-5 sind durch die relativ geringe Entfernung zum Feuerbach bedingt. Der Wasserspiegel im Feuerbach reagiert unverzüglich auf die Niederschläge in seinem oberirdischen Einzugsgebiet. Durch den hydraulischen Kontakt zwischen dem Feuerbach und dem quartären Aquifer übertragen sich diese Schwankungen in kurzer Zeit auf die Grundwasserdruckhöhen im quartären Aquifer im Nahbereich des Feuerbachs.

Die kurzfristigen Absenkungen im Bereich bis zu 2 Metern in den Grundwassermessstellen FB 4 neu, MB 7 und P 14 sind auf Grundwasserprobenahmen aufgrund von Monitoringprogrammen bei Grundwasserschadensfällen bedingt.

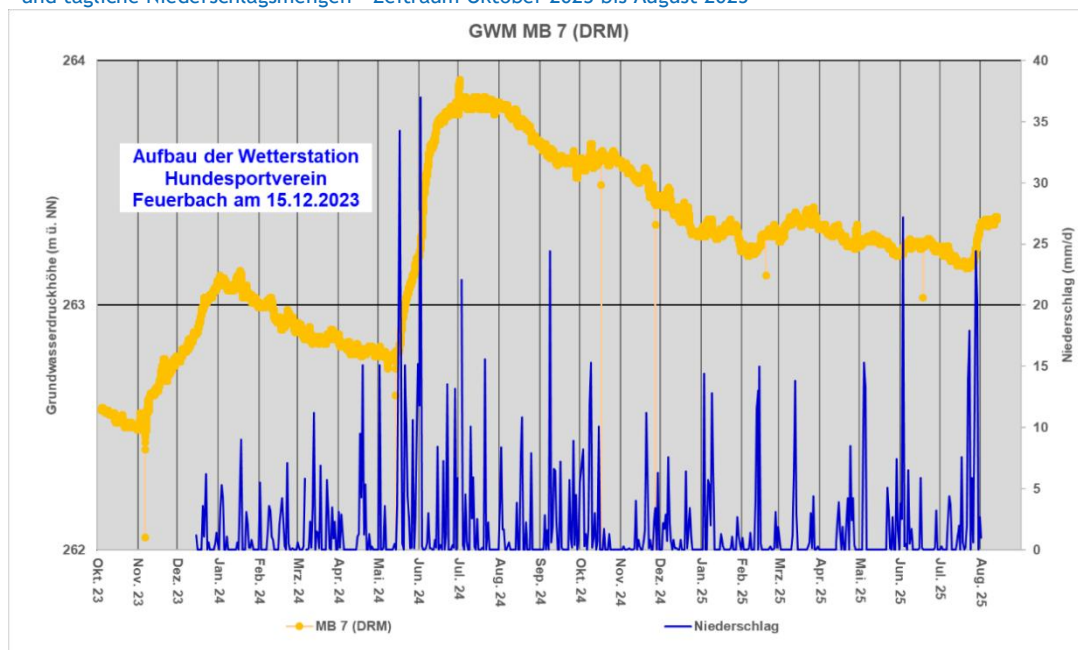


Abb. 28 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle FB 4 neu (MGH) im Teilgebiet 5 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



In der Grundwassermessstelle FB 4 neu (MGH) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis Mitte Juli 2024 generell mit schwankendem Verlauf erkennbar an und sanken dann bis August 2025 wieder mit leicht schwankendem Verlauf etwas ab. Die kurzfristigen stärkeren Absenkungen sind bedingt durch Grundwasserprobenahmen.

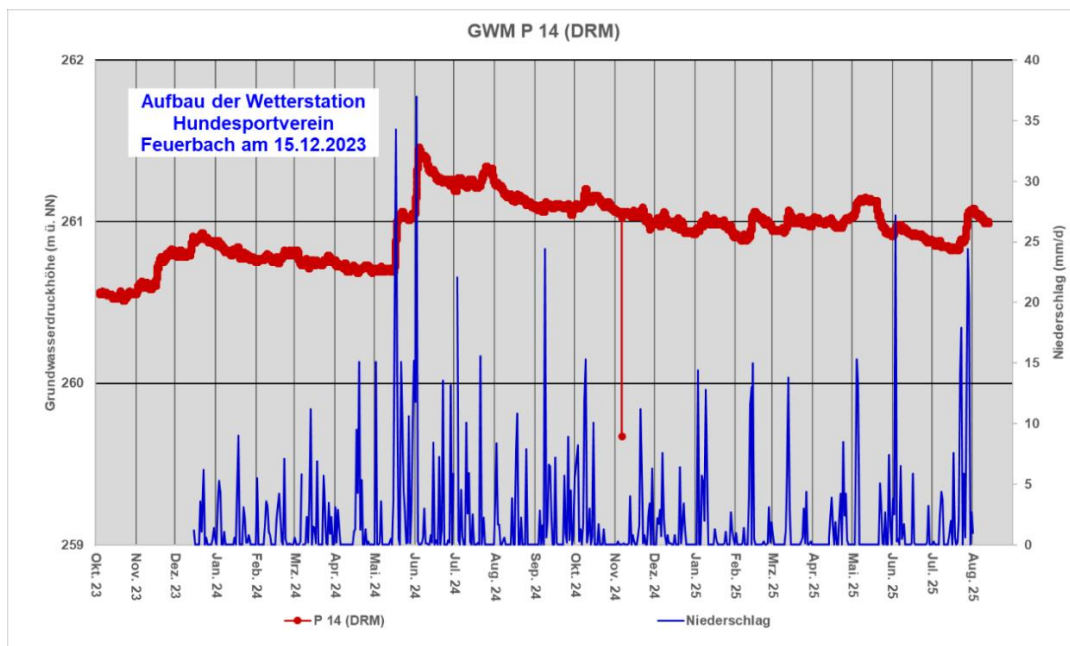
Abb. 29 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle MB 7 (DRM) im Teilgebiet 5 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025





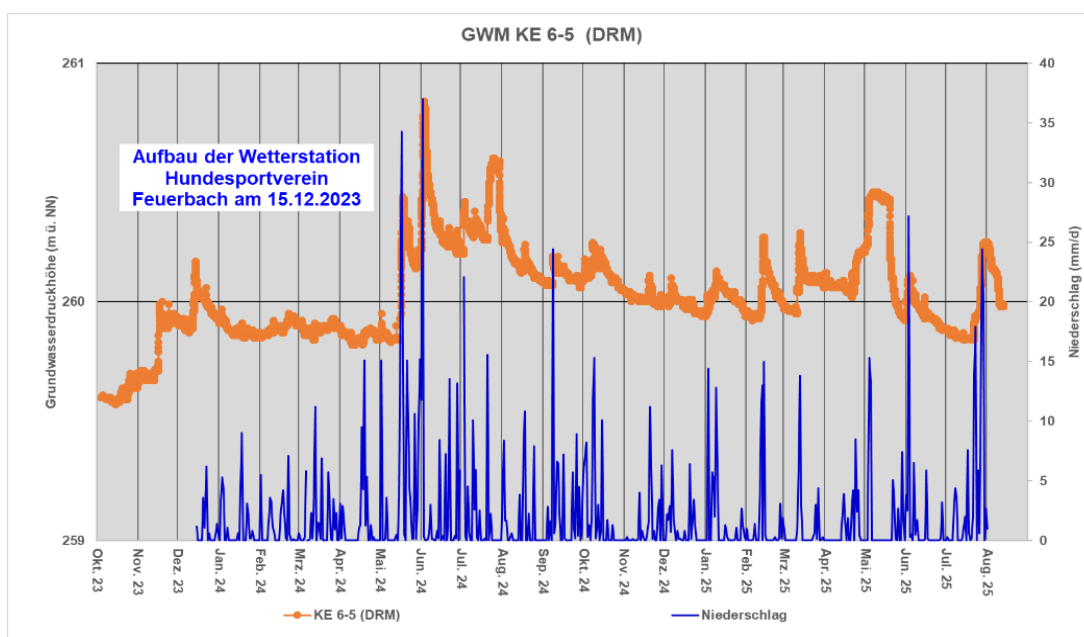
In der Grundwassermessstelle MB 7 (DRM) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis Mitte Juli 2024 generell mit schwankendem Verlauf erkennbar an und sanken dann bis August 2025 wieder mit leicht schwankendem Verlauf etwas ab. Die kurzfristigen stärkeren Absenkungen sind bedingt durch Grundwasserprobenahmen.

Abb. 30 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle P 14 (DRM) im Teilgebiet 5 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



In der Grundwassermessstelle P 14 (DRM) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis Anfang Juni 2024 generell mit leicht schwankendem Verlauf an und sanken dann bis August 2025 wieder mit schwankendem Verlauf etwas ab. Die kurzfristige stärkere Absenkung im November 2024 ist bedingt durch eine Grundwasserprobenahmen.

Abb. 31 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle KE 6-5 (DRM) im Teilgebiet 4 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025





In der Grundwassermessstelle KE- 6-5 (DRM) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis Anfang Juni 2024 generell mit leicht schwankendem Verlauf an und sanken dann bis August 2025 wieder mit schwankendem Verlauf etwas ab.

6.6. Teilgebiet 6

Auch das Teilgebiet 6 befindet sich am südöstlichen Rand von Feuerbach westlich des Bereichs, in dem sich die Talweglinie des Feuerbachs von Richtung Nordost nach Nordnordwest ändert. Die GWM sind in folgenden Aquiferen ausgebaut:

- G 3 Auff: Künstliche Auffüllung und Quartär
- G 2 DRM: Dunkelrote Mergel
- MB 6: Bochinger Horizont

Abb. 32 Bilder zu den Grundwassermessstellen G 3 Auff, G 2 DRM und MB 6

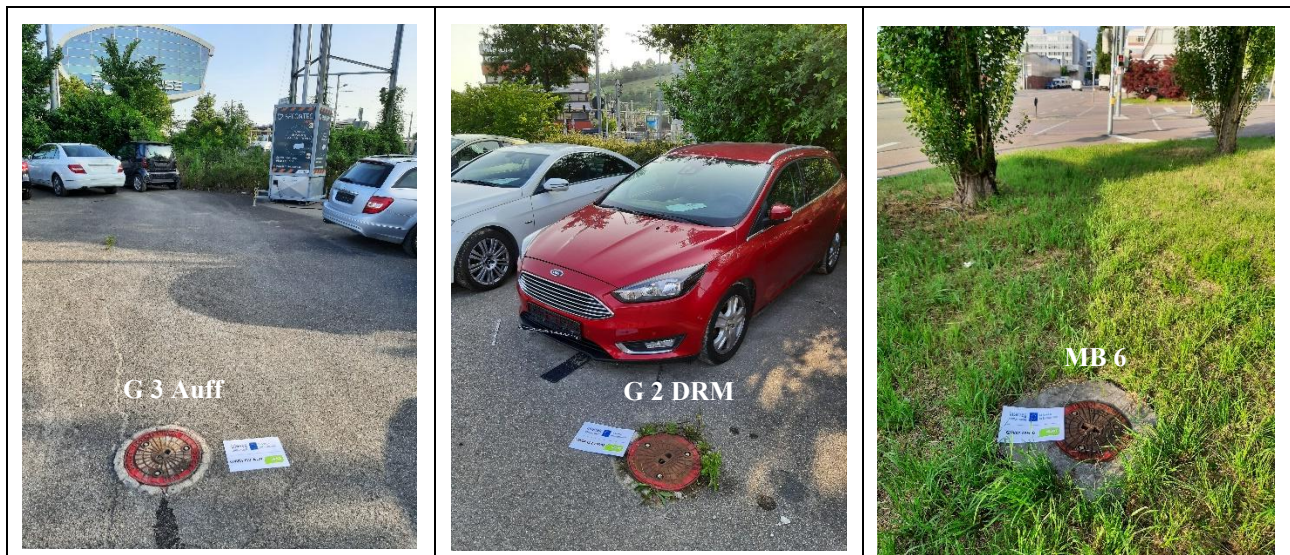
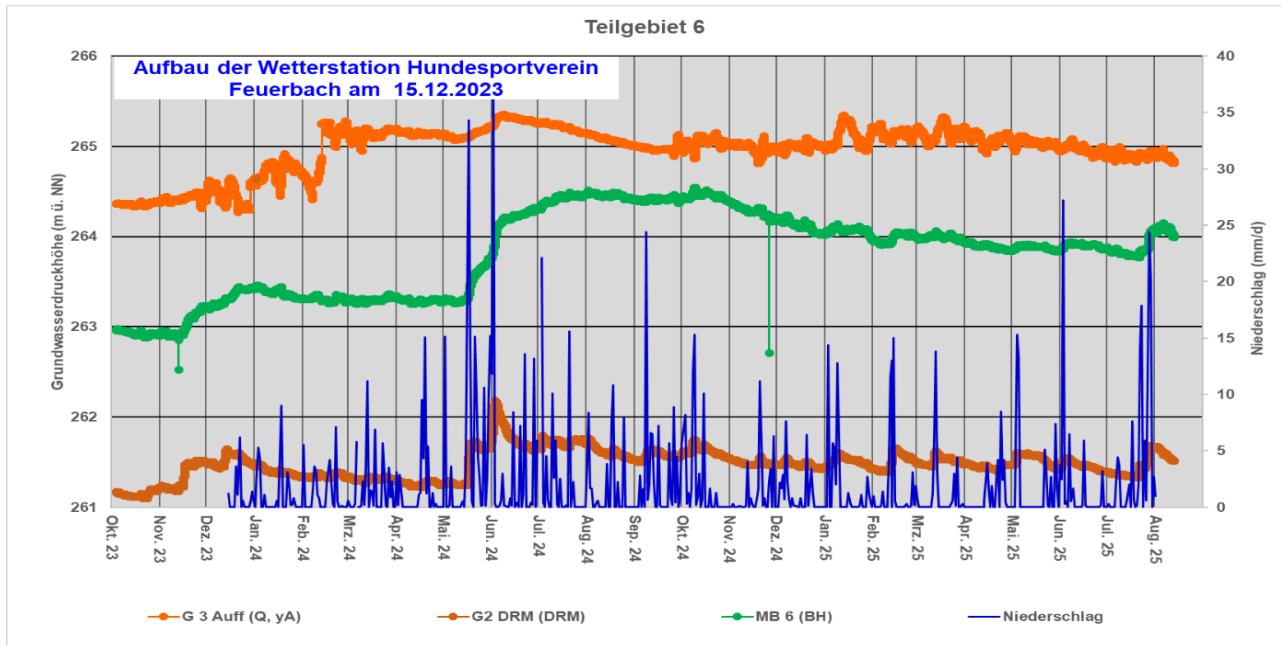




Abb. 33 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in den Grundwassermessstellen im Teilgebiet 6 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025

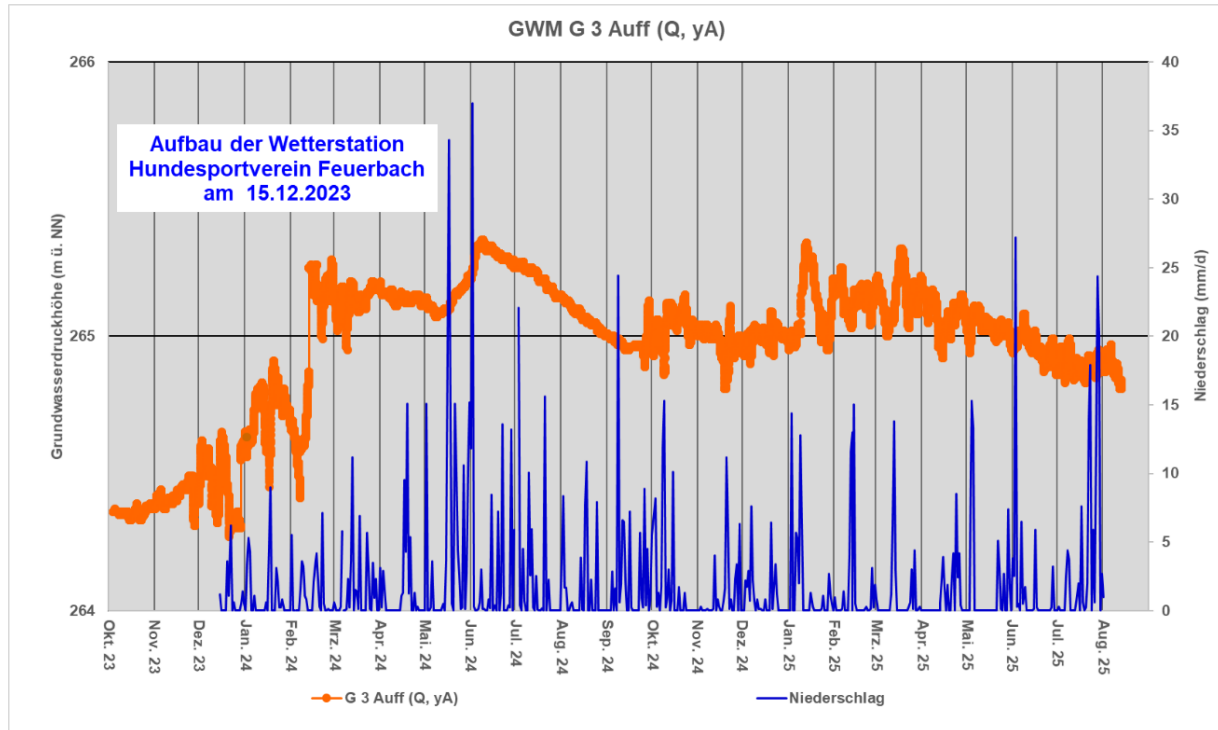


Die Grundwasserdruckhöhen stiegen im Beobachtungszeitraum generell mit schwankendem Verlauf um 0,35 m bis 1,04 m an. Die Grundwasserdruckhöhen in den Grundwassermessstellen sinken generell in Richtung auf die Talweglinie des Feuerbachs ab.

Die Grundwasserdruckhöhen in der, im Quartär und in den künstlichen Auffüllungen ausgebauten, Grundwassermessstelle G3 Auff lagen immer über denen in den Dunkelroten Mergeln ausgebauten Grundwassermessstellen G2 DRM und der im Bochinger Horizont ausgebauten GWM MB 6.



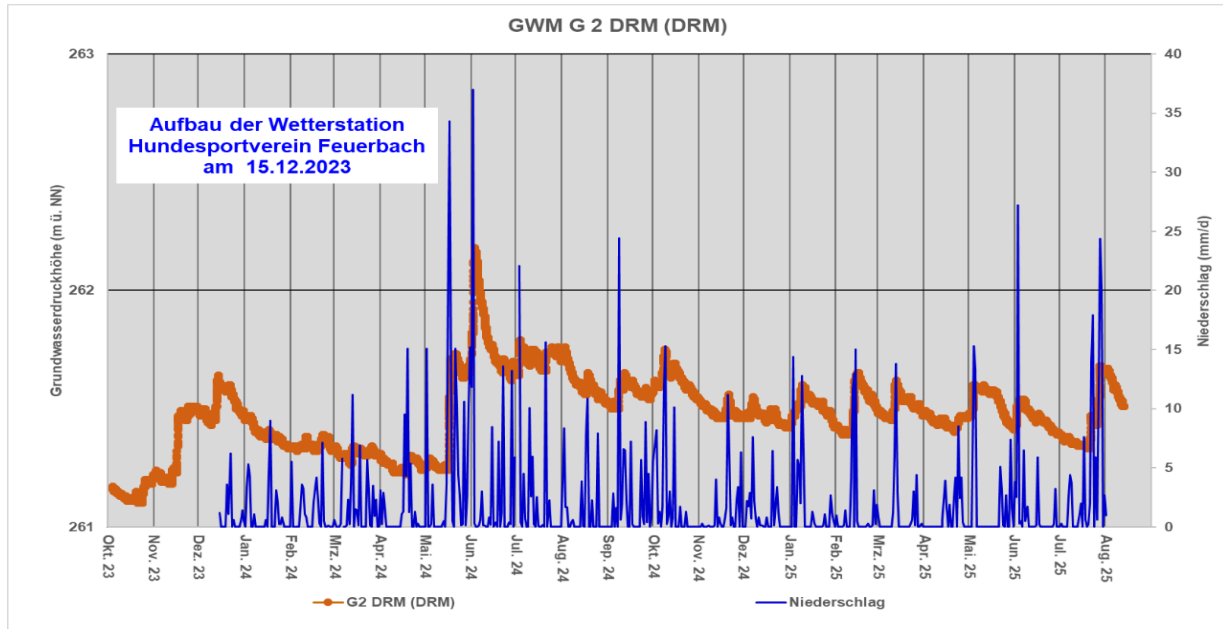
Abb. 34 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle G 3 Auff (Q, yA) im Teilgebiet 6 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



In der Grundwassermessstelle G 3 Auff (Q, yA) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis Anfang Juni 2024 generell mit erkennbar schwankendem Verlauf an und sanken dann bis August 2025 wieder mit schwankendem Verlauf etwas ab.

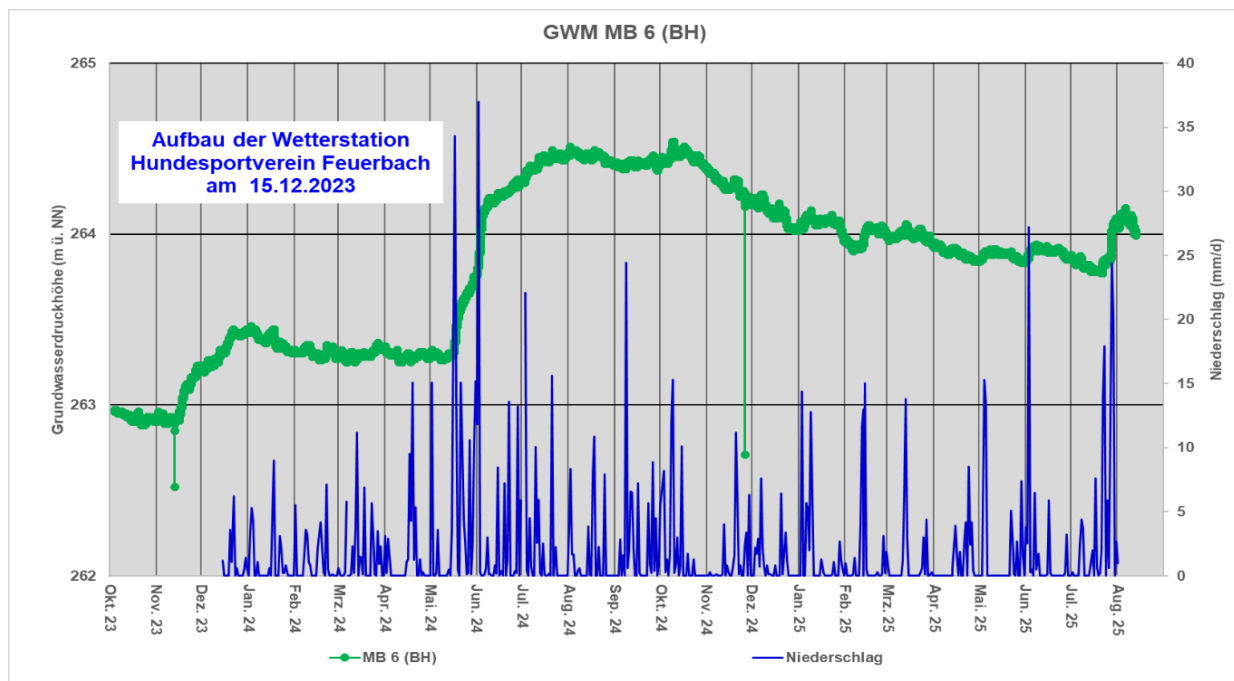


Abb. 35 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle G 2 DRM (DRM) im Teilgebiet 6 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



In der Grundwassermessstelle G 2 DRM (DRM) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis Anfang Juni 2024 generell mit erkennbar schwankendem Verlauf an und sanken dann bis August 2025 wieder mit schwankendem Verlauf etwas ab.

Abb. 36 Grundwasserdruckhöhenentwicklung in der Grundwassermessstelle MB 6 (BH) im Teilgebiet 6 und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



In der Grundwassermessstelle MB 6 (BH) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis Mitte November 2024 generell mit schwankendem Verlauf erkennbar an und sanken dann bis August 2025 wieder mit



schwankendem Verlauf etwas ab. Die kurzfristigen stärkeren Absenkungen im November 2023 und 2024 sind bedingt durch Grundwasserprobenahmen.

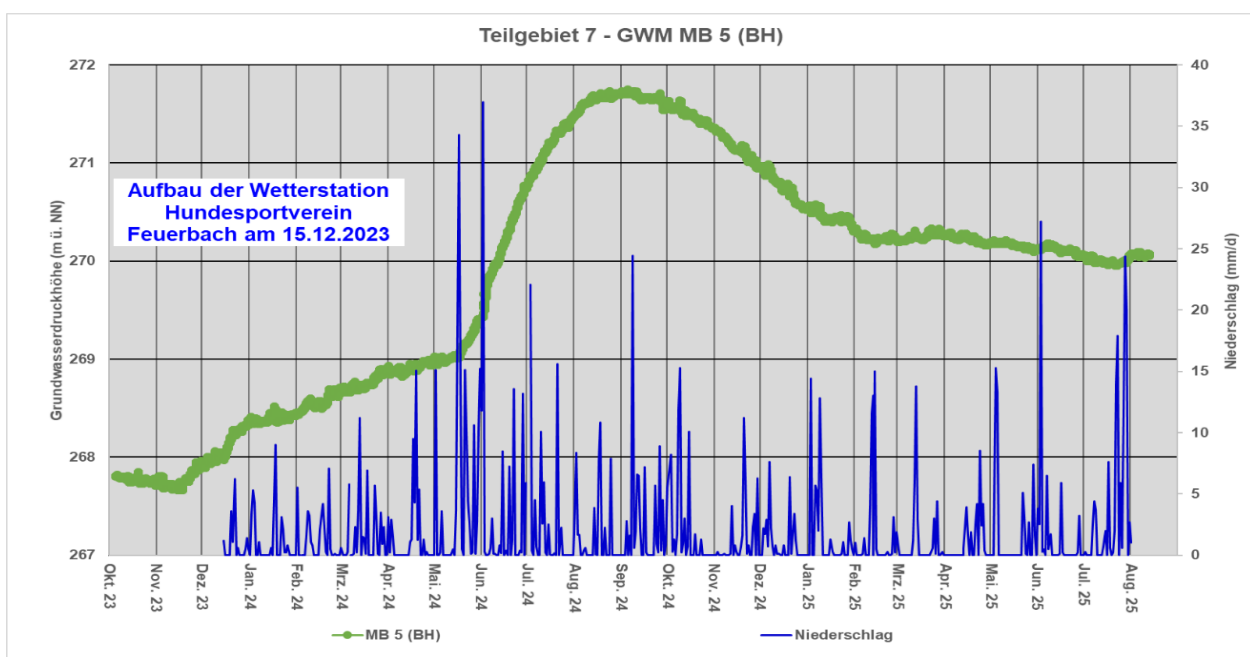
6.7. Teilgebiet 7

Das Teilgebiet 7 liegt mitten im Waldgebiet des Müllerwaldes nordwestlich von Feuerbach. Die GWM MB 5 erschließt den Aquifer im Bochinger Horizont.

Abb. 37 Bild zu der Grundwassermessstelle MB 5



Abb. 38 Grundwasserdruckhöhenentwicklung im Teilgebiet 7 in der Grundwassermessstelle MB 5 (BH) und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



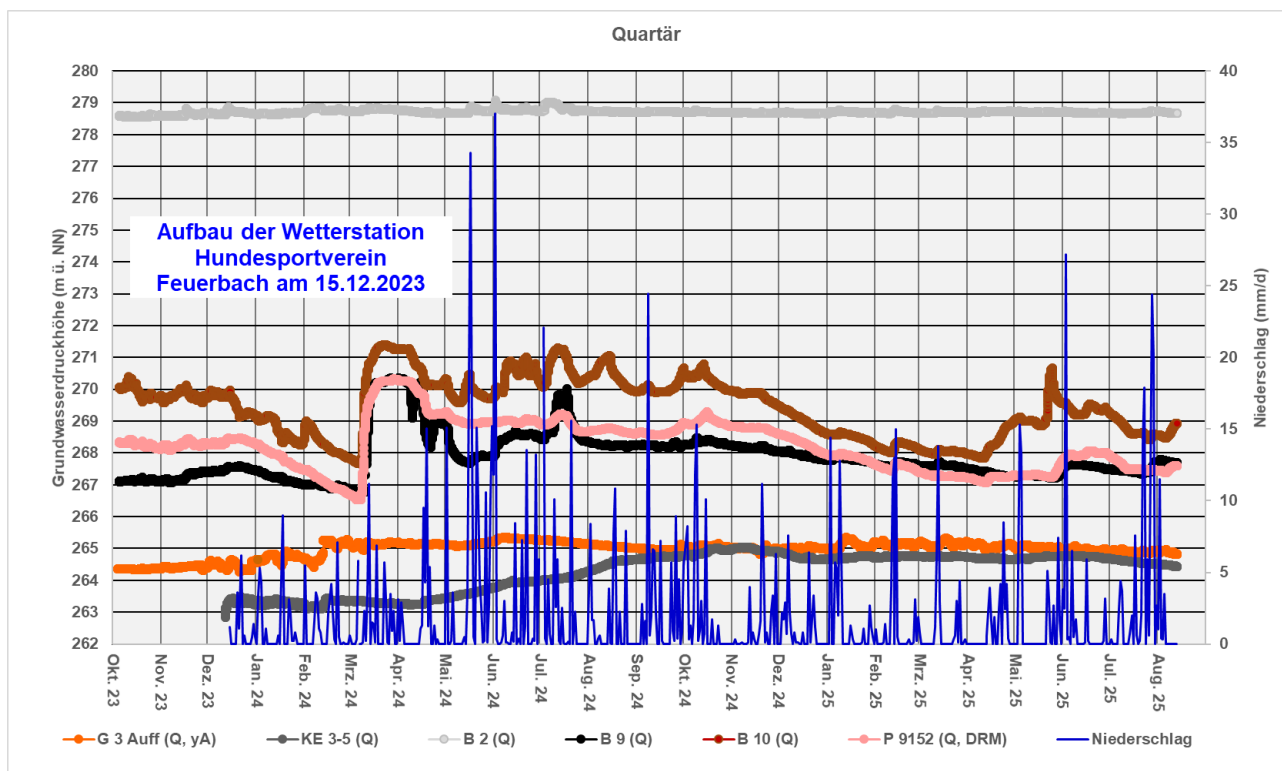


In der Grundwassermessstelle MB 5 (BH) stiegen die Grundwasserdruckhöhen bis Anfang September 2024 erkennbar um fast 4 m an und sanken dann bis August 2025 danach bis August 2025 wieder um rund 1,8 m ab.

6.8. Aquifer Quartär

In der Abbildung 51 sind für die im Quartär ausgebauten Grundwassermessstellen B 10 (Q), P 9152 (Q, DRM), B 2 (Q), G3 Auff (Q, yA), B 9 (Q) und KE 3-5 (Q) die Grundwasserdruckhöhenganglinien für den Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025 zusammen mit den Niederschlagsdaten der Wetterstation Hundesportverein Feuerbach dargestellt.

Abb. 39 Grundwasserdruckhöhenentwicklung den im Quartär ausgebauten Grundwassermessstellen B 10 (Q), P 9152 (Q, DRM), B 2 (Q), G3 Auff (Q, yA), B 9 (Q) und KE 3-5 (Q) und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



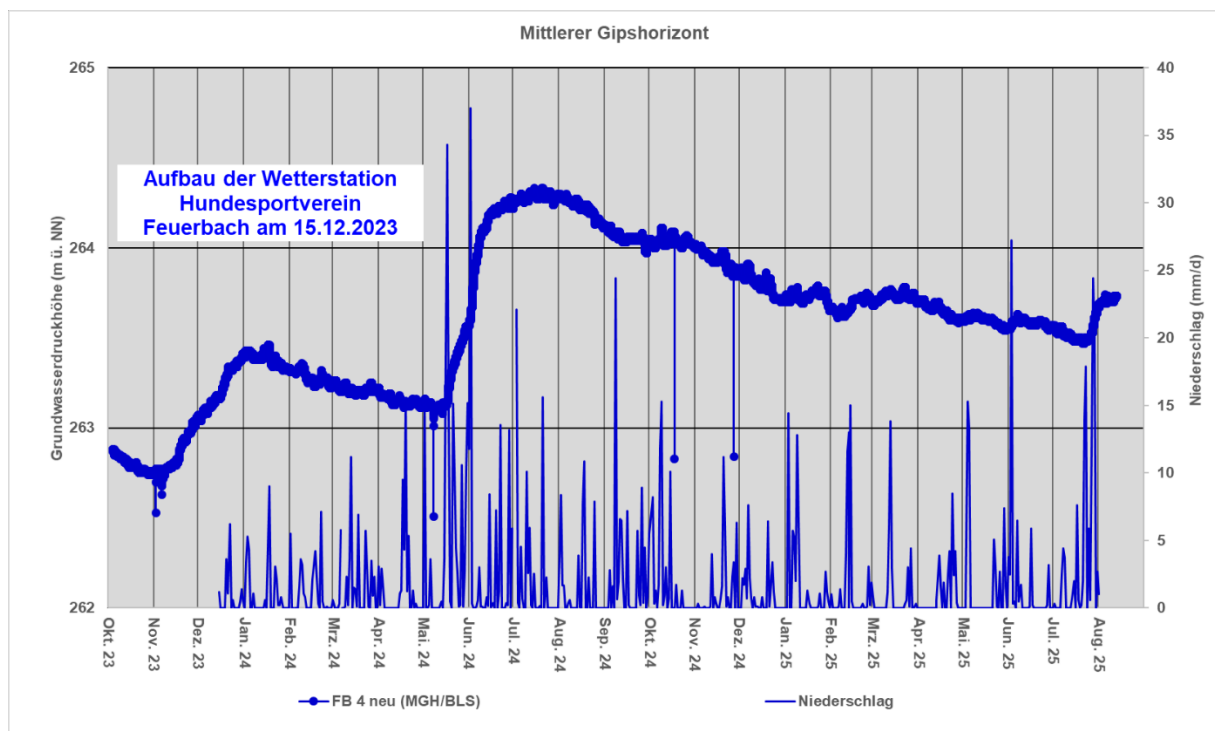
In den im Quartär ausgebauten Grundwassermessstellen B 10 (Q) und P 9152 (Q, DRM) sanken die Grundwasserdruckhöhen mit stark schwankendem Verlauf um 1,09 m und 0,72 m ab. In den anderen im Quartär ausgebauten Grundwassermessstellen B 2 (Q), B 9 (Q) und KE3-5 (Q) sowie in der Grundwassermessstelle G 3 Auff (Q, yA), die in den künstlichen Auffüllungen und im Quartär ausgebaut ist, stiegen die Grundwasserdruckhöhen hingegen zwischen 0,08 m und 1,61 m an. Bei der Grundwassermessstelle B 9 (Q) traten ebenfalls sehr starke Schwankungen auf. Die Grundwassermessstelle B 2 (Q) liegt im oberen Teil des Feuerbachtals in Feuerbach topographisch deutlich höher als die anderen im Quartär ausgebauten Grundwassermessstellen. Daher liegen die in ihr gemessenen Grundwasserdruckhöhen auch deutlich über den Grundwasserdruckhöhen in den übrigen im Quartär ausgebauten Grundwassermessstellen.



6.9. Aquifer Mittlerer Gipshorizont/Bleiglanzbankschichten

In der Abbildung 52 ist für die im Mittleren Gipshorizont/Bleiglanzbankschichten ausgebaute Grundwassermessstelle FB 4 neu (MGH) die Grundwasserdruckhöhenganglinie für den Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025 zusammen mit den Niederschlagsdaten der Wetterstation Hundesportverein Feuerbach dargestellt.

Abb. 40 Grundwasserdruckhöhenentwicklung der im Mittleren Gipshorizont/Bleiglanzbankschichten ausgebauten Grundwassermessstelle FB 4 neu (MGH) und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



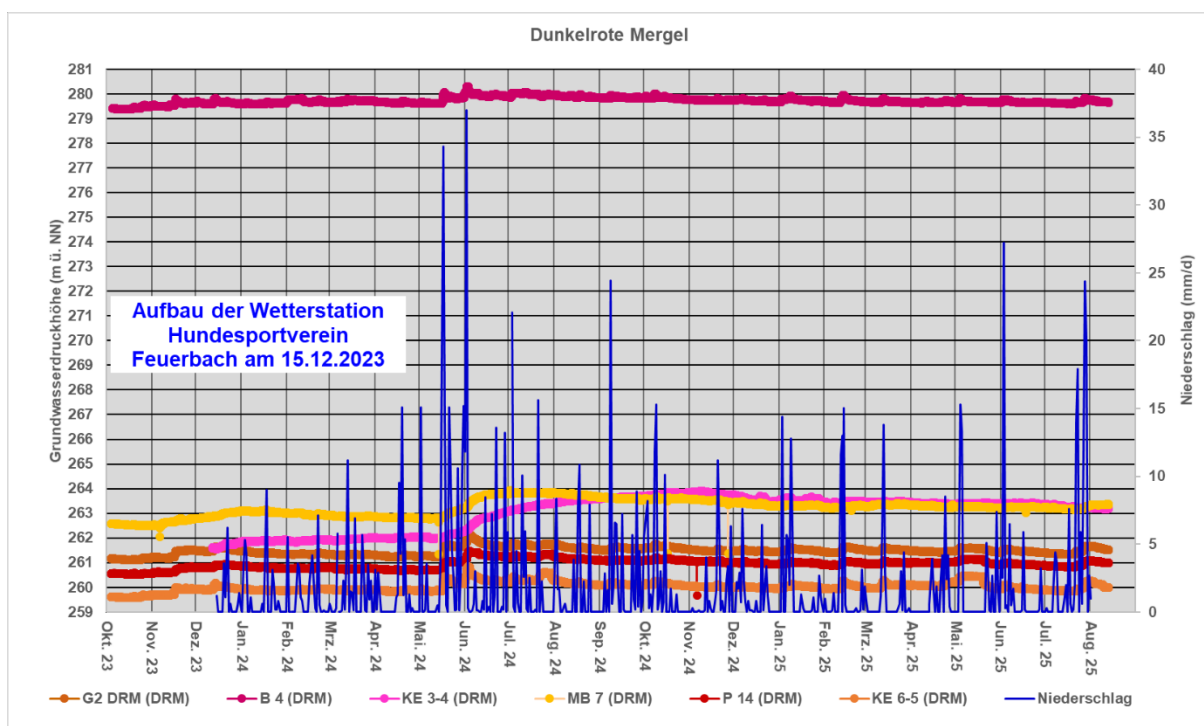
Die Grundwasserdruckhöhen in der Grundwassermessstelle FB 4 neu (MGH) stiegen generell mit schwankendem Verlauf von Oktober 2023 bis August 2025 um 0,85 m an. Die höchsten Grundwasserdruckhöhen wurden im Juli 2024 gemessen.



6.10. Aquifer Dunkelrote Mergel

In der Abbildung 53 sind für die in den Dunkelroten Mergeln ausgebauten Grundwassermessstellen G2 DRM (DRM), B 4 (DRM), KE 3-4 (DRM), MB 7 (DRM), P 14 (DRM) und KE 6-5 (DRM) die Grundwasserdruckhöhenganglinien für den Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025 zusammen mit den Niederschlagsdaten der Wetterstation Hundesportverein Feuerbach dargestellt.

Abb. 41 Grundwasserdruckhöhenentwicklung der in den Dunkelroten Mergeln ausgebauten Grundwassermessstellen G2 DRM (DRM), B 4 (DRM), KE 3-4 (DRM), MB 7 (DRM), P 14 (DRM) und KE 6-5 (DRM) und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



Die Grundwasserdruckhöhen in den in den Dunkelroten Mergeln ausgebauten Grundwassermessstellen G2 DRM, B 4, KE 3-4, MB 7, P 14 und KE 6-5 stiegen generell mit unterschiedlich schwankendem Verlauf um 0,85 m bis 1,59 m an.

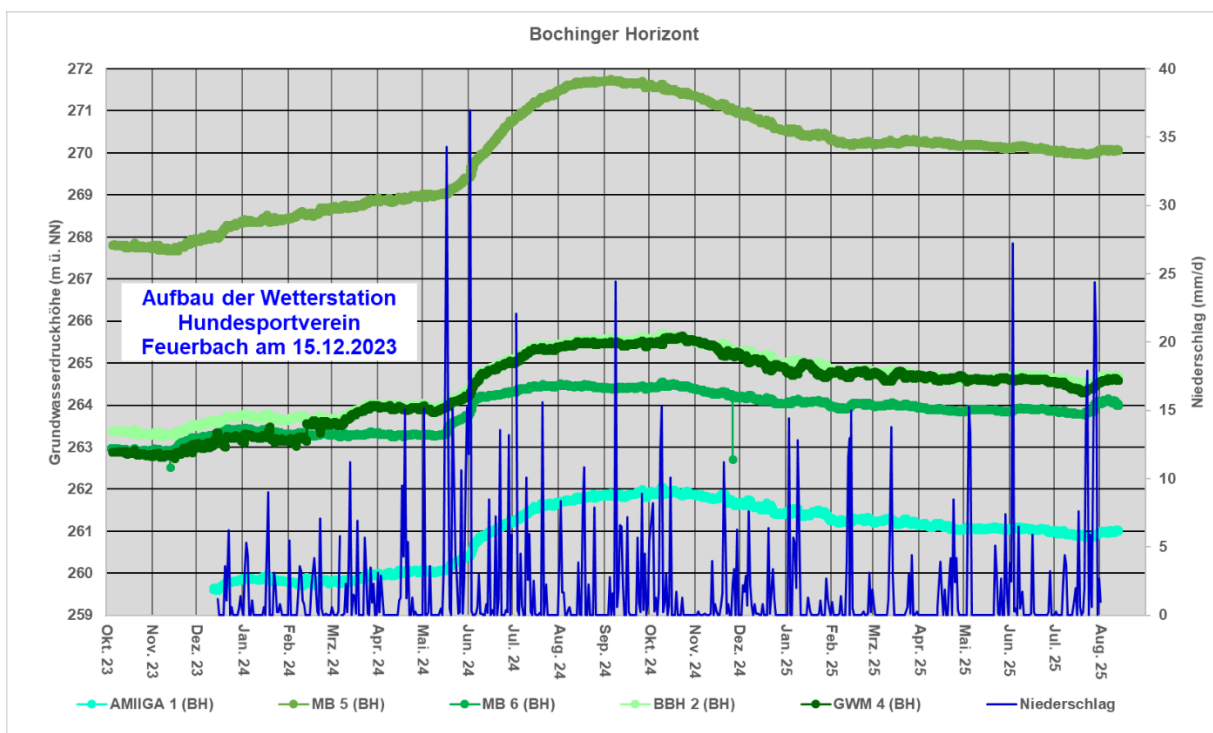
Die Grundwassermessstelle B 4 liegt im oberen Teil des Feuerbachtals in Feuerbach topographisch deutlich höher als die anderen in den Dunkelroten Mergeln ausgebauten Grundwassermessstellen. Daher liegen die in ihr gemessenen Grundwasserdruckhöhen auch deutlich über den Grundwasserdruckhöhen in den übrigen in den Dunkelroten Mergeln ausgebauten Grundwassermessstellen G2 DRM, KE 3-4, MB 7, P 14 und KE 6-5.



6.11. Aquifer Bochinger Horizont

In der Abbildung 53 sind für die im Bochinger Horizont ausgebauten Grundwassermessstellen AMIIGA 1 (BH), MB 5 (BH), MB 6 (BH) BBH 2 (BH) und GWM 4 (BH) die Grundwasserdruckhöhenganglinien für den Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025 zusammen mit den Niederschlagsdaten der Wetterstation Hundesportverein Feuerbach dargestellt.

Abb. 42 Grundwasserdruckhöhenentwicklung der im Bochinger Horizont ausgebauten Grundwassermessstellen AMIIGA 1 (BH), MB 5 (BH), MB 6 (BH) BBH 2 (BH) und GWM 4 (BH) und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



Die Grundwasserdruckhöhen in den im Bochinger Horizont ausgebauten Grundwassermessstellen AMIIGA 1, MB 5, MB 6, BBH 2 und GWM 4 stiegen im Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025 mit schwankendem Verlauf um 1,04 m bis 2,26 m an. Die höchsten Grundwasserdruckhöhen wurden generell im September/Oktober 2024 gemessen.

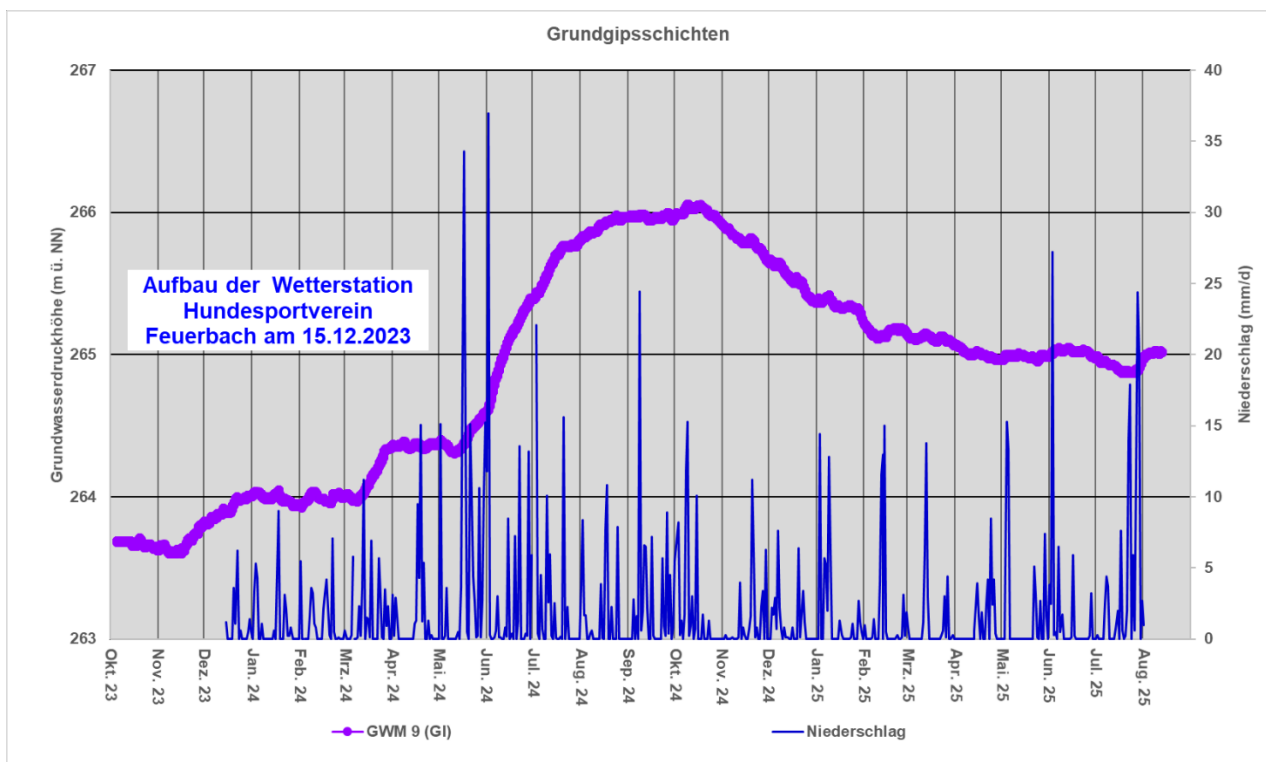
Die zum Teil deutlichen Unterschiede bei den Grundwasserdruckhöhen sind auf die Lage der Grundwassermessstellen in Bezug auf die Talweglinie des Feuerbachs zurückzuführen. Die Grundwassermessstelle AMIIGA 1, die nahe an der Talweglinie liegt, weist die niedrigsten Grundwasserdruckhöhen auf. Die Grundwassermessstellen MB 6, BBH 2 und GWM 4 liegen etwas weiter von der Talweglinie und die GWM MB 5 liegt am weitesten von der Talweglinie entfernt in einem nördlich des Feuerbachtals gelegenen Hangbereich.



6.12. Aquifer Grundgipsschichten

In der Abbildung 54 ist für die in den Grundgipsschichten ausgebaute Grundwassermessstelle GWM 9 (GI) die Grundwasserdruckhöhenganglinie für den Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025 zusammen mit den Niederschlagsdaten der Wetterstation Hundesportverein Feuerbach dargestellt.

Abb. 43 Grundwasserdruckhöhenentwicklung der in den Grundgipsschichten ausgebauten Grundwassermessstelle DB 4 neu (MGH) und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



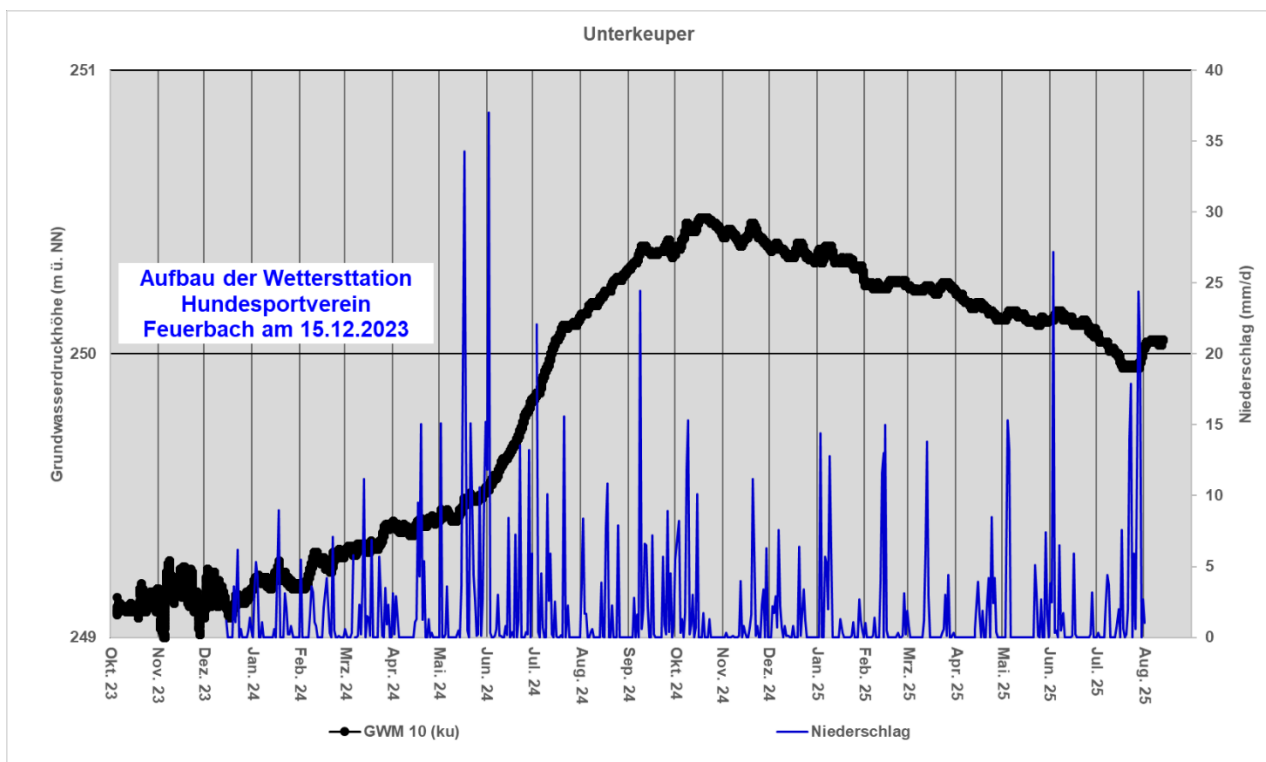
Die Grundwasserdruckhöhen in der Grundwassermessstelle GWM 9 (GI) stiegen generell mit schwankendem Verlauf von Oktober 2023 bis August 2025 bis um 1,32 m an. Die höchsten Grundwasserdruckhöhen wurden im Oktober 2024 gemessen.



6.13. Aquifer Unterkeuper

In der Abbildung 56 ist für die im Unterkeuper ausgebaute Grundwassermessstelle GWM 10 (ku) die Grundwasserdruckhöhenganglinie für den Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025 zusammen mit den Niederschlagsdaten der Wetterstation Hundesportverein Feuerbach dargestellt.

Abb. 44 Grundwasserdruckhöhenentwicklung der im Unterkeuper ausgebauten Grundwassermessstelle GWM 10 (ku) und tägliche Niederschlagsmengen - Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025



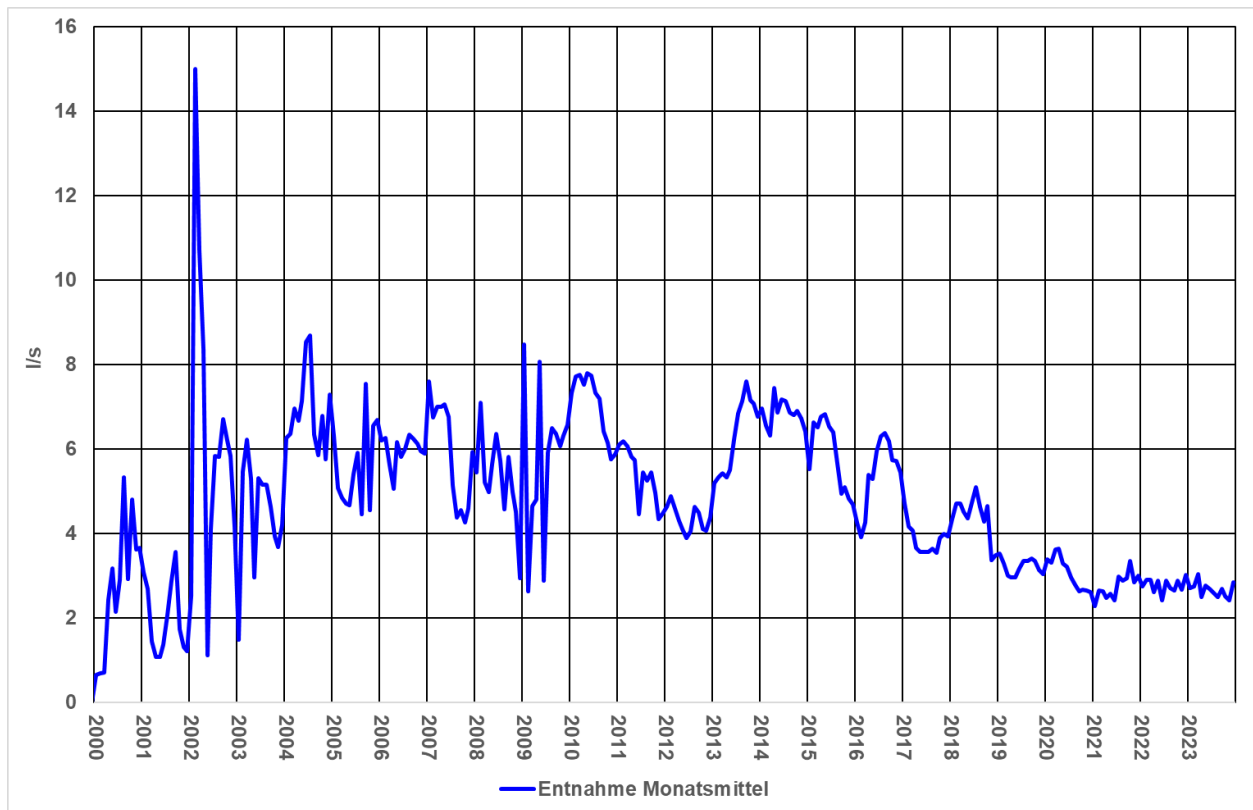
Die Grundwasserdruckhöhen in der GWM 10 (ku) stiegen generell mit schwankendem Verlauf von Oktober 2023 bis August 2025 bis um 0,91 m an. Die höchsten Grundwasserdruckhöhen wurden im Oktober 2024 gemessen.



7. Langfristige Entwicklung der Grundwasserentnahmen

In der Abb. 24 ist die langfristige Entwicklung der Grundwasserentnahmen im Pilotgebiet für die Aquifere Quartär und Gipskeuper für den Zeitraum 2000 bis 2023 graphisch dargestellt.

Abb. 45 Entwicklung der Grundwasserentnahmen im Pilotgebiet (Zeitraum 2000 bis 2023) in den Aquiferen Quartär und Gipskeuper



Die Grundwasserentnahmen im Pilotgebiet in den Aquiferen Quartär und Gipskeuper erfolgen meist infolge von hydraulischen Grundwassersanierungen. Relativ geringe Grundwasserentnahmemengen fallen auch durch Wasserhaltungen zur Trockenhaltung von Gebäuden und temporär bei Bauwasserhaltungen an. In Abhängigkeit der Konzeptionen der hydraulischen Sanierungen kann es auch unabhängig von der Höhe der Grundwasserneubildung zu starken Schwankungen bei den Grundwasserentnahmemengen kommen.

Das generelle Absinken der Grundwasserentnahmen seit Ende 2010 ist jedoch bei gleichbleibenden Konzeptionen der hydraulischen Sanierungen auf einen starken Rückgang der förderbaren Grundwassermengen zurückzuführen. Bei einem Teil der Standorte im Pilotgebiet mit hydraulischen Sanierungen stellten sich die hydraulischen Sanierungen aufgrund der stark gefallen Grundwasserdruckhöhen in den Sanierungs-Aquiferen vollständig ein.

8. Langfristige Grundwasserdruckhöhenentwicklung

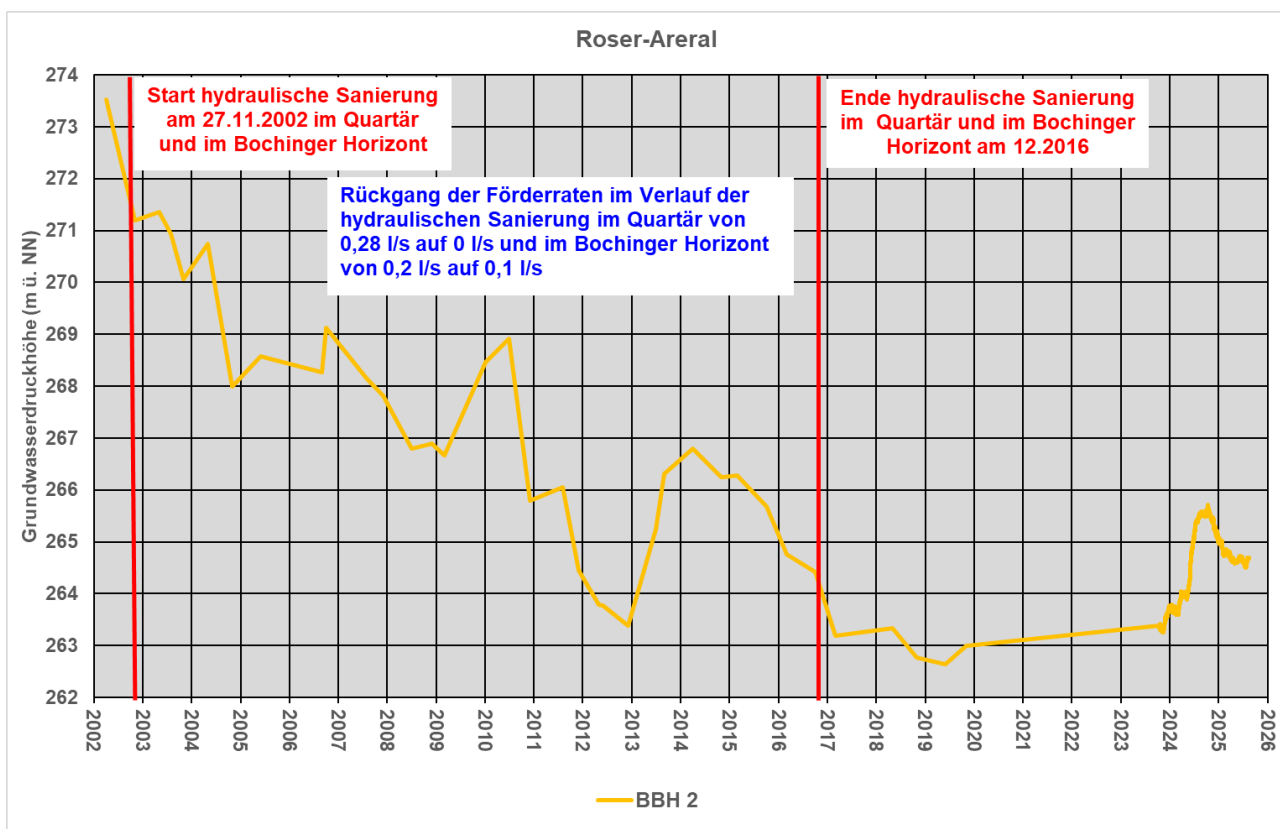
Für die Darstellung der langfristigen Grundwasserdruckhöhenentwicklung im Projektgebiet werden nachfolgend die Daten mehrerer GWM in unterschiedlichen Teilen des Pilotgebiets, für die langjährige Datenreihen vorliegen, herangezogen.



8.1. Bereich Stuttgarter Straße

Die im Bochinger Horizont ausgebaute GWM BBH 2 liegt im zentralen Bereich von Feuerbach in der Stuttgarter Straße im Mittelteil des ROSER-Areals (Stuttgarter Straße 13 - 23). Hier wurde zwischen November 2002 und Dezember 2016 in den Aquiferen Quartär und Bochinger Horizont eine hydraulische Sanierung durchgeführt. Die Förderraten sanken im Verlauf der hydraulischen Sanierung im Quartär von 0,28 l/s auf 0 l/s und im Bochinger Horizont von 0,2 l/s auf 0,1 l/s ab. Die Grundwasserdruckhöhe im Bochinger Horizont lag hier vor Beginn der hydraulischen Sanierung im November 2002 auf 273,53 m NN, nach Einstellung der hydraulischen Sanierung im Dezember 2016 lagen sie im Zeitraum März 2017 bis November 2023 zwischen 262,64 m NN und 263,33 m NN. Ab November 2023 bis Mitte Oktober 2024 stiegen sie mit schwankendem Verlauf um 2,26 m auf 265,63 m NN an. Die Grundwasserdruckhöhe Mitte Oktober 2024 liegt immer noch 7,90 m unter der Grundwasserdruckhöhe vor Beginn der hydraulischen Sanierung im November 2002.

Abb. 46 Langfristige Grundwasserdruckhöhenentwicklung (Zeitraum 2002 bis 2025) im Aquifer Bochinger Horizont in der GWM BBH 2 im Teilgebiet 3 (Mittelteil Roser-Areal, Stuttgarter Straße 13 - 23)



8.2. Bereich Werner Straße

Die Grundwasserdruckhöhenentwicklung in den Gipskeuper-Aquiferen im Bereich der Wernerstraße (siehe Abb. 26) wurde neben den hydrologischen Einflüssen zusätzlich erheblich durch die im Beobachtungszeitraum deutlich wechselnden hydraulischen Sanierungsmaßnahmen im Aquifer Mittlerer Gipshorizont bei den dort laufenden hydraulischen Sanierungen beeinflusst und ist daher sehr komplex. Exemplarisch für diesen Bereich sind in der Abb. 27 die Grundwasserganglinien der Grundwassermessstellen B 103 (Mittlerer Gipshorizont/Bleiglanzbankschichten), B 131 (Dunkelrote Mergel), B 125 (Bochinger Horizont) und B 126 (Grundgipsschichten) dargestellt.



Abb. 47 Lage der Grundwassermessstelle B 102, B 125, B 126 und B131 im Bereich Wernerstraße 51 [7]

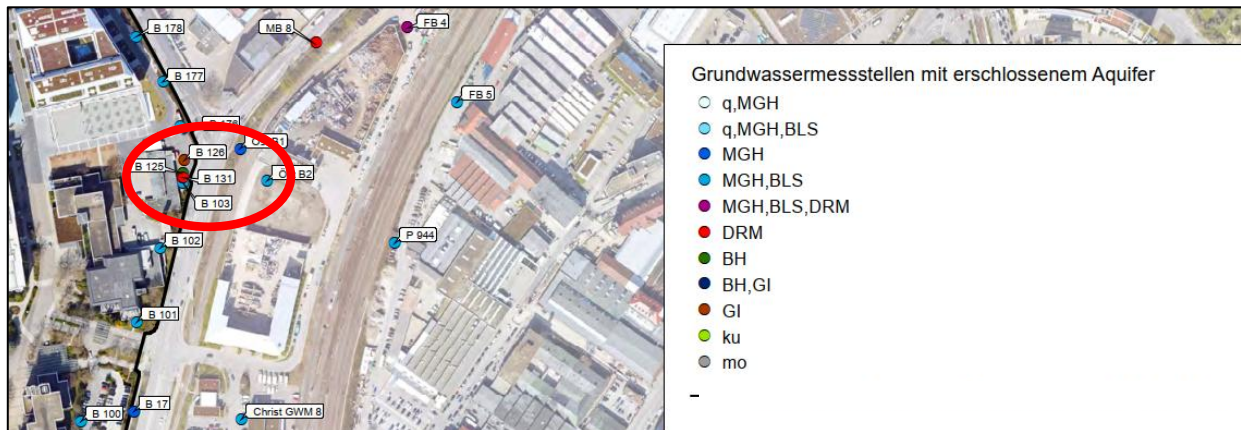
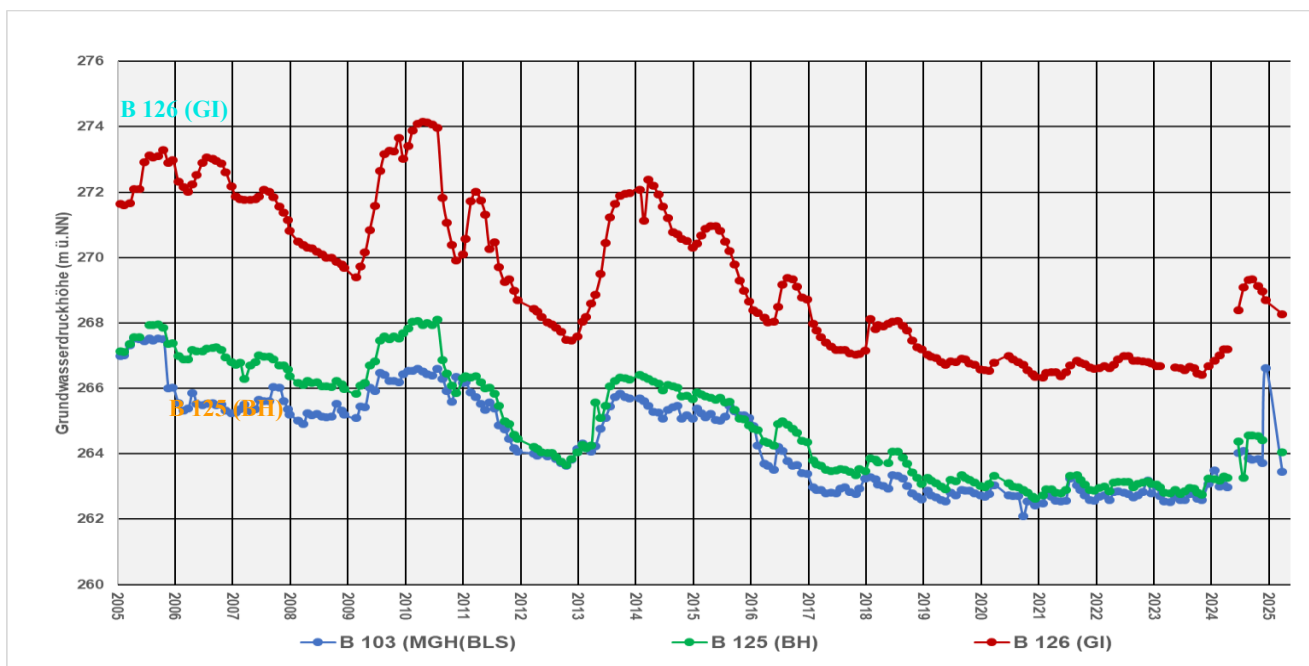


Abb. 48 Langfristige Grundwasserdruckhöhenentwicklung (Zeitraum 2005 bis Anfang 2025) in den Aquiferen Mittlerer Gipshorizont/Bleiglanzbankschichten (B 103), Dunkelrote Mergel (B 131), Bochinger Horizont (B 125) und Grundgipsschichten (B 126) im Bereich Wernerstraße 51



Die Grundwasserdruckhöhen in allen Aquiferen sanken von 2005 bis 2025 generell mit schwankendem und gleichartigen Verlauf um knapp 4 m ab. Die höchsten Grundwasserdruckhöhen waren immer in den Grundgipsschichten. Etwa 3 m bis 6 m darunter lagen die Grundwasserdruckhöhen im Bochinger Horizont, in den Dunkelroten Mergeln und im Mittleren Gipshorizont.

8.3. Bereich Stuttgart-Nord

Die GWM BK 5.4/28 GM liegt südöstlich des Pilotgebiets in Stuttgart-Nord und ist im Bochinger Horizont ausgebaut. Die Grundwasserdaten wurden im Zuge des Grundwassermonitorings beim Projekt Stuttgart 21 erfasst.



Abb. 49 Lage der Grundwassermessstelle BK 5.5/28 GM (Karte aus dem WebGIS S21 Talkessel)

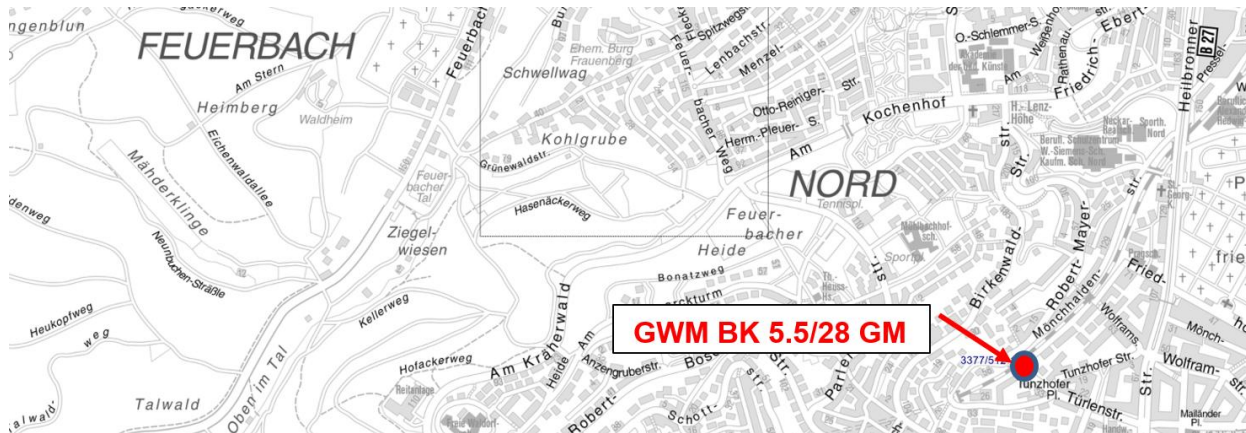


Abb. 50 Langfristige Grundwasserdruckhöhenentwicklung (Zeitraum 2003 bis 2023) im Aquifer Bochinger Horizont in der GWM BK 5.5/28 GM in Stuttgart-Nord in der Türlenstraße



In der GWM BK 5.5/28 GM sanken die Grundwasserdruckhöhen von Mitte 2003 bis Ende 2023 mit schwankendem Verlauf um etwa 1 m ab.



8.4. Bereich Stuttgart-Wangen

Die GWM B 234 liegt südlich des Pilotgebiets in Stuttgart-Wangen und ist im Bochinger Horizont ausgebaut. Die Grundwasserdaten wurden im Zuge des Grundwassermonitorings beim Projekt Stuttgart 21 erfasst.

Abb. 51 Lage der Grundwassermessstelle B 234 (Karte aus dem WebGIS S21 Talkessel)

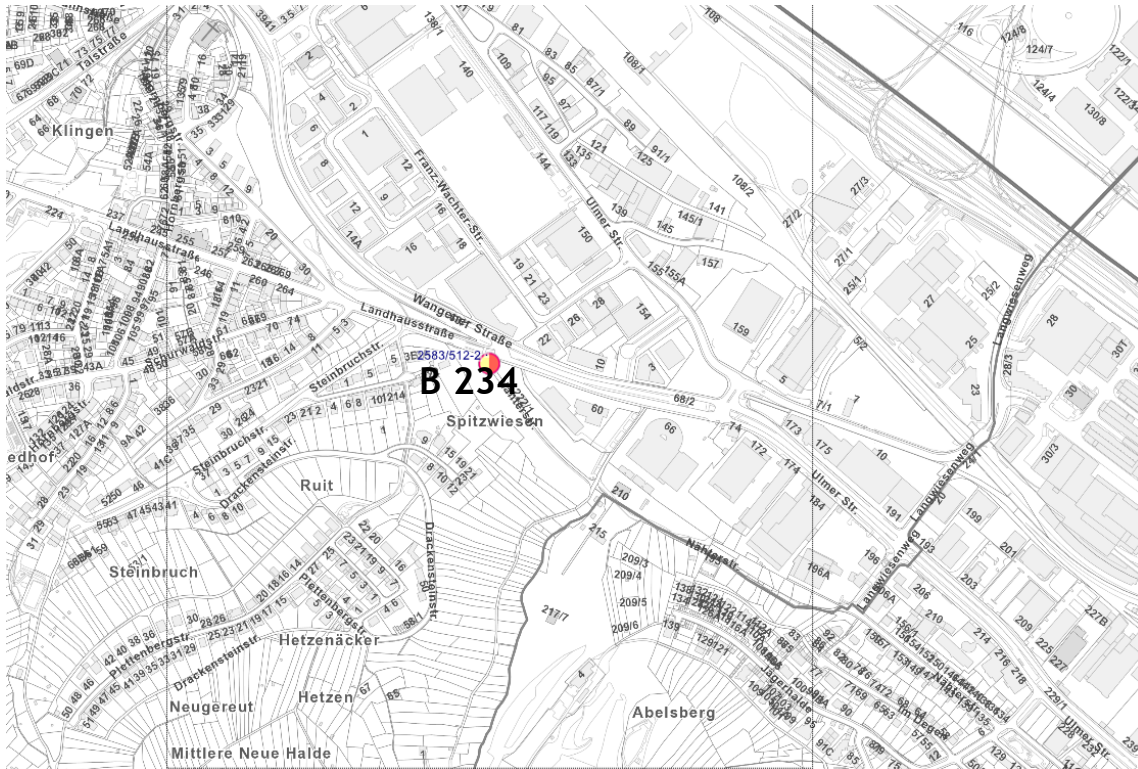
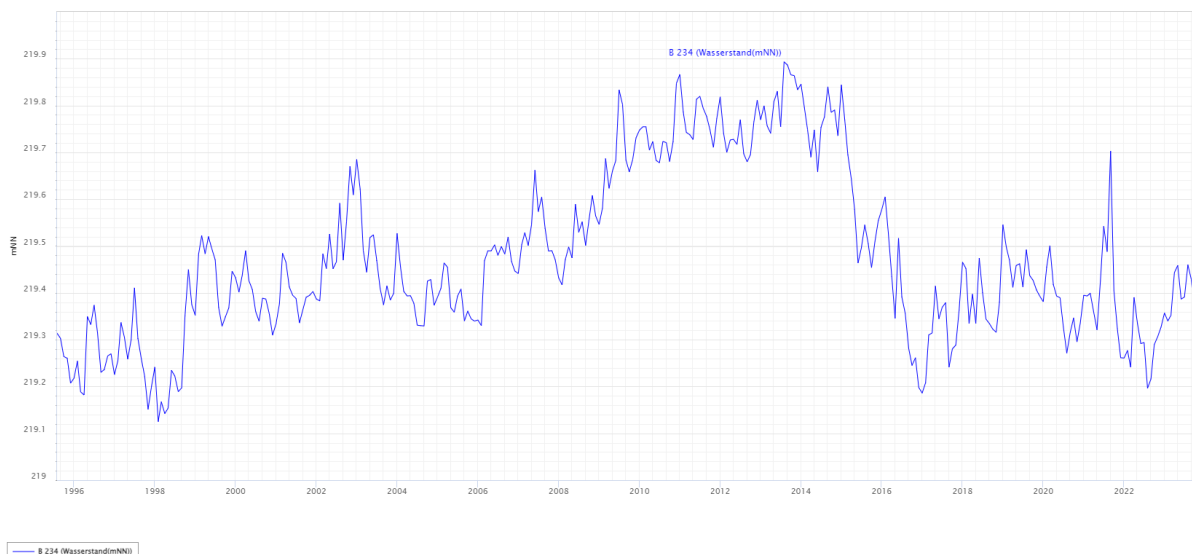


Abb. 52 Langfristige Grundwasserdruckhöhenentwicklung (Zeitraum 1995 bis 2022) im Aquifer Bochinger Horizont in der GWM 234 in Stuttgart-Wangen in der Landhausstraße



In der GWM B 234 schwankten die Grundwasserdruckhöhen seit Mitte 1995 bis Ende 2022 in geringem Maße zwischen 191,1 m ü. NN und 191,8 m ü. NN.



9. Datenerhebung für das hydrologische und numerische Grundwassermodell

Das hydrologische und numerische Grundwassermodell wird von der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH für das Pilotgebiet instationär für den Zeitraum 2000 bis 2024 modelliert. Für diesen Zeitraum wurden neben den hydrologischen Daten folgende grundwasserrelevanten Daten für die modellierten Aquifere im Pilotgebiet erhoben. Aquiferbezogene Grundwasserdrückhöhen in den vorhandenen Grundwassermessstellen und Brunnen: 334 Messpunkte mit 15.700 Grundwasserdruckhöhen.

Im Bericht D2.2.1 sind beispielhaft die Grundwasserganglinien von ausgewählten Grundwassermessstellen im Quartär mit künstlicher Auffüllung, im Mittleren Gipshorizont, in den Dunkelroten Mergeln, im Bochinger Horizont, in den Grundgipsschichten und im Unterkeuper im Pilotgebiet dargestellt.

Für die aquiferbezogenen Grundwasserentnahmen bei hydraulischen Sanierungen, Wasserhaltungen und Bauwasserhaltungen wurden für 140 Messpunkte 11.851 Entnahmedaten (Monatsmittelwerte) erhoben. Beispielhaft sind im Bericht D2.2.1 die langjährigen Grundwasserentnahmen von ausgewählten Grundwassermessstellen im Quartär mit künstlicher Auffüllung, im Mittleren Gipshorizont, in den Dunkelroten Mergeln, im Bochinger Horizont und im Unterkeuper im Pilotgebiet dargestellt.

10. Niederschlagsverhältnisse im Zeitraum 12/2023 bis 08/2025

Zur Abschätzung der Niederschlagsdaten der Wetterstation Hundesportverein Feuerbach mit dem Stadtgebiet Stuttgart wurden diese für den Zeitraum Dezember 2023 bis Juni 2025 mit den Daten der Wetterstationen Hohenheim und Schnarrenberg verglichen. Die Niederschlagsdaten der drei Wetterstationen sind in den Abbildungen 67 bis 69 graphisch dargestellt.

Abb. 53 Tagesniederschläge an der Wetterstation Hundesportverein Feuerbach im Zeitraum Dezember 2023 bis Juni 2025

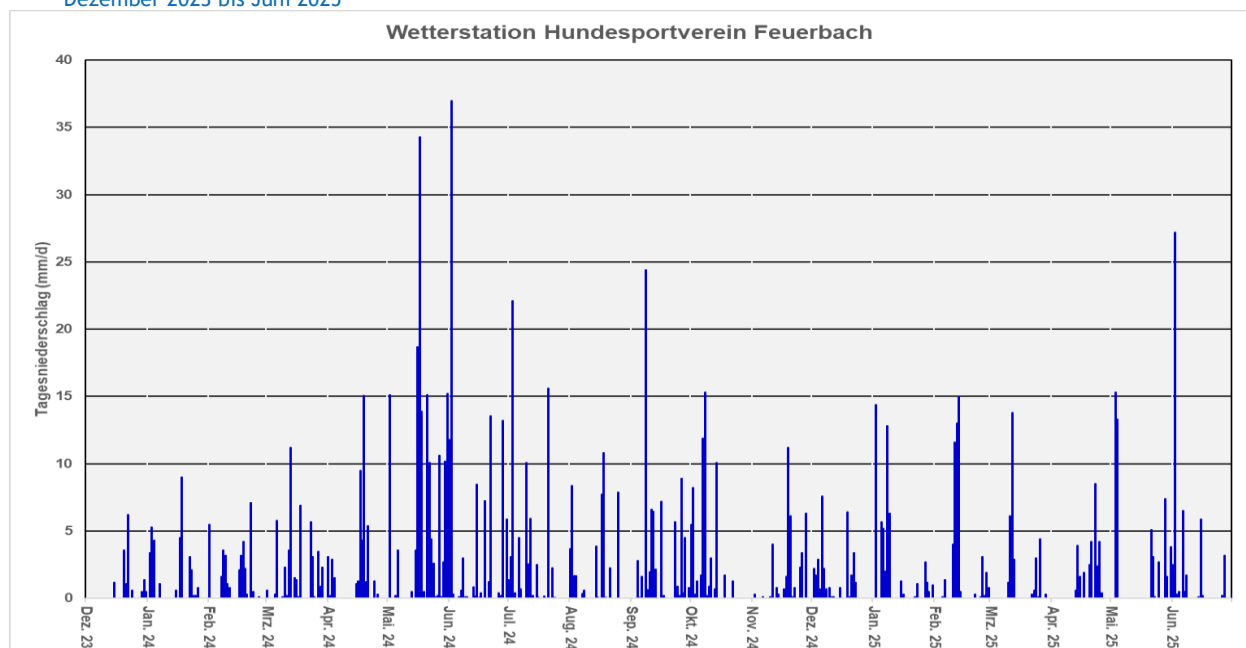




Abb. 54 Tagesniederschläge an der Wetterstation Schnarrenberg im Zeitraum Dezember 2023 bis Juni 2025

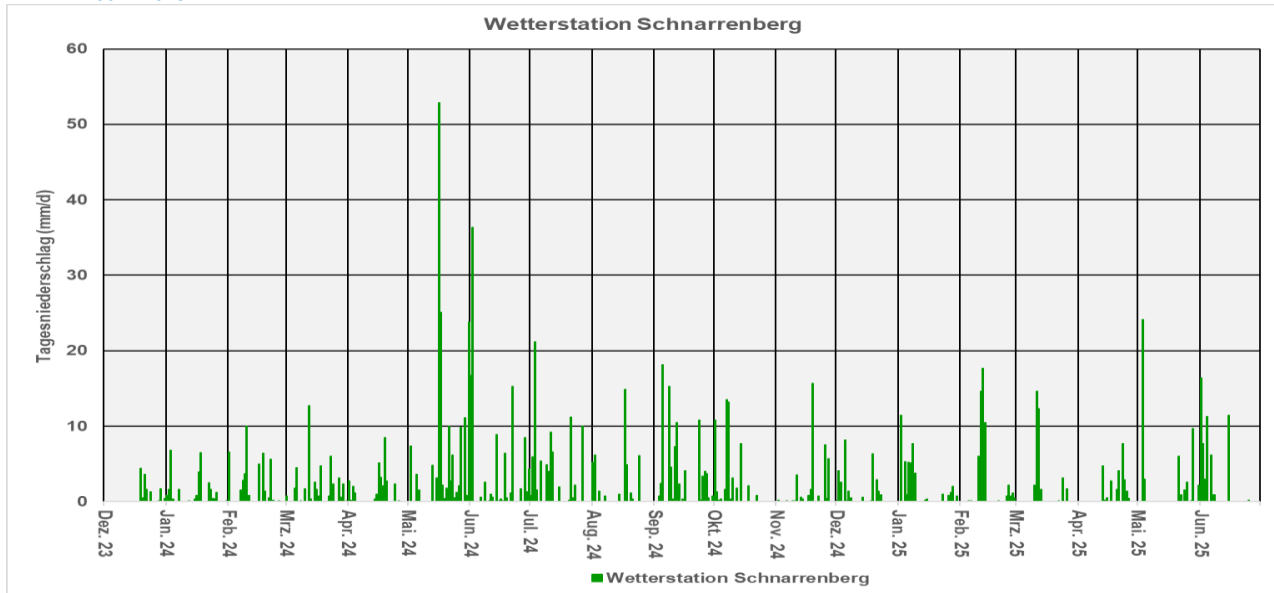
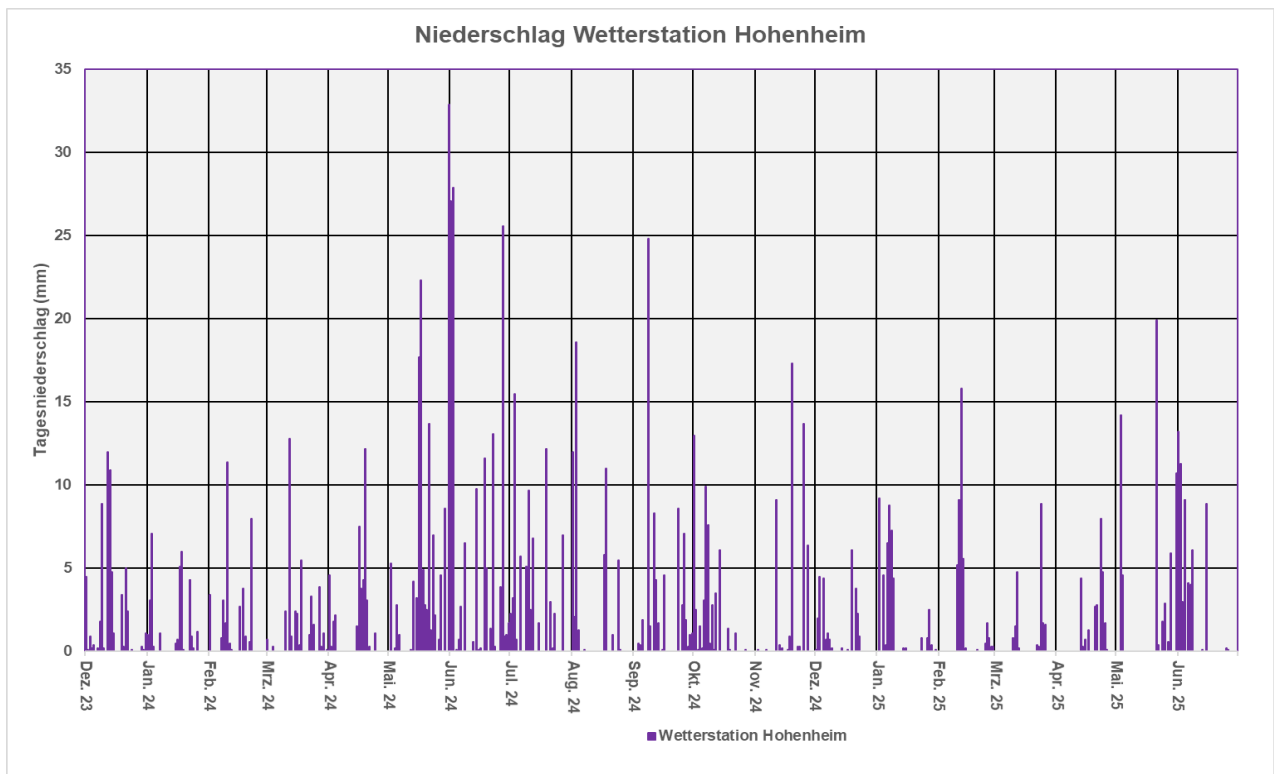


Abb. 55 Tagesniederschläge an der Wetterstation Hohenheim im Zeitraum Dezember 2023 bis Juni 2025



Im Zeitraum 12. Dezember 2023 bis 30. Juni 2025 wurden in den Wetterstationen folgende Gesamtniederschlagsmengen registriert

- Wetterstation Hundesportverein Feuerbach: 1.054,7 mm
- Wetterstation Schnarrenberg: 1.051,7 mm
- Wetterstation Hohenheim: 1.032,1 mm

Die Gesamtniederschlagsmengen der drei Wetterstationen im Zeitraum 12. Dezember 2023 bis 30. Juni 2025 liegen in der gleichen Größenordnung, bei zeitlichen Verteilung der Niederschläge treten jedoch größere



Unterschiede auf. In den Abbildungen 70 und 71 sind die Differenzen der Tagesniederschläge graphisch dargestellt.

Abb. 56 Vergleich der Tagesniederschläge an den Wetterstationen Hundesportverein Feuerbach und Schnarrenberg im Zeitraum Dezember 2023 bis Juni 2025

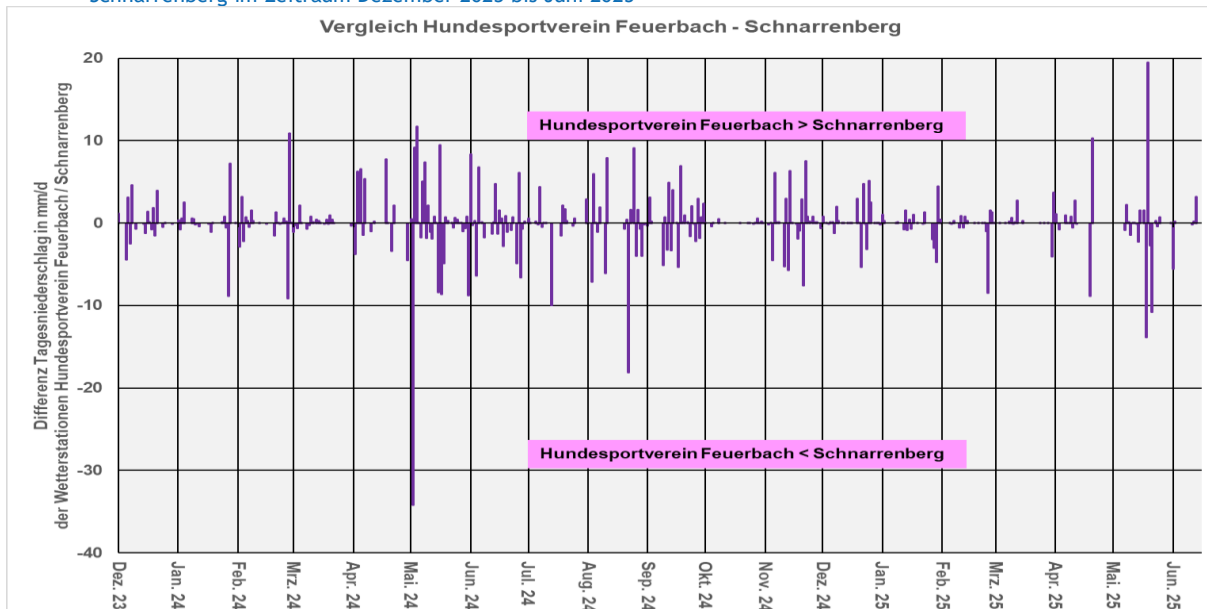
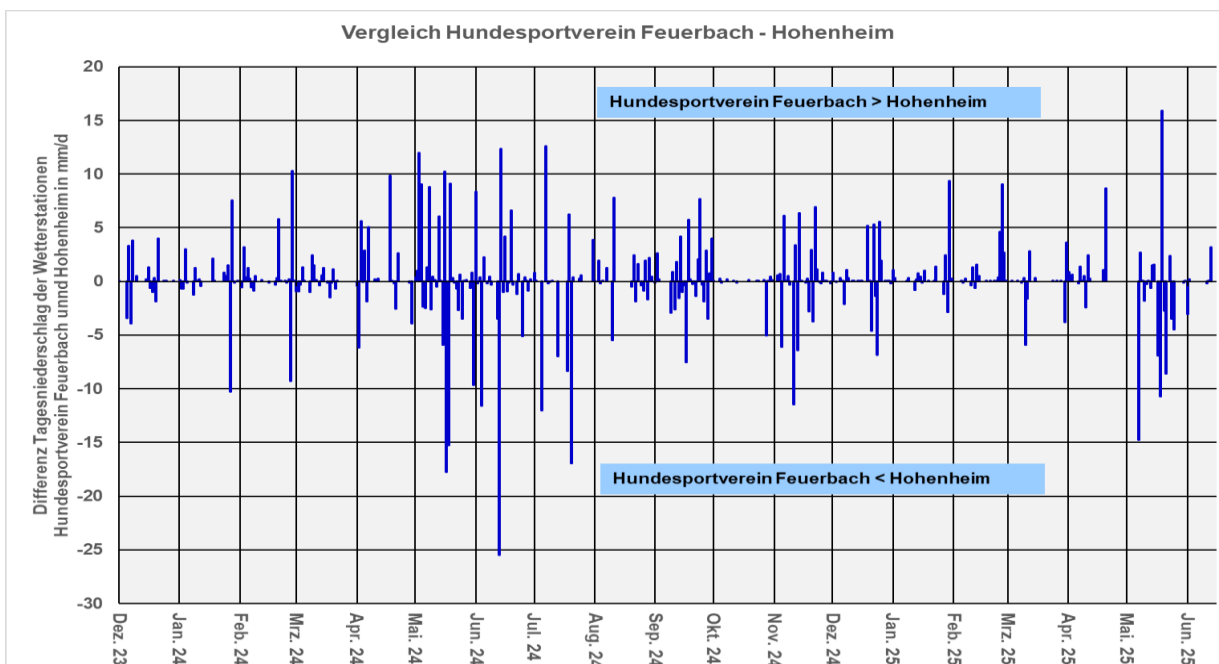


Abb. 57 Vergleich der Tagesniederschläge an den Wetterstationen Hundesportverein Feuerbach und Hohenheim im Zeitraum Dezember 2023 bis Juni 2025



Bei den täglichen Niederschlagsmengen traten zwischen Wetterstationen Hundesportverein Feuerbach und Schnarrenberg sowie Hohenheim zeitweise erhebliche Differenzen auf.



11. Anmerkungen zum Monitoring-Prozess

Mit dem durchgeführten Monitoring-Prozess konnte für das Pilotgebiet in Stuttgart-Feuerbach die Entwicklung der Grundwasserdruckhöhen in den Aquiferen im Quartär im Gipskeuper und im Unterkeuper unter Berücksichtigung der Grundwasserentnahmen und der Grundwasserneubildung für den Zeitraum Oktober 2023 bis August 2025 erhoben und ausgewertet werden.

Die Grundwasserdruckhöhen stiegen im Beobachtungszeitraum aufgrund der Niederschlagsverhältnisse generell an.

12. Vorschläge zum weiteren Vorgehen

Grundwassermonitoring im Modellgebiet MAURICE

Fortsetzung der Erfassung der Grundwasserdruckhöhen in ausgesuchten Grundwassermessstellen im Modellgebiet MAURICE. Empfohlen werden aufgrund ihrer Lage im Pilotgebiet die Grundwassermessstellen MB 5 (BOISS-Nr. 1200081), AMIGA 1 (BOISS-Nr. 2200106) und P 14 (BOISS-Nr. 1800059). Die im Aquifer Bochinger Horizont ausgebaute Grundwassermessstelle MB 5 befindet sich im nordwestlichen Teil des Pilotgebiets im Müllerwald. In den nicht versiegelten Flächen erfolgt die relevante Grundwasserneubildung. Die im Aquifer Bochinger Horizont ausgebaute Grundwassermessstelle AMIGA 1 liegt im zentralen Teil von Feuerbach und die in den Dunkelroten Mergeln ausgebaute Grundwassermessstelle P 14 befindet sich im nordwestlichen Randbereich des Pilotgebiets im Bereich der Talweglinie des Feuerbachs. Sie liegen somit in dem Bereich, in dem die Grundwasserdruckhöhenentwicklungen am besten erkannt werden können.

Grundwassermodell im Modellgebiet MAURICE

Um die Entwicklung der Grundwasserdruckhöhen in den im Pilotgebiet Feuerbach relevanten Aquiferen auch in Zukunft in Abhängigkeit der klimatologischen Verhältnisse prognostizieren zu können empfehlen wir die Weiterführung des Mathematischen Grundwassermodells mit Eingabe folgender aktuellen Daten:

- Grundwasserdruckhöhen
- Grundwasserentnahmen
- Grundwasserversickerungen
- Grundwasserneubildung



13. Literatur

1. Schriftreihe des Amtes für Umweltschutz - Heft 4/2009 Integrale Grundwasseruntersuchung in Stuttgart-Feuerbach
2. Ufrecht, W.: Zur Hydrogeologie veränderlich fester Gesteine mit Sulfatgestein, Beispiel Gipskeuper (Trias, Grabfeld-Formation). Grundwasser 22(3), 197-208 (2017)
3. Ufrecht, W. (2019): GIS Kartenwerk „Geologie und Grundwasser“ - GEOLONIE pro, LH Stuttgart
4. Lang, U., Justiz, J. & Müller S. (2020) Grundwasser-Gesamtmodell Stuttgart. Bericht Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH, Stuttgart.
5. Guthke, A. & Schollenberger, U. (2017) Kurzbericht zur großräumigen Stichtagsmessung in Stuttgart-Feuerbach im Rahmen des Projekts AMIGA. Bericht BoSS Consult GmbH, Stuttgart.
6. Guthke, A., Spitzberg, S. & Schollenberger, U. (2018) Auswahl eines integralen Monitoringnetzes für die tiefen Aquifere der FUA Stuttgart-Feuerbach im Rahmen des Projekts AMIGA. Bericht BoSS Consult GmbH, Stuttgart.
7. Scheuber, M., Gutachten Geotechnik Südwest, Nr. H 0223/2300 vom 02.05.2023

Die topographischen Kartengrundlagen beruhen auf Geobasisdaten des Stadtmessungsamts der Landeshauptstadt Stuttgart



14. Groundwater levels observations

In Figure 3 and Figure 4, the groundwater levels manually registered are shown, representing the groundwater levels in meters above sea level in Figure 3 and the deviation from the average in Figure 4. Points located closer to the experimentation fields were monitored monthly, while the points further from the experimentation fields were monitored once every four months. In Figure 2 are instead shown the groundwater levels automatically monitored every hour. The summer and winter irrigation periods are shown in each subplot, as well as the monthly cumulated precipitation from the meteorological station of Pogliano Milanese. The winter irrigation period in 2023-24 winter started on the 1st of December 2023 and ended on the 29th of January 2024, while the 2024-2025 winter irrigation started on the 15th of October 2024 and ended on the 20th of February 2025 for the fields close to Pz1 and was instead from the 24th of November 2024 to the 20th of February 2025 for the fields close to Pz3, with an interruption from the 11th of December 2024 to the 17th of December 2024.

The points North to the main irrigation canal (Canale Villoresi) (Pz23e, 151940024, PO015194NU0017) show a distinct behavior from the ones below the canal, thus located in areas that are irrigated through surface irrigation in the period from April to September. They also experienced a sharp increase in the summer of 2024, but, contrary to the downstream points, they don't show the sharp decrease in September 2024, showing instead a slight decrease in October 2024. Their behavior is thus more linked with precipitation, which were exceptionally high in 2024.

By observing the behavior of the points directly in the direction of influence of the experimentation in the northern fields (Pz1, Pz2, 151790125) and comparing them with other points in the same area but not in the main groundwater direction (150100132, 150100080, 150100081, 152040123, 152040030, Pz1A) and the points in the same direction but further downstream (150120155, 150120152), the following considerations can be made:

- Pz1, Pz2, 151790125, although showing differences such as enhanced peaks in November 2024 and a slightly steeper decrease, don't show a distinct behavior from the other points in correspondence of the off-season irrigation.
- From Pz1 downstream, the wells exhibit a less variable behavior, with variations around 1 meter from the mean, contrary to the variations around 2 meters experienced upstream.

By observing the behavior of the points directly in the direction of influence of the experimentation in the southern fields (Pz3, Pz4, PzCavaLagoCapanna, PzNuovo) and comparing them with other points in the same area but not in the main groundwater direction (MW, MWH, S1, PzScannaMung, 151462481) and the points in the same direction but further downstream (150930123, 151030234, 152470182, PO015247NR0185), the following considerations can be made:

- Pz3 shows a clear increase in groundwater levels (0.18 m), more visible in Figure 2, in correspondence to the start of the off-season irrigation test in the southern fields. Pz4 (further downstream) does not respond in the same way but at the end of the period shows a less steep decrease than Pz3, signaling a probable movement of the mass of water downstream.
- MW shows a decise increase (0.4 m) in correspondence of the start of the off-season irrigation in 2024 and it remains stable until the end of the implementation, when the levels decrease. This can be linked to the off-season irrigation implementation in the fields, located just 600 m to the monitoring point.
- Pz4, PzLagoCapanna and PzNuovo levels are more stable during 2024-2025 winter compared to the other points (e.g. MWH, PzScannaMung, 150930123), showing a possible stabilizing effect of the off-season irrigation implementation.



- All the points show a lower variability compared to upstream ones. This could be explained by the presence of lowland springs in this downstream area, which can act as “regulators” of the aquifer, draining it when groundwater levels raise.

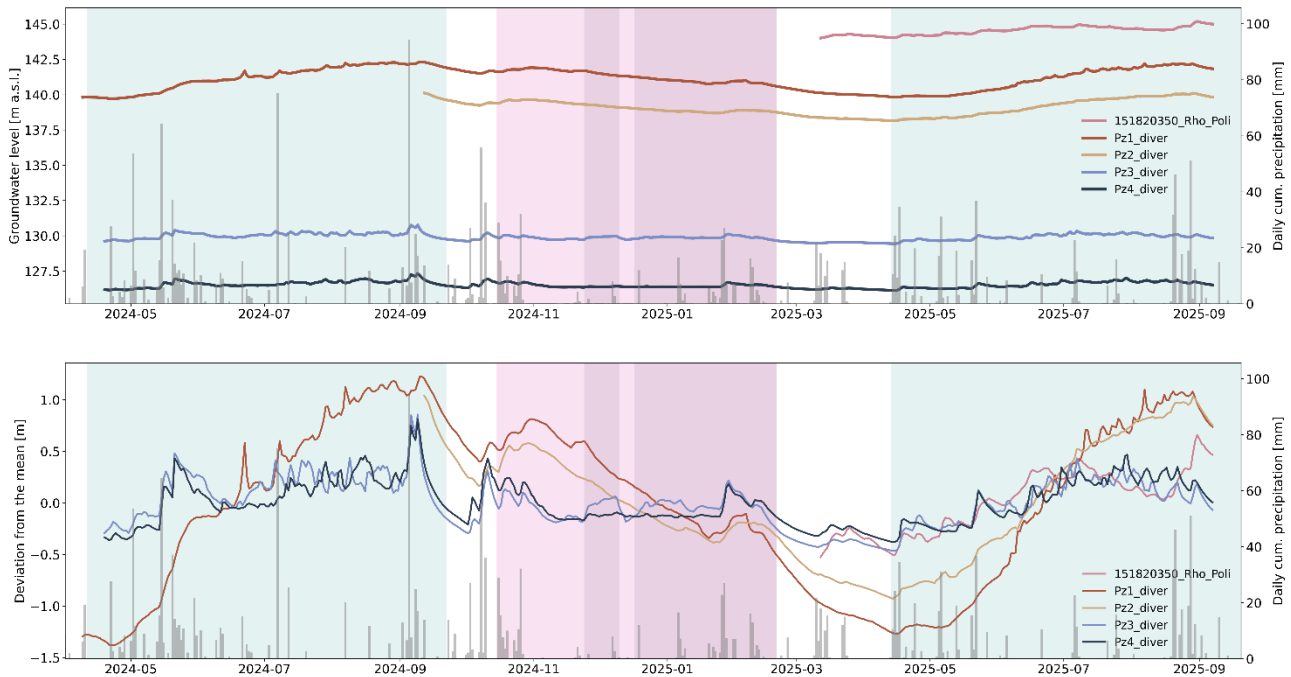


Figure 2. Automatically monitored groundwater levels collected in Pilot Area Milan. In the above plot, the absolute value in meters above sea level [m a.s.l.] is shown, while in the plot below the levels are represented as their deviation from the average value, in meters. The blue shades in the background represent the summer irrigation periods, while the pink ones represent the periods of experimentation of off-season irrigation implemented through MAURICE (lighter pink: only northern experimentation fields irrigated; darker pink: both northern and southern fields irrigated).

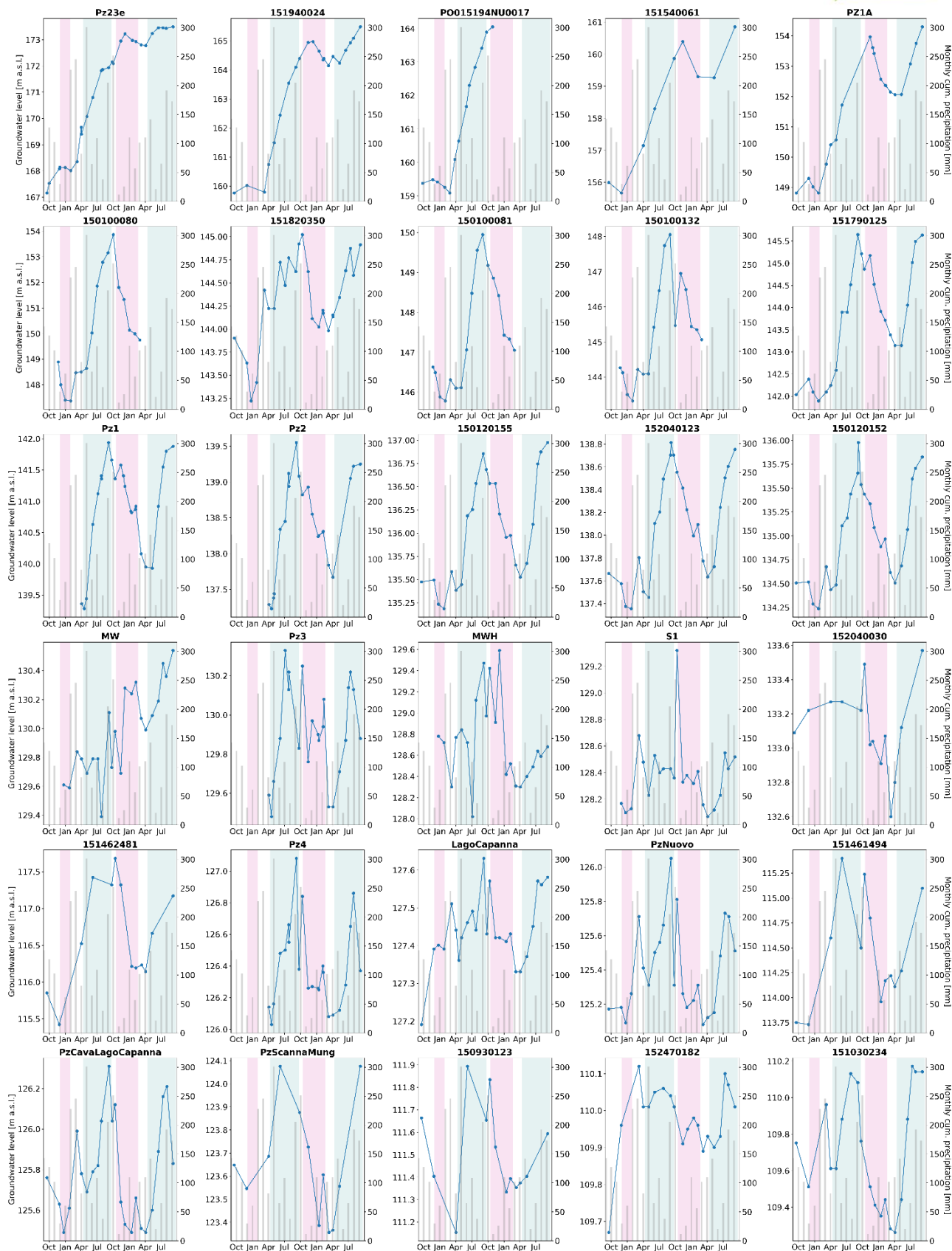


Figure 3. Manually collected groundwater levels in meters above sea level [m a.s.l.] variation in time in the monitored points in Pilot Area Milan. The blue shades in the background represent the summer irrigation periods, while the pink ones represent the periods of experimentation of off-season irrigation implemented through MAURICE.

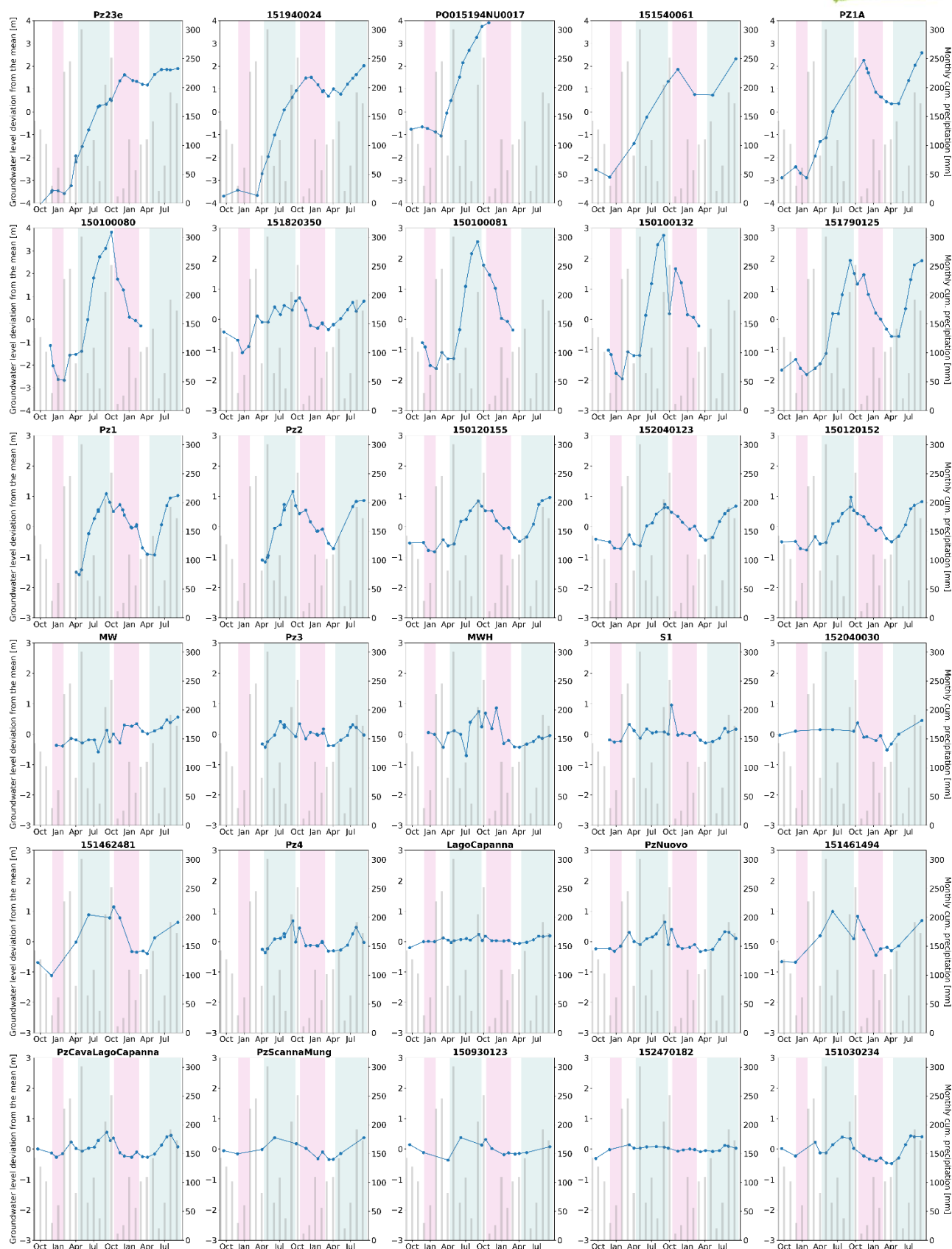


Figure 4. Manually collected groundwater levels deviation from their average [m] in the monitored points in Pilot Area Milan. The blue shades in the background represent the summer irrigation periods, while the pink ones represent the periods of experimentation of off-season irrigation implemented through MAURICE.



15. Lowland springs observations

The variation in time of the discharges in the monitored lowland springs are shown in Figure 5, alongside weekly cumulative precipitation in the station of Pogliano Milanese and the periods of summer irrigation and the implemented off-season irrigation. Discharges were measured seasonally with a flowmeter (OTT Nautilus 2000), and then monthly for Branzino since a Thomson weir was installed.

A clear increase in discharge is observed in Borghese, Branzino and Litta from the start (discharge measured in November 2024) and the end of the off-season irrigation test period (February 2025), possibly linked to the increased recharge coming from the test, since precipitation is less present in the weeks prior to February measurements.

The discharges observed at the end of the off-season irrigation test are comparable to the ones observed at the end of the summer irrigation period, confirming the prior observation which links the increase observed at the end of the test to the increase in recharge from the test itself.

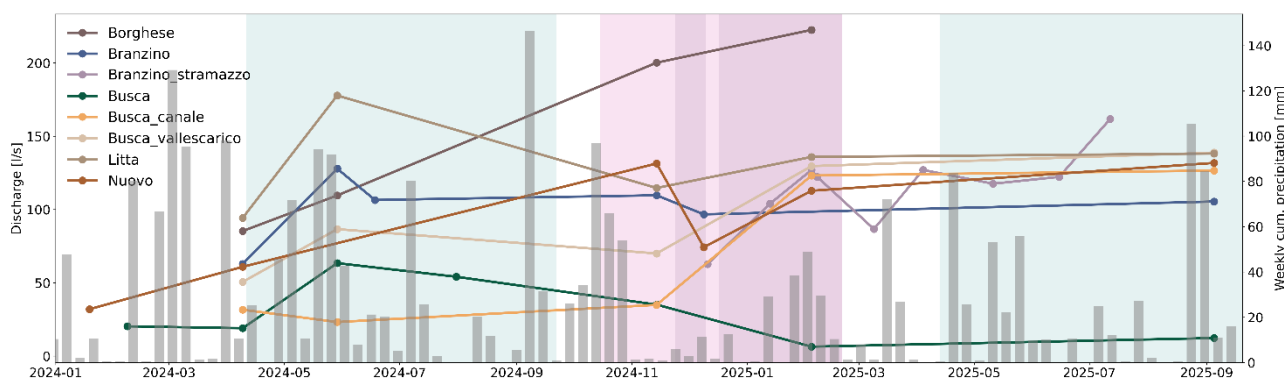


Figure 5. Lowland springs discharges collected in Pilot Area Milan, in litres per second [l/s]. The blue shades in the background represent the summer irrigation periods, while the pink ones represent the periods of experimentation of off-season irrigation implemented through MAURICE (lighter pink: only northern experimentation fields irrigated; darker pink: both northern and southern fields irrigated).

Water height and temperature measurements are presented in Figure 6 (manually collected data) and Figure 7 (automatically collected data).

A clear decrease in temperature is observed for 2024-25 winter. The precipitation event of December 2024 likely increased the temperature in Tedesco and Cicogna springs, effect which however dissipated in the next month. The temperature in Busca, Nuovo, Borghese and Litta (the closest springs to the experimentation fields) started to increase right at the end of the experimentation period. This could be an effect of the end of the irrigation, which was at lower temperatures than groundwater (see Figure 9 for reference).

In Figure 7, Nuovo shows negative values. This is of course not physically possible, and it could be due to a displacement of the sensor. The data is presented without correction, since the direct cause of this issue could not be found and thus the issue could not be corrected. The last months of automatically collected observations for Nuovo are thus not to be considered.

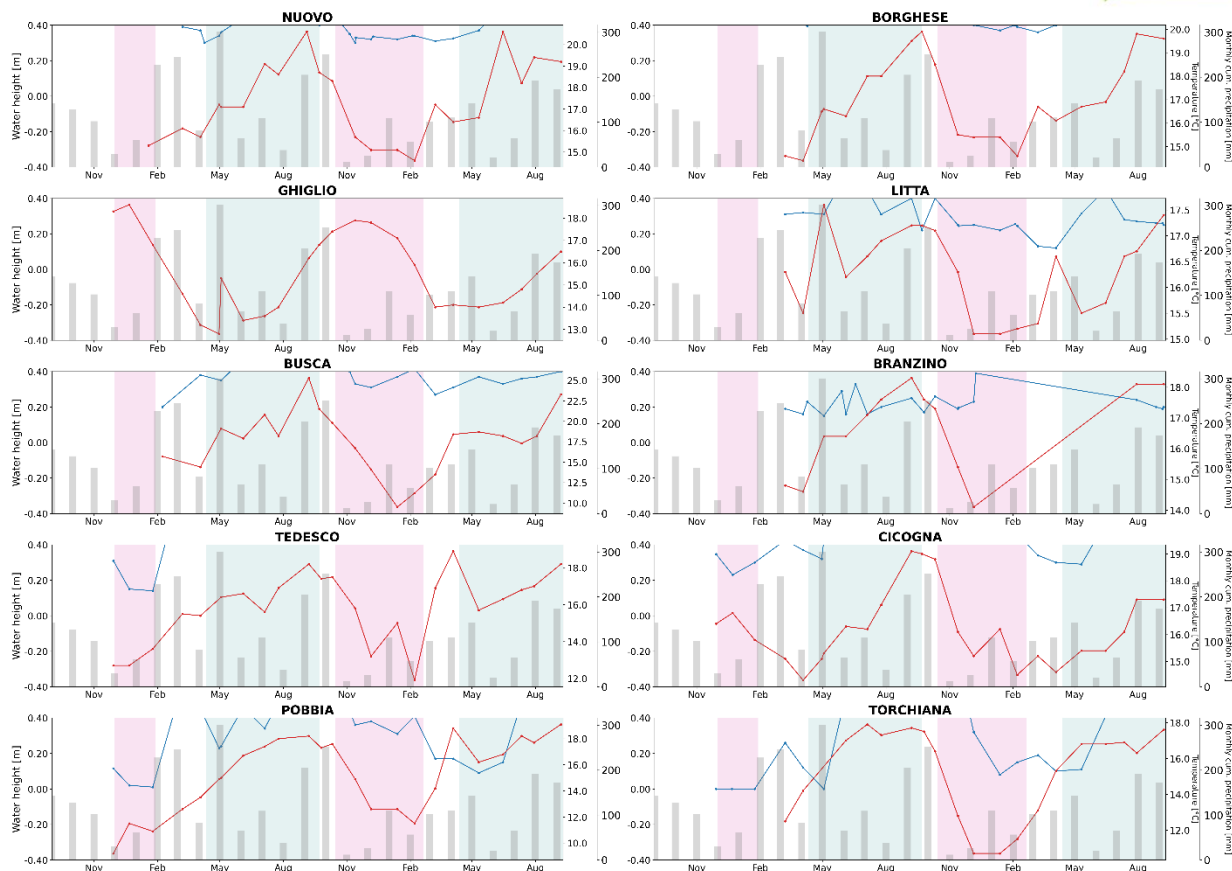


Figure 6. Monthly manually collected lowland springs water height (in meters) and temperature (in °C) variation in time. The blue shades in the background represent the summer irrigation periods, while the pink ones represent the periods of experimentation of off-season irrigation implemented through MAURICE (lighter pink: only northern experimentation fields irrigated; darker pink: both northern and southern fields irrigated).

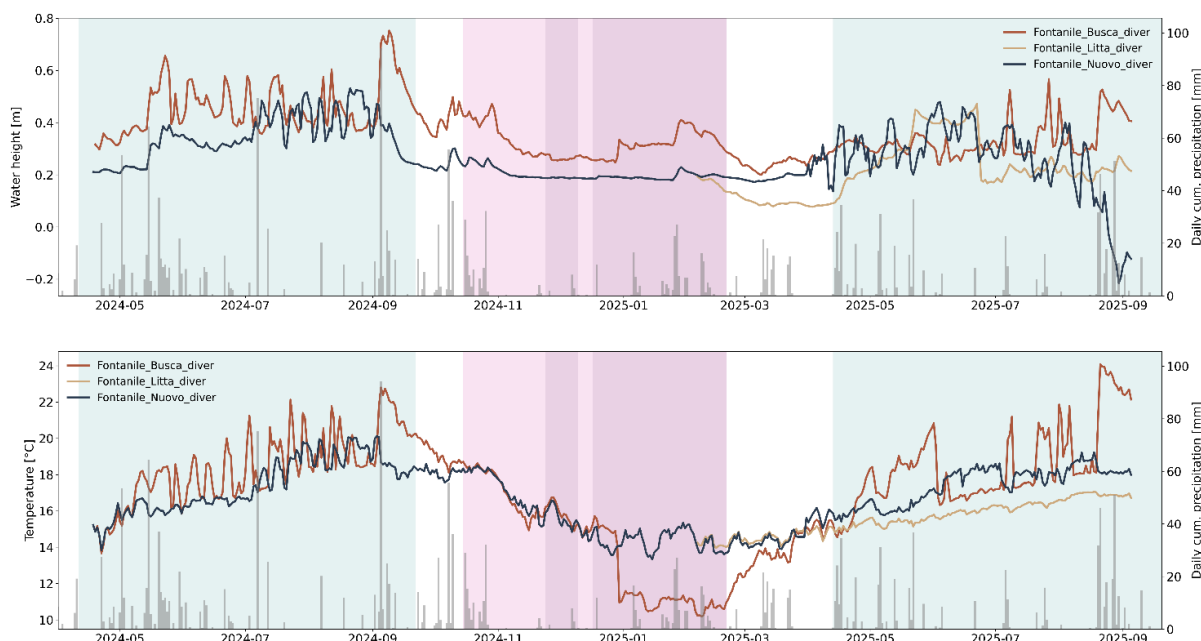


Figure 7. Automatically collected lowland springs water height (in meters, graph above) and temperature (in °C, graph below) variation in time. The blue shades in the background represent the summer irrigation periods, while the pink ones represent the periods of experimentation of off-season irrigation implemented through MAURICE (lighter pink: only northern experimentation fields irrigated; darker pink: both northern and southern fields irrigated).



16. Groundwater temperatures observations

Temperature profiles are presented for the manually monitored groundwater points in Figure 8. There is not a clear pattern in all the Pilot Area. In general, groundwater temperatures are higher in summer and lower in winter, but different patterns are found in the area above the Villoresi Canal and below. The average excursion above is of 2°C, while below it increases towards 5°C in the Pz1-Pz2 area and then reaches 10°C in the Pz3-Pz4 area and below. Irrigation can thus be an explanation to this increased excursion downstream, since irrigation water provides a direct input of warm water in summer, missing in areas without irrigation (irrigation water temperatures are shown in Figure 9 and were provided by Consorzio Est Ticino Villoresi).

There is a clear vertical gradient observed in the automatically collected monitoring points: the sensors were placed at 15 m depth in Pz1, Pz2, Pz3 and Pz4 and at 8 m depth in 151820350, while manual measurements were collected at 5 m depth. In Figure 9 this aspect can be observed: at five meters depth, the difference between the end and the start of the winter irrigation period is of 10°C for Pz3 and Pz4, while this difference is equal to 2°C at 15 m depth. The same difference is equal to 6°C and 4°C for PzNuovo and MWH, respectively, piezometers in the same area and at comparable water table depth as Pz3 and Pz4 but more distant from the experimentation fields. Since irrigation water temperatures were consistently lower than groundwater temperatures, this behavior can be explained by the increased recharge of colder water in the aquifer consequently to the off-season experimentation.

In Pz1, the control points of the Northern experimentation area, the influence of irrigation seems to be shifted in time, approximately two months after the irrigation periods, both in summer and in winter. This behavior is not present in Pz2, which even if more distant to irrigated fields responded more quickly in 2025 summer and with greater variations. Pz1 temperatures could be influenced by the presence of a manure storage less than 50 meters from the monitoring point, which could influence groundwater temperature and could help explaining the evident shift in time of the time series.

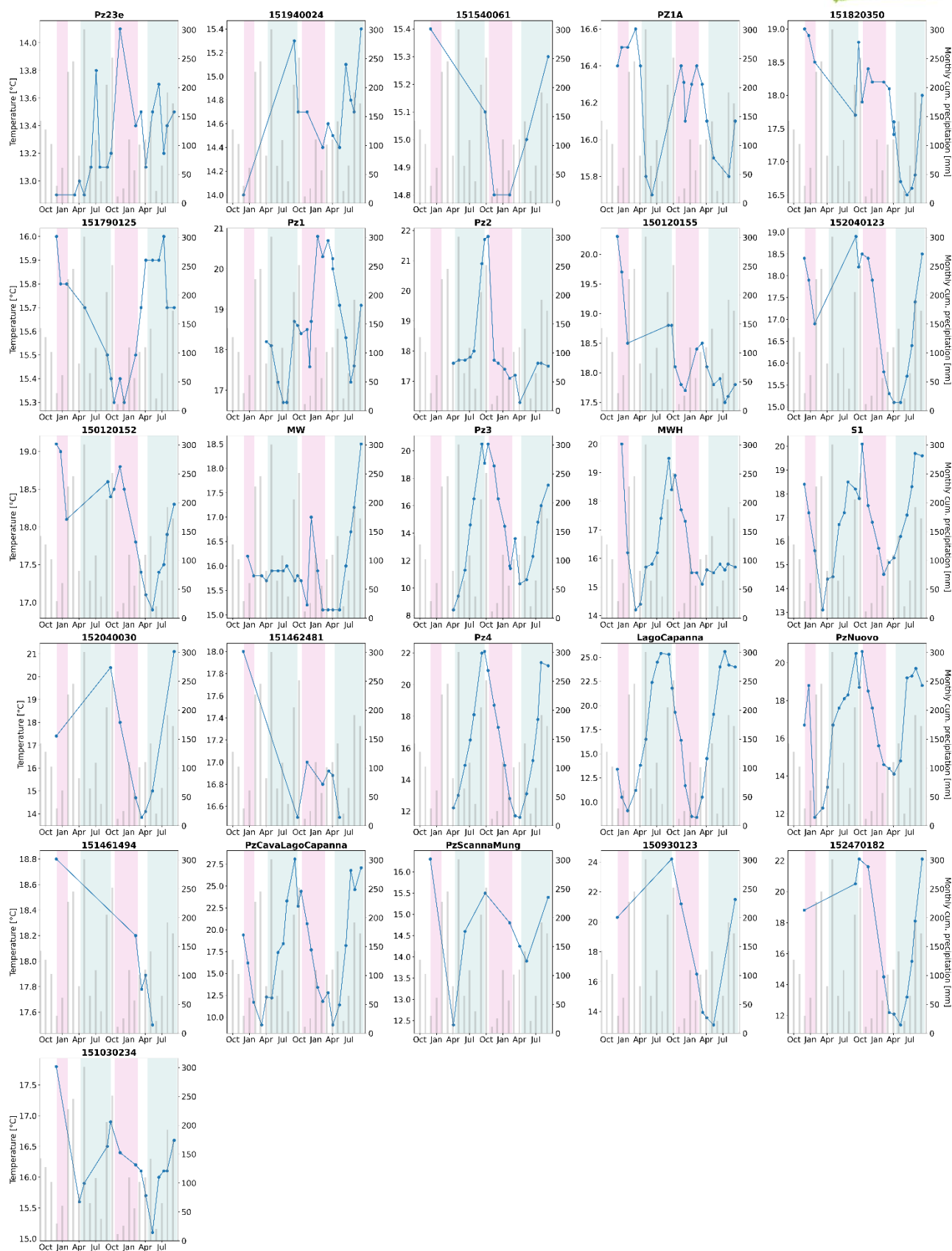


Figure 8. Manually collected groundwater temperatures [°C] variation in time in the monitored points in Pilot Area Milan. The blue shades in the background represent the summer irrigation periods, while the pink ones represent the periods of experimentation of off-season irrigation implemented through MAURICE.

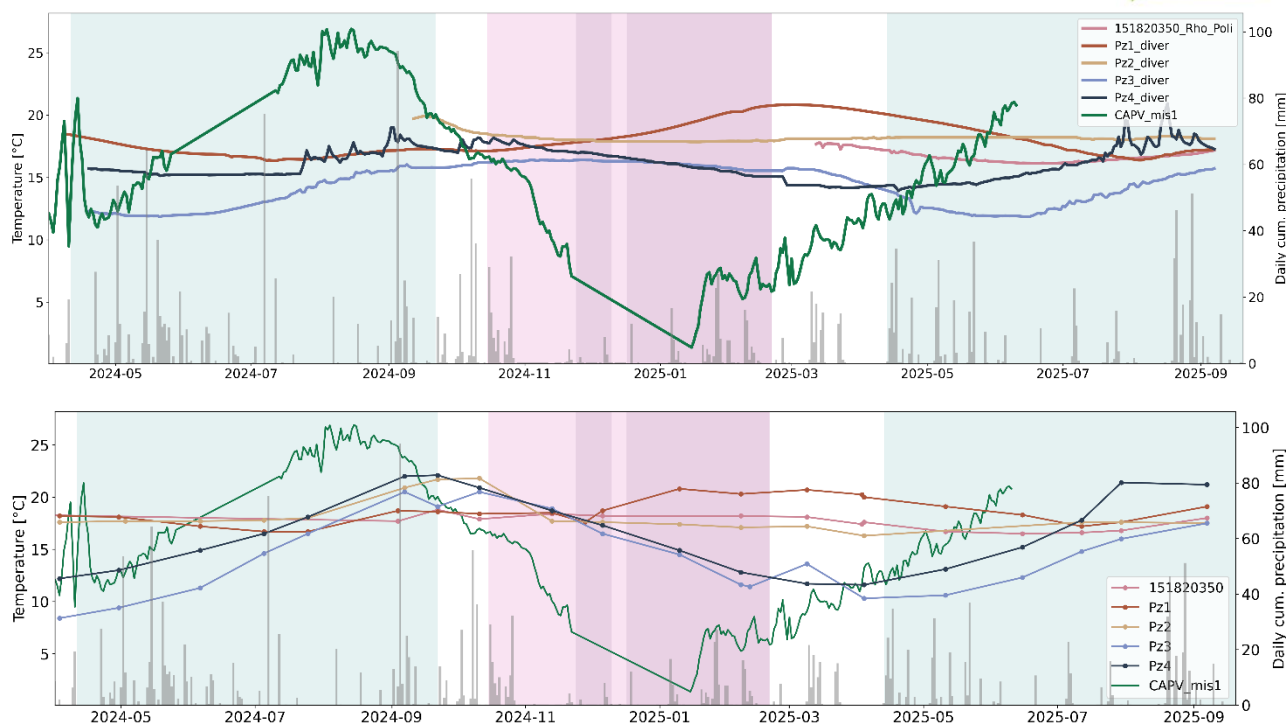


Figure 9. Automatically collected groundwater and irrigation (CAPV_mis1) temperature [°C] variation in time (above graph). In the graph below, the temperatures at 5 m depth for the same points are shown. The blue shades in the background represent the summer irrigation periods, while the pink ones represent the periods of experimentation of off-season irrigation implemented through MAURICE (lighter pink: only northern experimentation fields irrigated; darker pink: both northern and southern fields irrigated).