

Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches

Bauwerkstests – Messkampagnen Februar 2023

BGE TEC 2023-15

Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches

Bauwerkstests – Messkampagnen Februar 2023

BGE TEC 2023-15

Auftragnehmer	Ingenieurpartnerschaft für Bergbau, Wasser und Deponietechnik, Wilsnack & Partner
Autor(en)	Dr.-Ing. Thomas Wilsnack Dr.-Ing. Uwe Glaubach
Datum	22.08.2023
Auftraggeber	BGE TECHNOLOGY GmbH
Förderkennzeichen	-----

Die diesem Bericht zugrundeliegende Messkampagne wurde mit Eigenmitteln der BGE TECHNOLOGY GmbH finanziert. Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i	
1	Veranlassung	1
2	Situation am Standort – Randbedingungen	1
3	Klimadaten	1
4	Kontaktdruck und Gebirgstemperatur	1
5	Messung der Schlauchkammern	1
5.1	Volumen der Packerschläuche	2
5.2	Volumen der Schlauchkammern	3
5.3	Test der Schlauchkammer RK01	3
5.3.1	Reaktion in der RK02	4
5.3.2	Reaktion in der RK03	4
5.4	Test der Schlauchkammer RK02	5
5.4.1	Reaktion in der RK01	5
5.4.2	Reaktion in der RK03	6
5.5	Test der Schlauchkammer RK03	6
5.5.1	Reaktion in der RK01	6
5.5.2	Reaktion in der RK02	7
5.6	Auswertung	7
5.6.1	Ringkammer RK02	8
5.6.2	Ringkammer RK01	8
5.6.3	Ringkammer RK03	9
5.6.4	Zeitabhängige Abnahme der Bauwerkspermeabilität	9
6	Zusammenfassung	11
7	Verzeichnisse	12
	Literaturverzeichnis	12
	Abbildungsverzeichnis	12
	Tabellenverzeichnis	12
Anlagen	13	
Anlage 1: Bilder vom Standort	13	

Anlage 2	Lage und Anordnung der Schlauchkammern	19
Anlage 3	Klimadaten	20
Anlage 4	Ganglinien der Kontaktspannung und Temperatur (kabellose Sensoren)	22
Anlage 5	Test der RK01	23
Anlage 6	Test der RK02	25
Anlage 7	Test der RK03	27
Anlage 8	Verlauf der gemessenen Packerschlauchvolumen (inkl. Rohrleitung)	29
Anlage 9	Verlauf der gemessenen Schlauchkammervolumen (inkl. Rohrleitung)	30
Anlage 10	Auswertung der Tests	31

1 Veranlassung

Im Rahmen des Projektes STROEFUN III wurde in der Grube Teutschenthal ein Streckenverschlussbauwerk aus MgO-Beton errichtet. Die verwendete MgO-Rezeptur wurde in Anlehnung der Rezeptur A1 entwickelt und entspricht damit auch näherungsweise der neuen Rezeptur MO1.

Für die Aufgabenstellung des Forschungsvorhabens und als Ausgangspunkt für die nachträgliche Untersuchung des Bauwerkes wurde das Streckenverschlussbauwerk als Halbdamm – keine vollständige Verfüllung des Streckenquerschnittes bis zur Firste – hergestellt. Für eine Vielzahl von Sachverhalten und Prozessen kann das Streckenverschlussbauwerk als repräsentativ für künftig zu errichtende Streckenverschlussbauwerke aus MgO-Beton angesehen werden.

Das Streckenverschlussbauwerk ändert, in Abhängigkeit von der Dauer der Einspannung im Gebirge, das strömungstechnische Verhalten. Die Erfassung dieses Prozesses stellt einen entscheidenden Kenntnisgewinn für die Beurteilung des zeitabhängigen Verhaltens von Streckenverschlussbauwerken auf MgO-Basis dar.

Für eine Sicherung eines minimalen Anteils des möglichen Kenntnisgewinns sollen, ungefähr ein halbes Jahr nach der letzten Testung des Bauwerkes und nach Beendigung des Projektes im Juni 2022, die zwischenzeitlich gesammelten Monitoringdaten der kabellosen Spannungssensoren ausgelesen und eine erneute Testung des Bauwerkes durchgeführt werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen im Februar 2023 und deren Interpretation sind Gegenstand dieses Berichts.

2 Situation am Standort – Randbedingungen

Der Standort wurde für die erste Messkampagne am 06.02.2023 und am 07.02.2023 jeweils von 10 Uhr bis 18 Uhr befahren. Am 20.02.2023 wurde eine Servicebefahrung von 10 Uhr bis 14 Uhr durchgeführt. Eine zweite Messkampagne wurde am 27.02.2023 und am 28.02.2023 jeweils von 10 Uhr bis 18 Uhr durchgeführt

Wie in Abb. 2 und Abb. 3 in der Anlage 1 dargestellt, wurde der Standort durch TS-Bau weitestgehend beräumt und die 3 Bohrlöcher (\varnothing 300 mm) in der Kontaktzone zwischen Bauwerk und Sohle mit MgO-Baustoff verfüllt (Detail siehe Abb. 4). Die Schalungen an den Bohrlöchern sind noch vorhanden.

Der Verbleib der am Standort abgelegten Rückstellproben der Betonage des Damms ist nicht bekannt. Nach Aussage von TS-BAU wurden diese bei der Beräumung der Baustelle im Sommer 2022 entsorgt.

Durch die K-UTEC wurden 3 Messstellen eingerichtet. Davon befinden sich 2 Konvergenzmessstellen (1x vertikal und 1x horizontal) in der offenen Bauwerksstrecke mit ca. 4 m Abstand zum Streckeneingang bzw. 6 m vor der Ortsbrust des Damms (vgl. Abb. 2). Die 3. Messstelle wurde auf der Oberfläche des Damms in der Bohrung B14-165 (zwischen Schlauchkammer RK01 und RK02) mit ca. 6,5 m Abstand zur Dammortsbrust eingerichtet (vgl. Abb. 13). Diese 3. Messstelle entspricht einer Extensometermessstelle. Es wurden Messpunkte bei 3,35 m (im Tiefsten), bei 1,5 m und bei 0,5 m Abstand zur Oberfläche eingeschossen. Durch die Nutzung der Bohrung B14-165 als Messstelle ist daher kein temporärer Verschluss des Bohrloches mit einem Packer möglich.

Für die Messungen in der ersten Messkampagne muss berücksichtigt werden, dass die in der Bohrung B14-165 angeschlossene Kontaktzone Bauwerk/ Sohle einen Abstrom des Prüffluides ermöglicht. Dadurch können die Tests der ersten Messkampagne (06. und 07.02.2023) nicht mit den letzten Messungen am Standort vom Juni 2022 verglichen werden.

Um zukünftige Messungen wieder mit der Referenzmessung im Juni 2022 vergleichen zu können, wurde der untere Bereich der Bohrung B14-165 am 20.02.2023 mit einem weichen Silikongel (Wacker SilGel 612) vergossen. Der Verguss der 3,35 m tiefen Bohrung erfolgte bis ca. 2 m Teufe. In der Folge wurde die Kontaktzone Baustoff/ Gebirge bei ca. 2,35 m Teufe mit 0,35 m SilGel überstaut. Das Verformungsverhalten des Silikongels erhält die Funktion des untersten Extensometermesspunktes bei gleichzeitiger Abdichtung der Kontaktzone. Nach dem Teilverguss der Bohrung B14-165 wurden die Tests für alle drei Schlauchkammern in der 2. Messkampagne am 20.02.2023 wiederholt.

Augenscheinlich wurden bei den Befahrungen keine äußerlichen Veränderungen am Bauwerk wahrgenommen. Die bereits bekannten Risse auf der Oberfläche des Damms im Bereich der Ortsbrust haben sich in den vergangenen 6 Monaten augenscheinlich nicht verändert. Durch die angewachsene Staubschicht wurde die Einschätzung der Risse erschwert - vgl. Abb. 6 bis Abb. 9). Deshalb wurden bei der 2. Messkampagne diese Bereiche mit Druckluft abgeblasen. Die Situation ist in Abb. 10 und Abb. 11 dokumentiert.

3 Klimadaten

Die für den Standort für den Zeitraum 04/2019-02/2023 vorliegenden Klimadaten sind in Anlage 3.1 dargestellt. In Anlage 3.2 sind die Klimadaten für den Zeitraum der aktuellen Untersuchungen als Auszug dargestellt.

In den Parametereganglinien für den Zeitraum 04/2019 bis 02/2023 zeigt sich ein relativ natürlicher Jahresgang für ein aktiv bewettertes Steinsalzfeld in ca. 700 m Teufe. Die Temperatur liegt konstant zwischen 26,5 °C und 28 °C. Einige einzelne Spitzen stehen mit der längeren Anwesenheit von Personen oben auf der Dammoberfläche in Zusammenhang, was aber für die erfassten Temperaturen kaum von Relevanz ist.

Die relative Luftfeuchtigkeit am Standort zeigt einen Einfluss des jahreszeitlichen Wechsels und der damit verbundenen Feuchtefracht der einziehenden Wetter. Im Sommerhalbjahr Mai bis Oktober 2022 liegt die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 42 % und 71 %, während ab November 2022 nur noch 26 % bis 42 % erreicht werden. Auffallend sind dabei die Auswirkungen eines Kälteeinbruchs Mitte Dezember 2022. Die Luftfeuchtigkeit sackte für 10 Tage von ca. 35 % auf bis zu 25 % ab.

Im Jahr davor schwankte die Lufttemperatur im Winter ab 11/2021 im Bereich von 27 °C bis 28 °C, während die relative Luftfeuchtigkeit im Bereich von 30 % bis 62 % variierte.

Die Unterbrechungen der Ganglinien resultieren aus dem Ausfall des Loggers.

4 Kontaktdruck und Gebirgstemperatur

Die kabellosen Sensoren KLS02 und KLS03 wurden am 27.06.2022 und am 28.06.2022 zum letzten Mal während der Projektlaufzeit ausgelesen. Am 27.06.2022 kamen von KLS2 und KLS3 noch umfangreiche Daten, wobei der empfangene Datensatz des KLS2 am 17.06.2022 endete.

Dies änderte sich auch beim erneuten Auslesen am 06.02.2023 und am 27.02.2023 nicht.

In der Anlage 4 ist der gesamte Verlauf der Kontaktspannung und der Gebirgstemperatur an den kabellosen Sensoren einschließlich der neusten ausgelesenen Daten, dargestellt.

Der Kontaktdruck des Sensors am hinteren Streckenstoß (KLS03) ist von 12,73 bar (28. Juni 2022) auf 16,17 bar gestiegen. Das entspricht für diesen Zeitraum einem mittleren Anstieg von 0,44 bar/Monat, was in der Größenordnung des durchschnittlichen Anstiegs von 0,5 bar/Monat im vorherigen Zeitraum vergleichbar ist.

Während der Sommermonate deutete sich jedoch ein tendenziell langsamerer Druckanstieg an. Generell ist ein solch degressiver Verlauf aufgrund der Abnahme der Gebirgskonvergenz zu erwarten, jedoch wird der Verlauf hier noch von den jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen überprägt. Im Sommer 2022 ist beim kabellosen Sensor KLS-03 erstmalig der Einfluss der jahreszeitlichen Schwankung der Lufttemperatur zu beobachten. Während die Lufttemperatur am Standort ca. 1 K erhöht war (vgl. Anlage 3.2) wurde am Sensor KLS-03 im Gebirge eine Temperaturerhöhung von ca. 0,1 K registriert. In der Zeit vorher, nach der Betonage, sind derartig geringe Temperaturschwankungen nicht registriert worden, da die Restwärme des Bauwerks diesen Effekt für ca. 1 Jahr überprägt hatte.

Die jahreszeitlichen Temperaturänderungen sind nur marginal, aber sie zeigen, dass der Damm und das Gebirge auch auf geringe Temperaturänderungen reagieren und diese Effekte auch innerhalb des Gebirges einen Einfluss auf die Einspannung haben.

Hinsichtlich der fehlenden Daten des KLS-02 wurde am 20.02.2023 die Basisstation wieder auf die Oberfläche des Damms positioniert, um die funktechnischen Parameter zu verbessern. Bei der zweiten Messkampagne am 27.02. und 28.02.2023 wurden die Basisstationen erneut ausgelesen, wobei auch nachgewiesen wurde, dass die Feldstärken um ca. 20 dB (Faktor 100) verbessert werden konnten. Trotzdem sind vom Sensor KLS-02 weiterhin keine Daten mehr empfangen worden.

Eine Ursache für diese fehlende Kommunikation konnte bisher noch nicht festgestellt werden. Wir bemühen uns gegenwärtig, einen Datenabruf zu erreichen. Unabhängig davon prüfen wir die Möglichkeit einer Nachinstrumentierung der Kontaktzone Baustoff/Gebirge mit zwei zusätzlichen Sensoren.

5 Messung der Schlauchkammern

Die Messungen in den Schlauchkammern fanden an jeweils 2 Tagen in 2 Messkampagnen statt und erfolgten nach der gleichen Herangehensweise, wie sie im Projekt STROEFUN III durchgeführt wurde. In der nachfolgenden Tab. 1 sind die einzelnen Messungen der ersten Messkampagne und deren Zeitverlauf (Zeit UTC) aufgelistet.

Tab. 1: Durchgeführte Tests der ersten Messkampagne 06.02.-07.02.2023

Messung	Testbeginn	Testende
RK01	06.02.2023 10:44:20	06.02.2023 12:08:23
HK01	06.02.2023 13:52:21	06.02.2023 14:42:20
RK02	06.02.2023 16:12:22	07.02.2023 09:25:26
RK03	07.02.2023 09:33:18	07.02.2023 10:37:15
HK02	07.02.2023 11:57:38	07.02.2023 13:03:28
Packertest	07.02.2023 13:25:52	07.02.2023 14:03:57
RK02 (Wiederholung)	07.02.2023 14:54:09	07.02.2023 16:15:09

In der nachfolgenden Tab. 2 sind die einzelnen Messungen der 2. Messkampagne und deren Zeitverlauf (Zeit UTC) aufgelistet.

Tab. 2: Durchgeführte Tests der zweiten Messkampagne 27.02.-28.02.2023

Messung	Testbeginn	Testende
RK01	27.02.2023 09:39:39	27.02.2023 11:31:50
HK01	27.02.2023 13:12:13	27.02.2023 14:21:46
RK02	27.02.2023 16:02:05	28.02.2023 09:13:53
Packertest	28.02.2023 09:26:33	28.02.2023 10:01:51
RK03	28.02.2023 10:24:53	28.02.2023 13:15:11
HK02	28.02.2023 14:46:18	28.02.2023 16:20:03

In der Anlage 5, Anlage 6 und Anlage 7 sind die Druckverläufe der Tests der Schlauchkammern dargestellt. Während im Forschungsprojekt STROEFUN III grundsätzlich ein Messzeitraum von 3 000 s dargestellt wurde, sind bei den jüngsten Messungen teilweise auch längere Messzeiträume bis 10 000 s in die Auswertung einbezogen worden. Je undurchlässiger das zu testende System wird, desto länger müssen die Messzeiten werden, um einen aussagekräftigen und interpretierbaren Druckverlauf zu erhalten. Gleichzeitig verlängert sich auch die Wartezeit zwischen den Messungen. Diese Wartezeit ist erforderlich, damit das zu testende System nach einer Druckbeaufschlagung wieder ins barometrische Gleichgewicht zur Umgebung kommt.

Zusätzlich zu den eigentlichen Tests der Schlauchkammern wurden Tests der Packerschläuche zur Volumenbestimmung und eine Wiederholungsmessung der Schlauchkammer RK02 am Ende der ersten Messkampagne durchgeführt. Zur besseren

Einordnung der einzelnen Messungen, sind in Anlage 2 die Lage und Anordnung der 5 Schlauchkammern innerhalb des Damms dargestellt.

5.1 Volumen der Packerschläuche

Das zeitabhängig ermittelte Volumen der Packerschläuche inkl. deren Zuleitungen sind in der Anlage 8 den Messungen aus dem Projekt STROEFUN III gegenübergestellt. Das besondere dieser Tests ist die Tatsache, dass aus den aufgeblähten Packerschläuchen kein Abstrom des Prüffluides stattfinden und somit anhand der Auswertung das reale Volumen der Schlauchkammern inkl. deren Zuleitungen bestimmt werden kann.

Es zeigt sich dabei, dass, innerhalb der letzten 15 Monate, teilweise eine Abnahme des Volumens an den Schlauchkammersystemen zu verzeichnen ist.

Tab. 3: *Volumenänderung der Packerschlauchsysteme*

RK01-Packer 2 x 5m Zuleitungen	RK02-Packer 2 x 8m Zuleitungen	RK03-Packer 2 x 12,5 m Zuleitungen	HK01-Packer Edelstahlzuleitung	HK02-Packer Edelstahlzuleitung
dm ³				
-0,17	0,00	-1,12	-0,19	-0,49
%				
-2,6	0,0	-9,0	-5,6	-13,1

Die Ursache dieser zeitabhängigen Volumenabnahme liegt sehr wahrscheinlich in der Volumenzunahme des MgO-Baustoffs im Abbindeverlauf. Dadurch entsteht ein Einspannungsdruck, welcher sowohl auf das Gebirge als auch auf die Kunststoffrohre und die offenen Schlauchkammern wirkt. Die Unterschiede der Volumenabnahme der Schlauchkammern sind bedingt durch die Lage, Ausrichtung und konstruktive Unterschiede.

Die horizontalen Schlauchkammern HK01 und HK02 liegen, im Unterschied zu den Schlauchkammern RK01 bis RK03, parallel der Bauwerksachse an den Stößen und haben keine Zuleitungen aus Kunststoff sondern Edelstahlleitungen (Ø 4 mm), welche auf kürzestem Weg nach oben, aus dem Baustoff herausgeführt wurden. Die Volumenabnahme der Schlauchkammern HK01 und HK02 von 5,6 % bzw. 13,1 % ist daher nahezu vollständig den Schlauchkammern zuzuordnen.

Bei den senkrecht zur Bauwerksachse verlaufenden Schlauchkammern wäre zu erwarten, dass die Schlauchkammer RK03, welche ca. 12,5 m lange Zuleitungen aus Kunststoff besitzt, am stärksten von einer Volumenabnahme beeinflusst wird. Dies wird durch die zeitabhängige Entwicklung des Volumens bestätigt.

Für die Schlauchkammer RK01, welche, mit nur ca. 5 m, die kürzesten Zuleitungen aus Kunststoff besitzt, sollte, im Vergleich zu den anderen Schlauchkammern, der geringste Einfluss einer Volumenabnahme zu erwarten sein. Dies wird jedoch im Ergebnis der Auswertung nicht bestätigt.

Die Plausibilität der gemessenen Volumina der Schlauchkammersysteme im Vergleich zueinander, kann nicht anhand der rein konstruktiven Merkmale der Zuleitungen gezeigt werden. Offensichtlich spielen weitere Effekte, wie zum Beispiel ein unterschiedlich starker Einfluss der Schlauchkammern an sich oder die Position im Bauwerk, eine Rolle.

5.2 Volumen der Schlauchkammern

Bei jedem Test der Schlauchkammern wird, analog zu den Tests mit den Packerschläuchen, das Volumen der Schlauchkammern bestimmt.

Der Vergleich zwischen den Volumen des Packerschlauchsystems und des dazugehörigen Schlauchkammersystems ist zulässig, da die Zuleitungen der Packerschläuche und der Schlauchkammern baugleich sind und jeweils die annähernd gleiche Länge besitzen.

In der Anlage 9 sind die Verläufe der Volumina der Schlauchkammersysteme und die mittleren Verläufe der dazugehörigen Packerschlauchsysteme gegenübergestellt.

Dabei ist auffällig, dass das Volumen der Schlauchkammersysteme immer größer als das Volumen des darin integrierten Packerschlauchsystems ist. Die Ursache ist der Abstrom des Prüffluids aus den Schlauchkammern während der Druckbeaufschlagung. Da dieser Test während der Beaufschlagungsphase erfolgte und damit 1 Minute bei RK01 bzw. 3 Minuten bei RK03 andauerte, führte der zwischenzeitliche Abstrom in den angrenzenden Porenraum rechnerisch zu einem scheinbar größeren Volumen des Schlauchkammersystems.

Die zeitabhängige Änderung der Differenz zwischen den zeitabhängigen Volumen des Schlauchkammersystems und des Packerschlauchsystems ist somit repräsentativ für den Abstrom des Prüffluids während der jeweiligen Druckbeaufschlagung.

Ganz offensichtlich nimmt die Differenz mit der Zeit ab. Dies lässt darauf schließen, dass der angrenzende Porenraum weniger Abstrom während der Beaufschlagung zulässt. Dieser Effekt ist mit Abstand in der mittleren Schlauchkammer RK02 am deutlichsten. Eine Erklärung ist dafür gegenwärtig nicht vorhanden.

5.3 Test der Schlauchkammer RK01

Für die Tests der vorderen Schlauchkammer RK01 wurden in der Anlage 5.1 und Anlage 5.2 jeweils 4 Tests gegenübergestellt. Die Tests T9 am 09.06.2022 und T11 am 06.02.2023 lassen einen direkten Vergleich der Druckverläufe unter der Wirkung der offenen Bohrung B14-164 im Kontaktbereich zu. Die Tests T10 am 13.06.2022 und T12 am 27.02.2023 lassen einen direkten Vergleich der Druckverläufe ohne die strömungstechnische Wirkung der Bohrung B14-164 im Kontaktbereich zu.

Grundsätzlich zeigt sich, dass der Druckabfall der getesteten Schlauchkammer RK01 in den beiden jüngsten Tests T11 und T12 im Februar 2023, im Vergleich zu den beiden älteren Tests

T9 und T10 im Juni 2022, langsamer erfolgt. Gleichzeitig ist der geringe Einfluss der Bohrung B14-164 auf die Druckabfälle in der druckbeaufschlagten Schlauchkammer RK01 zu sehen. Bei offener Bohrung B14-164 fällt der Druck in der druckbeaufschlagten RK01 etwas schneller ab.

Bei der Beaufschlagung der vorderen Schlauchkammer RK01 stehen die beiden Schlauchkammern RK02 in 3 m Abstand und RK03 in 7,5 m Abstand als Kontrollkammer zur Verfügung (vgl. Anlage 2).

5.3.1 Reaktion in der RK02

Die Reaktionen in der als Kontrollkammer wirkenden Schlauchkammer RK02 bei der Druckbeaufschlagung der Schlauchkammer RK01 wird in der Anlage 5.1 gezeigt.

Grundsätzlich zeigt sich, dass die Druckanstiege in der RK02 bei den beiden jüngsten Tests T11 und T12 im Februar 2023 etwas später als im Vergleich zu den beiden älteren Tests T9 und T10 im Juni 2022 erfolgen. Die Höhe der danach erreichten Plateaus der Druckmaxima sind wiederum abhängig vom Einfluss der Bohrung B14-16.

Bei offener Bohrung B14-164 wird bei den Tests T9 und T11 ein Druckmaximum von ca. 0,183 bar bzw. 0,172 bar erreicht. Der jüngere Test T11 im Februar 2023 zeigt damit den etwas niedrigeren Druck.

Bei geschlossener Bohrung B14-164 wird bei den Tests T10 und T12 ein Druckmaximum von ca. 0,264 bar bzw. 0,260 bar erreicht. Der jüngere Test T12 im Februar 2023 zeigt damit auch dabei den etwas niedrigeren Druck.

Grundsätzlich zeigt sich, dass die jüngsten Tests im Februar 2023 eine verzögerte Druckreaktion mit verringerten Maximaldrücken in der als Kontrollkammer wirkenden RK02, im Vergleich zu den Tests im Juni 2022 haben.

5.3.2 Reaktion in der RK03

Die Reaktionen in der als Kontrollkammer wirkenden Schlauchkammer RK03 bei der Druckbeaufschlagung der Schlauchkammer RK01 wird in der Anlage 5.2 gezeigt. Durch den Abstand von 7,5 m zur beaufschlagten Schlauchkammer RK01 sind die Druckreaktionen, im Vergleich zur näherliegenden RK02, deutlich gedämpfter und niedriger.

Innerhalb der dargestellten 3 000 s Messzeit wird bei allen Tests nur ein Druck unterhalb von ca. 0,025 bar erreicht, wobei auch keine Maxima festgestellt wurden. Der jüngste Test T12 verlief über 6 700 s auf ca. 0,03 bar und erreichte auch dabei kein Maximum.

Grundsätzlich zeigte sich aber, dass die älteren Tests T9 und T10 schneller im Druck anstiegen und zum Messende bis ca. 0,022 bar (T9) und 0,015 bar (T10) abgefallen sind. Der Test T9, ohne den Einfluss der Bohrung B14-164, ist am stärksten angestiegen.

Die jüngeren Tests T11 und T12 von 02/2023 lagen bei einer Messzeit von 3000 s im gleichen Druckniveau bei ca. 0,008 bar und sind damit mindestens nur halb so stark gestiegen, wie die älteren Tests von 06/2022. Dabei ist bemerkenswert, dass innerhalb der dargestellten 3 000 s Messzeit kein Unterschied im Einfluss zwischen der offenen und der geschlossenen Bohrung B14-164 feststellbar ist.

5.4 Test der Schlauchkammer RK02

Die Testung der mittleren Schlauchkammer RK02 ist für die Beurteilung der strömungstechnischen Wirkung des Bauwerkes der aussagekräftigste Test in den möglichen Tests am installierten Testsystem. Durch die mittige Anordnung der beaufschlagten Schlauchkammer RK02 zwischen den als Kontrollkammer wirkenden Schlauchkammern RK01 und RK03, kann eine nahezu vollständige Bilanz der abströmenden Gasvolumina erzielt werden.

Für die mittlere Schlauchkammer RK02 wurden in der Anlage 6.1 und Anlage 6.2 jeweils 4 Tests gegenübergestellt. Die Tests T8 am 12.05.2022 und T11 am 06.02.2023 lassen einen direkten Vergleich der Druckverläufe mit Einfluss der offenen Bohrung B14-164 im Kontaktbereich zu. Die Tests T10 am 13.06.2022 und T13 am 27.02.2023 lassen einen direkten Vergleich der Druckverläufe ohne den Einfluss der Bohrung B14-164 im Kontaktbereich zu.

Grundsätzlich zeigt sich, dass der Druckabfall der getesteten Schlauchkammer RK02 in den beiden jüngsten Tests T11 und T13 im Februar 2023, im Vergleich zu den beiden älteren Tests T8 und T10 im Juni 2022, langsamer erfolgt. Gleichzeitig ist der vergleichsweise geringe Einfluss der Bohrung B14-164 auf die Druckabfälle in der druckbeaufschlagten Schlauchkammer RK03 zu sehen. Mit Einfluss der offenen Bohrung B14-164 fällt der Druck in der druckbeaufschlagten RK02 etwas schneller ab.

5.4.1 Reaktion in der RK01

Die Reaktionen in der als Kontrollkammer wirkenden Schlauchkammer RK01 bei der Druckbeaufschlagung der mittleren Schlauchkammer RK02 (Abstand 3 m) wird in der Anlage 6.1 gezeigt.

Grundsätzlich zeigt sich, dass die Druckanstiege in der RK02 bei den beiden jüngsten Tests T11 und T13 im Februar 2023 etwas verzögerter als im Vergleich zu den beiden älteren Tests T8 und T10 im Juni 2022 erfolgen. Die Höhe der danach erreichten Plateaus der Druckmaxima ist wiederum abhängig von der Wirksamkeit der Bohrung B14-164.

Mit Einfluss der offenen Bohrung B14-164 wird bei den Tests T8 und T11 ein Druckmaximum von ca. 0,250 bar bzw. 0,274 bar erreicht. Der jüngere Test T11 im Februar 2023 zeigt damit den etwas höheren Druck.

Ohne Einfluss der Bohrung B14-164 wird bei den Tests T10 und T13 ein Druckmaximum von ca. 0,513 bar bzw. 0,414 bar erreicht. Der jüngere Test T13 im Februar 2023 zeigt damit den etwas niedrigeren Druck.

5.4.2 Reaktion in der RK03

Die Reaktionen in der als Kontrollkammer wirkenden Schlauchkammer RK03 bei der Druckbeaufschlagung der Schlauchkammer RK02, wird in der Anlage 6.2 gezeigt. Durch den Abstand von 4,5 m zur beaufschlagten Schlauchkammer RK02, fallen die Druckreaktionen, im Vergleich zur etwas näherliegenden RK01, etwas gedämpfter und niedriger aus.

Innerhalb der 3 000 s Messzeit wird bei allen Tests nur ein Druck unterhalb von ca. 0,11 bar erreicht, wobei auch keine Maxima festgestellt wurden. Grundsätzlich zeigte sich aber, dass die älteren Tests T8 und T10 früher im Druck anstiegen. Die jüngsten Tests T11 und T13 von 02/2023 verliefen beide über ca. 60 000 s (in Anlage 6.2 wird der Verlauf über 10 000 s dargestellt) und registrierten damit jeweils ein Druckmaximum von 0,110 bar (@4 500 s) bzw. 0,132 bar (@5 800 s). Der Test T13, ohne den Einfluss der Bohrung B14-164, zeigte dabei den höheren Druck.

5.5 Test der Schlauchkammer RK03

Für die hintere Schlauchkammer RK03 wurden in der Anlage 7.1 und Anlage 7.2 jeweils 4 Tests gegenübergestellt.

Die Tests T12 am 05.04.2022 und T15 am 07.02.2023 lassen einen direkten Vergleich der Druckverläufe mit Einfluss der offenen Bohrung B14-164 im Kontaktbereich zu. Die Tests T14 am 27.06.2022 und T16 am 28.02.2023 lassen einen direkten Vergleich der Druckverläufe ohne Einfluss der Bohrung B14-164 im Kontaktbereich zu.

Grundsätzlich zeigt sich, dass der Druckabfall der getesteten Schlauchkammer RK03 in den beiden jüngsten Tests T15 und T16 im Februar 2023, im Vergleich zu den beiden älteren Tests T12 und T14 im Juni 2022, langsamer erfolgt. Gleichzeitig ist der vergleichsweise geringe Einfluss der Bohrung B14-164 auf die Druckabfälle in der druckbeaufschlagten Schlauchkammer RK03 zu sehen. Mit dem Einfluss der Bohrung B14-164 fällt der Druck in der druckbeaufschlagten Schlauchkammer RK03 immer etwas schneller ab.

5.5.1 Reaktion in der RK01

Die Reaktionen in der als Kontrollkammer wirkenden Schlauchkammer RK01 bei der Druckbeaufschlagung der hinteren Schlauchkammer RK03 (Abstand 7,5 m) wird in der Anlage 7.1 gezeigt.

Grundsätzlich zeigt sich, dass die Druckanstiege in der RK01 bei den beiden jüngsten Tests T15 und T16 im Februar 2023 etwas verzögerter als im Vergleich zu den beiden älteren Tests

T12 und T14 im Juni 2022 erfolgen. Die Höhe der Plateaus der Druckmaxima ist wiederum abhängig von der Wirksamkeit der Bohrung B14-164.

Ohne Einfluss der Bohrung B14-164 wird bei den Tests T14 und T16 ein Druckmaximum von ca. 0,110 bar erreicht. Der jüngere Test T16 im Februar 2023 erreicht sein Maximum bei ca. 8 500 s, und damit deutlich später als beim älteren Test T14.

Mit Einfluss der Bohrung B14-164 wird bei den Tests T12 und T15 innerhalb der Messzeit von bis zu 3800 s kein Druckmaximum erreicht. Der jüngere Test T15 im Februar 2023 zeigt dabei einen deutlich verzögerten Anstieg.

5.5.2 Reaktion in der RK02

Die Reaktionen in der als Kontrollkammer wirkenden Schlauchkammer RK02 bei der Druckbeaufschlagung der hinteren Schlauchkammer RK03 (Abstand 4,5 m) wird in der Anlage 7.2 gezeigt.

Grundsätzlich zeigt sich, dass die Druckanstiege in der Schlauchkammer RK02 bei den beiden jüngsten Tests T15 und T16 im Februar 2023 etwas verzögerter als im Vergleich zu den beiden älteren Tests T12 und T14 im Juni 2022 erfolgen. Die Höhe der danach folgenden Plateaus der Druckmaxima ist wiederum abhängig von der Wirksamkeit der Bohrung B14-164.

Ohne Einfluss der Bohrung B14-164 wird bei den Tests T14 und T16 ein Druckmaximum von 0,200 bar (@3 500 s) bzw. 0,194 (@4 600 s) erreicht. Der jüngere Test T16 im Februar 2023 erreicht sein Maximum damit deutlich später als beim älteren Test T14.

Mit Einfluss der Bohrung B14-164 wird bei den Tests T12 und T15, innerhalb der Messzeit von bis zu 3800 s, nur beim jüngeren Test T15 ein Druckmaximum von 0,149 bar nach 3 500 s erreicht. Der ältere Test T12 im Februar 2023 wurde nur bis ca. 2 500 s Messzeit aufgezeichnet und zeigt dabei einen etwas früheren Druckanstieg.

5.6 Auswertung

Die Grundlagen und die Herangehensweise an die Auswertung der Bauwerkstests wurde im Kapitel 8 des Endberichtes zum Forschungsvorhaben STROEFUN 3 [1] dargestellt. Diese Grundlagen sollen hier nicht wiederholt werden. Die zum Forschungsvorhaben beschriebene Vorgehensweise wurde in gleicher Weise für die Auswertung der in den Kapiteln 5.3 bis 5.5 dokumentierten Bauwerkstests angewendet.

Für die modellgestützte Auswertung der Druckbeaufschlagung des Bauwerkes wurde ein numerisches Modell aufgebaut, das für die modellgestützte Auswertung der Druckbeaufschlagungen über die Ringkammern RK02, RK01 und RK03 verwendet wurde.

Grundlagen der Auswertung der durchgeführten in situ-Tests sind die Kenntnisse zur Geometrie des Bauwerkes und der installierten Ringkammern, zum Volumen der Kammern,

zu den thermodynamischen Bedingungen am Standort, zu den strömungstechnischen Eigenschaften des verwendeten Gases sowie zu den in den Tests ermittelten Druckganglinien.

Für die Auswertung der Bauwerkstests wurde das dreidimensionale Modell mit r - φ - z Geometrie (Zylindergeometrie) aufgebaut. Über die Diskretisierung in der Zylindergeometrie ist es möglich, die strömungswirksamen Flächen im realen Bauwerk auf äquivalente Flächen in der Modellgeometrie zu übertragen. Der Aufbau des Modells in Zylindergeometrie erfolgte mit der Zielstellung einer Vereinfachung des Modellaufbaus bei gleichzeitiger Einhaltung der strömungstechnisch bestimmenden Flächen. Gleichzeitig ermöglicht die Zylindergeometrie eine individuelle Diskretisierung der für den Strömungsprozess bestimmenden Teilräume im Modell.

Das Modell wurde für die modellgestützte Anpassung der berechneten an die gemessenen Druckganglinien genutzt. Für die Auswertung wurden die erforderlichen Eingangsparameter und aufgezeichneten Testdaten in das numerische Modell der Auswertung übernommen. Die Anpassung der mit dem Modell berechneten Druckganglinien an die in-situ Messergebnisse erfolgte über die Variation der Permeabilität in der Kontaktzone Baustoff/ Gebirge. In Anlage 10 sind die Ergebnisse der Anpassungen für die drei in der 2. Kampagne durchgeführten Tests dokumentiert.

5.6.1 Ringkammer RK02

Für die modellgestützte Anpassung der berechneten an die gemessenen Druckganglinien wurde das in [1] beschriebene Auswertemodell genutzt. In Anlage 10.2 sind die gemessenen und berechneten Ganglinien im Ergebnis der Anpassung in Abhängigkeit von der Messdauer dargestellt.

Für die Druckbeaufschlagung der Ringkammer RK02 wurde die in Anlage 10.2 dargestellte Anpassung der gemessenen und berechneten Druckganglinien über eine Permeabilität der Kontaktzone von $4,8E-15 \text{ m}^2$ zwischen den Ringkammern RK01 und RK02 sowie einer Permeabilität der Kontaktzone von $3,2E-15 \text{ m}^2$ zwischen den Ringkammern RK02 und der RK03 erreicht.

Auf der Grundlage der Geometrie des Bauwerkes, der initialen Parameterbelegung für die Strömungsräume Gebirge/Auflockerungszone und massiver Baustoffkörper entsprechend [1] wurde im Ergebnis der Parametervariation für das Bauwerk eine integrale Permeabilität von $1,5E-16 \text{ m}^2$ abgeschätzt.

5.6.2 Ringkammer RK01

Für die modellgestützte Anpassung der berechneten an die gemessenen Druckganglinien wurde das in [1] beschriebene Auswertemodell genutzt. In Anlage 10.1 sind die gemessenen und berechneten Ganglinien im Ergebnis der Anpassung in Abhängigkeit von der Messdauer dargestellt.

Für die Druckbeaufschlagung der Ringkammer RK01 wurde die in Anlage 10.1 dargestellte Anpassung der gemessenen und berechneten Druckganglinien über eine Permeabilität der Kontaktzone von $4,2\text{E-}15\text{ m}^2$ zwischen den Ringkammern RK01 und RK02 sowie einer Permeabilität der Kontaktzone von $1,0\text{E-}15\text{ m}^2$ zwischen den Ringkammern RK02 und der RK03 erreicht.

Auf der Grundlage der Geometrie des Bauwerkes, der initialen Parameterbelegung für die Strömungsräume Gebirge/Auflockerungszone und massiver Baustoffkörper entsprechend [1] wurde im Ergebnis der Parametervariation für das Bauwerk eine integrale Permeabilität von $5,9\text{E-}17\text{ m}^2$ abgeschätzt.

5.6.3 Ringkammer RK03

Für die modellgestützte Anpassung der berechneten an die gemessenen Druckganglinien wurde das in [1] beschriebene Auswertemodell genutzt. In Anlage 10.3 sind die gemessenen und berechneten Ganglinien im Ergebnis der Anpassung in Abhängigkeit von der Messdauer dargestellt.

Für die Druckbeaufschlagung der Ringkammer RK03 wurde die in Anlage 10.3 dargestellte Anpassung der gemessenen und berechneten Druckganglinien über eine Permeabilität der Kontaktzone von $6,0\text{E-}15\text{ m}^2$ zwischen den Ringkammern RK01 und RK02 sowie einer Permeabilität der Kontaktzone von $4,3\text{E-}15\text{ m}^2$ zwischen den Ringkammern RK02 und der RK03 erreicht.

Auf der Grundlage der Geometrie des Bauwerkes, der initialen Parameterbelegung für die Strömungsräume Gebirge/Auflockerungszone und massiver Baustoffkörper entsprechend [1] wurde im Ergebnis der Parametervariation für das Bauwerk eine integrale Permeabilität von $1,9\text{E-}16\text{ m}^2$ abgeschätzt.

5.6.4 Zeitabhängige Abnahme der Bauwerkspermeabilität

Auf der Grundlage der Variation der Permeabilitäten für die Kontaktzone erfolgte eine erneute Berechnung der integralen Permeabilität der Bauwerksabschnitte. Diese integrale Permeabilität soll, auch für weitere Testungen des Bauwerkes, als Kriterium für die Beurteilung der Veränderungen verwendet werden. In Tab. 4 sind die aktuell ermittelten integralen effektiven Gaspermeabilitäten für die drei Bauwerksabschnitte im Vergleich zu den Ergebnissen des Referenztests im Juni 2022 [1] zusammengestellt. In Abb. 1 sind die Ergebnisse zeitabhängig dargestellt.

Tab. 4: *Integrale Permeabilitäten in Auswertungen der Tests*

integrale Permeabilität über die Bauwerksfläche	Druckbeaufschlagung			
	RK01	RK02	RK03	Geomittel
Jun 22	$1,1\text{E-}16$	$2,3\text{E-}16$	$3,0\text{E-}16$	$2,0\text{E-}16$
Feb 23	$5,9\text{E-}17$	$1,5\text{E-}16$	$1,9\text{E-}16$	$1,2\text{E-}16$

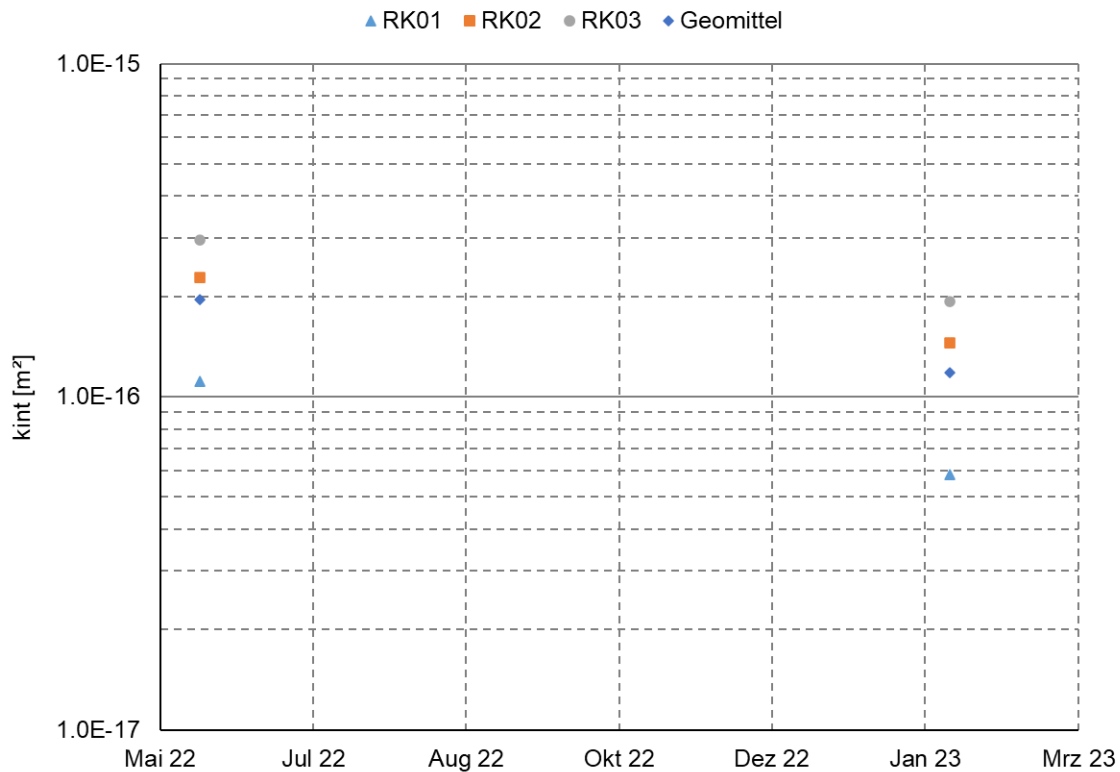


Abb. 1: Permeabilität in Abhängigkeit von der Zeit

Für die drei Bauwerksabschnitte ergibt sich eine Reduzierung der integralen Permeabilität auf mindestens 70 % der im Juni 2022 ermittelten Permeabilitäten. Dies wird im Wesentlichen auf die fortschreitende Konvergenz und die zunehmende Einspannung des Bauwerkes in das großräumige Spannungsfeld des Standortes gesehen.

Die zunehmende Einspannung des Bauwerkes wird von dem Spannungsmonitoring im Bauwerk bestätigt. Anlage 4 zeigt die Druck- und Temperaturganglinien für die drei kabellosen Sensoren. Die Temperatur im Bauwerk hat sich stabilisiert. Der langsame Anstieg der Spannungen im Kontakt Baustoff/ Gebirge wird auf die auflaufende Konvergenz des Gebirges auf das Bauwerk zurückgeführt.

6 Zusammenfassung

Während des abgeschlossenen Projektes STROEFUN III [1] wurde der Standort des Halbdammes im Juni 2022 zum letzten Mal befahren und Messwerte gewonnen.

Im Rahmen einer Messkampagne im Februar 2023, wurde der Standort nach ca. 6 Monaten Ruhezeit des im Forschungsvorhaben errichteten Bauwerkes aus MgO-Baustoff erneut befahren. Dabei wurde der bestehende Datensatz zu den Klimadaten, den Kontaktdrücken und Temperaturen erweitert. Der Kontaktdruck des Sensors am hinteren Streckenstoß (KLS03) ist von 12,73 bar (28.Juni 2022) auf nunmehr 16,17 bar gestiegen. Das entspricht für diesen Zeitraum einem mittleren Anstieg von 0,44 bar/Monat, was mit dem Anstieg im vorherigen Zeitraum vergleichbar ist. Vom Sensor KLS 02 konnten keine Daten mehr erhalten werden.

Im Rahmen der Messkampagne im Februar 2023 wurde jede Schlauchkammer mit Gasdruck beaufschlagt, der Druckverlauf und die Druckreaktion in den benachbarten Schlauchkammern erfasst sowie der Testverlauf, entsprechend der Vorgehensweise im Forschungsvorhaben, auf der Basis eines numerischen Standardmodells ausgewertet.

In der Bohrung B14-164 wurde eine Konvergenzmessstelle installiert. Die Bohrung durchteuft vertikal den Bauwerkskörper und die Kontaktzone zwischen Baustoff und Streckensohle. Nach einer 1. Messkampagne mit einer Druckbeaufschlagung für alle 3 Schlauchkammern wurde der untere Bohrlochabschnitt mit einem plastisch verformbaren Silikon gel vergossen und die Kontaktzone Baustoff/ Streckensohle strömungstechnisch abgedichtet. In einer 2. Messkampagne wurden die Tests in den 3 Schlauchkammern wiederholt. Im Ergebnis der beiden Messkampagnen im Februar 2023 steht ein erweiterter Datensatz zur Bewertung des strömungstechnischen Verhaltens des Halbdammes in Relation zu den im Juni 2022 durchgeführten Referenztests zur Verfügung.

Grundsätzlich zeigte sich, dass, im Vergleich zu den Messungen im Juni 2022 (während der Projektlaufzeit), die Abströmung aus den druckbeaufschlagten Schlauchkammern auf mindestens 70 % reduziert ist. Die bei einem Test als Kontrollkammer wirkenden Schlauchkammern zeigen einen zeitlich verzögerten Druckanstieg. Dieser Effekt ist eine direkte Folge einer abgenommenen Durchlässigkeit entlang der wirksamen Fließwege, welche die Konnektivität zwischen den Schlauchkammern ermöglichen. Der Einfluss war bei offener und lokal abgedichteter Bohrung B14-164 nachweisbar. Durch den Verguss der Bohrung B14-164 ist zukünftig nur noch eine Bewertung des Systems ohne den Einfluss der offenen Bohrung B14-164 möglich.

7 Verzeichnisse

Literaturverzeichnis

- [1] TUC (2023): Strömungstechnischer Funktionsnachweis für Verschlussbauwerke und flüssigkeitsgestützte Abdichtung des Kontaktbereiches. Phase III (Vertiefung Kenntnisstand Kontaktbereich & Injektionsmittel, in situ-Versuche, STROEFUN III). Förderkennzeichen: 02E11748A und 02E11748B. Endbericht Stand: 12.06.2023

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Permeabilität in Abhängigkeit von der Zeit	10
Abb. 2:	Überblick der Dammsbrust (vertikale und horizontale Konvergenzmessstelle rot markiert)	13
Abb. 3:	Damm Ortsbrust	13
Abb. 4:	Verfüllte Bohrung (links im Kontakt Bauwerk/Sohle)	14
Abb. 5:	Blick vom Damm in Richtung offene Strecke und Bohrkeller (vertikale Konvergenzmessstelle rot markiert)	14
Abb. 6:	Damm Zustand rechte Ecke 28.06.2022	15
Abb. 7:	Damm Zustand rechte Ecke 07.02.2023	15
Abb. 8:	Damm Zustand linke Ecke 28.06.2022	16
Abb. 9:	Damm Zustand linke Ecke 07.02.20	16
Abb. 10:	Damm Zustand rechte Ecke 28.02.2023	17
Abb. 11:	Damm Zustand linke Ecke 28.02.2023	17
Abb. 12:	Überblick der Dammoberfläche (hinterer Teil)	18
Abb. 13:	Eingerichtete Konvergenzmessstelle in Bohrung B14-165 (links), Bohrung B15-165 mit Stopfen verschlossen (rechts)	18

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Durchgeführte Tests der ersten Messkampagne 06.02.-07.02.2023	1
Tab. 2:	Durchgeführte Tests der zweiten Messkampagne 27.02.-28.02.2023	1
Tab. 3:	Volumenänderung der Packerschlauchsysteme	2
Tab. 4:	Integrale Permeabilitäten in Auswertungen der Tests	9

Anlagen

Anlage 1 Bilder vom Standort



Abb. 2: Überblick der Dammortsbrust (vertikale und horizontale Konvergenzmesststelle rot markiert)

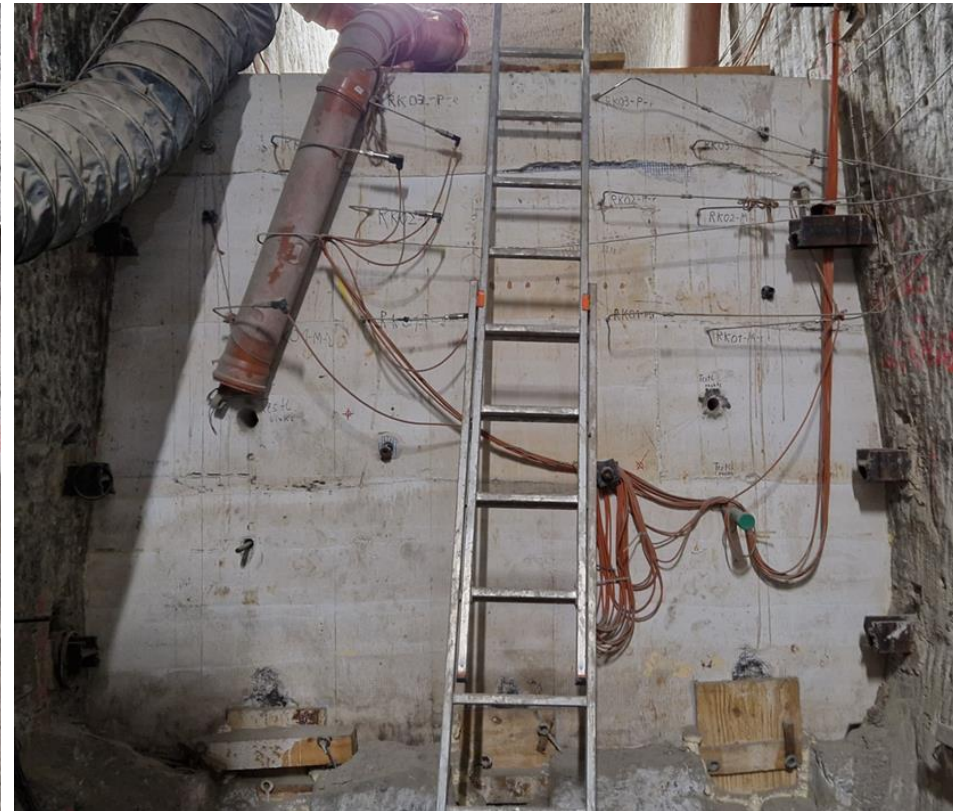


Abb. 3: Damm Ortsbrust



Abb. 4: Verfüllte Bohrung (links im Kontakt Bauwerk/Sohle)

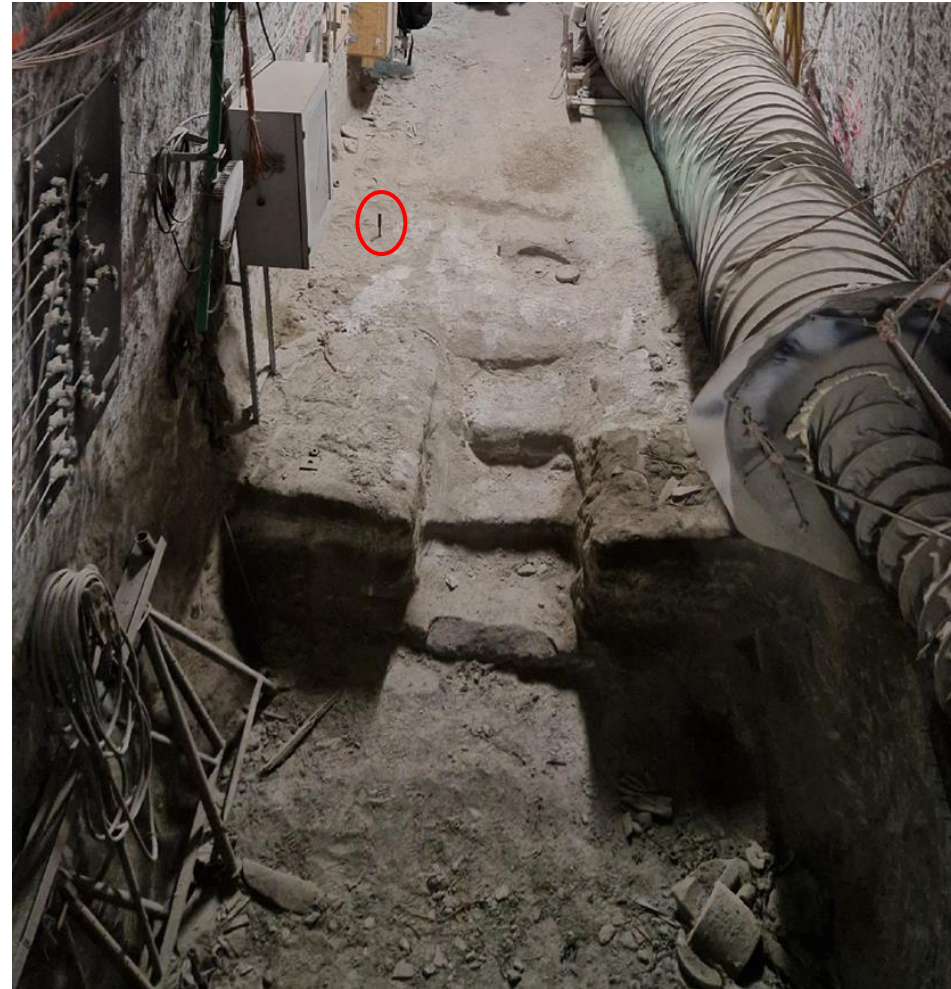


Abb. 5: Blick vom Damm in Richtung offene Strecke und Bohrkeller (vertikale Konvergenzmessstelle rot markiert)



Abb. 6: Damm Zustand rechte Ecke 28.06.2022



Abb. 7: Damm Zustand rechte Ecke 07.02.2023



Abb. 8: Damm Zustand linke Ecke 28.06.2022



Abb. 9: Damm Zustand linke Ecke 07.02.20



Abb. 10: Damm Zustand rechte Ecke 28.02.2023



Abb. 11: Damm Zustand linke Ecke 28.02.2023

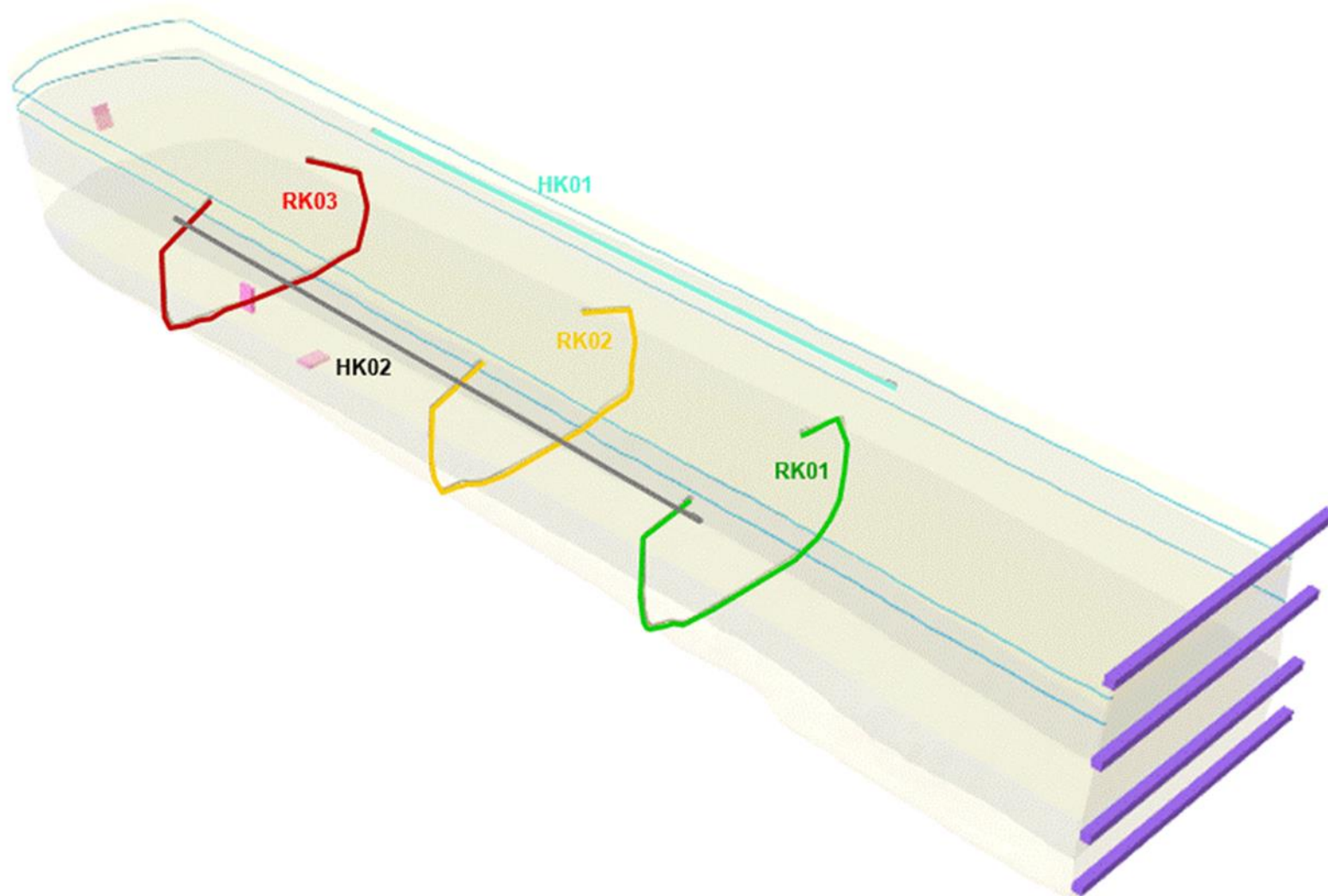


Abb. 12: Überblick der Dammoberfläche (hinterer Teil)

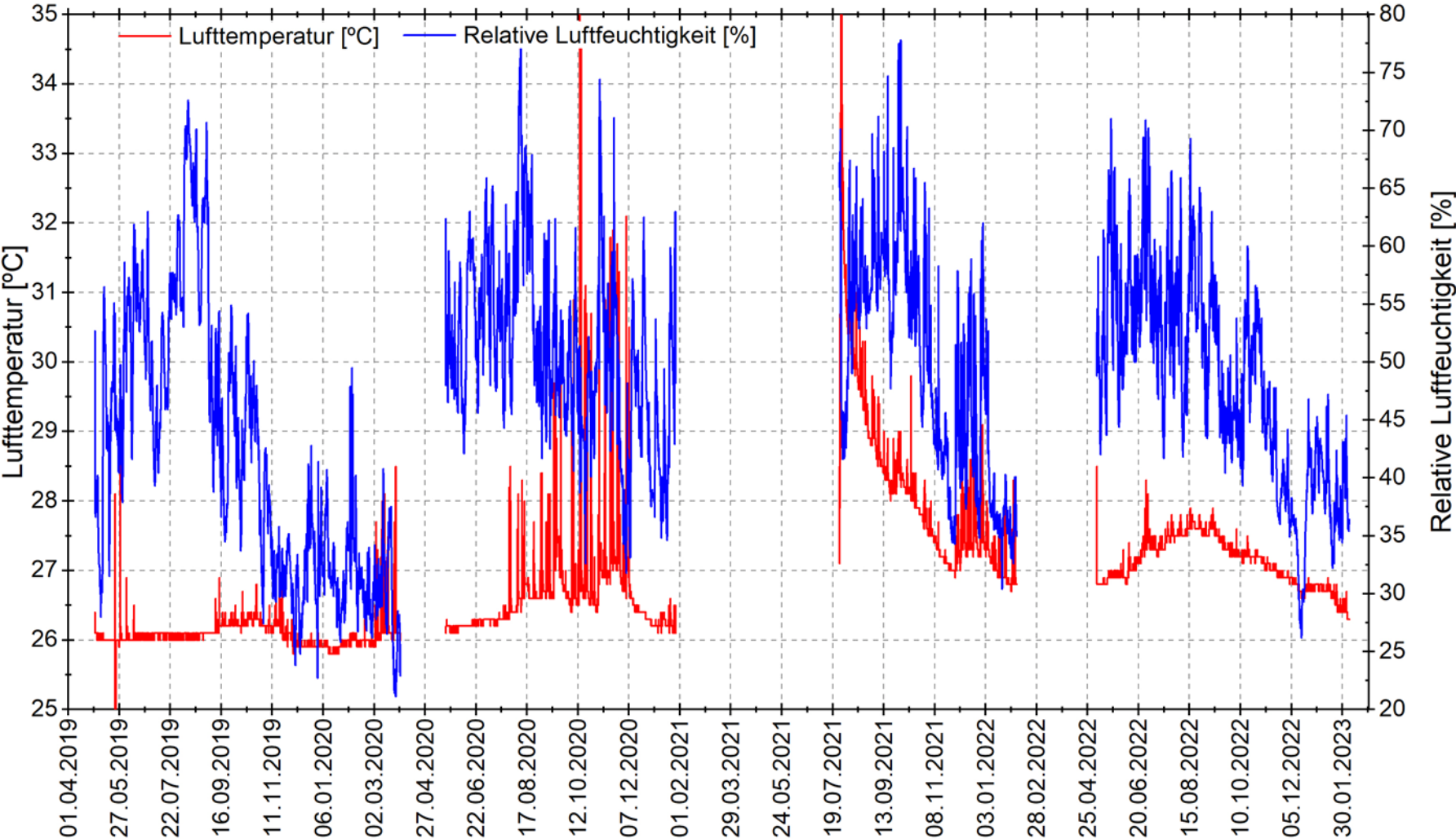


Abb. 13: Eingerichtete Konvergenzmessstelle in Bohrung B14-165 (links), Bohrung B15-165 mit Stopfen verschlossen (rechts)

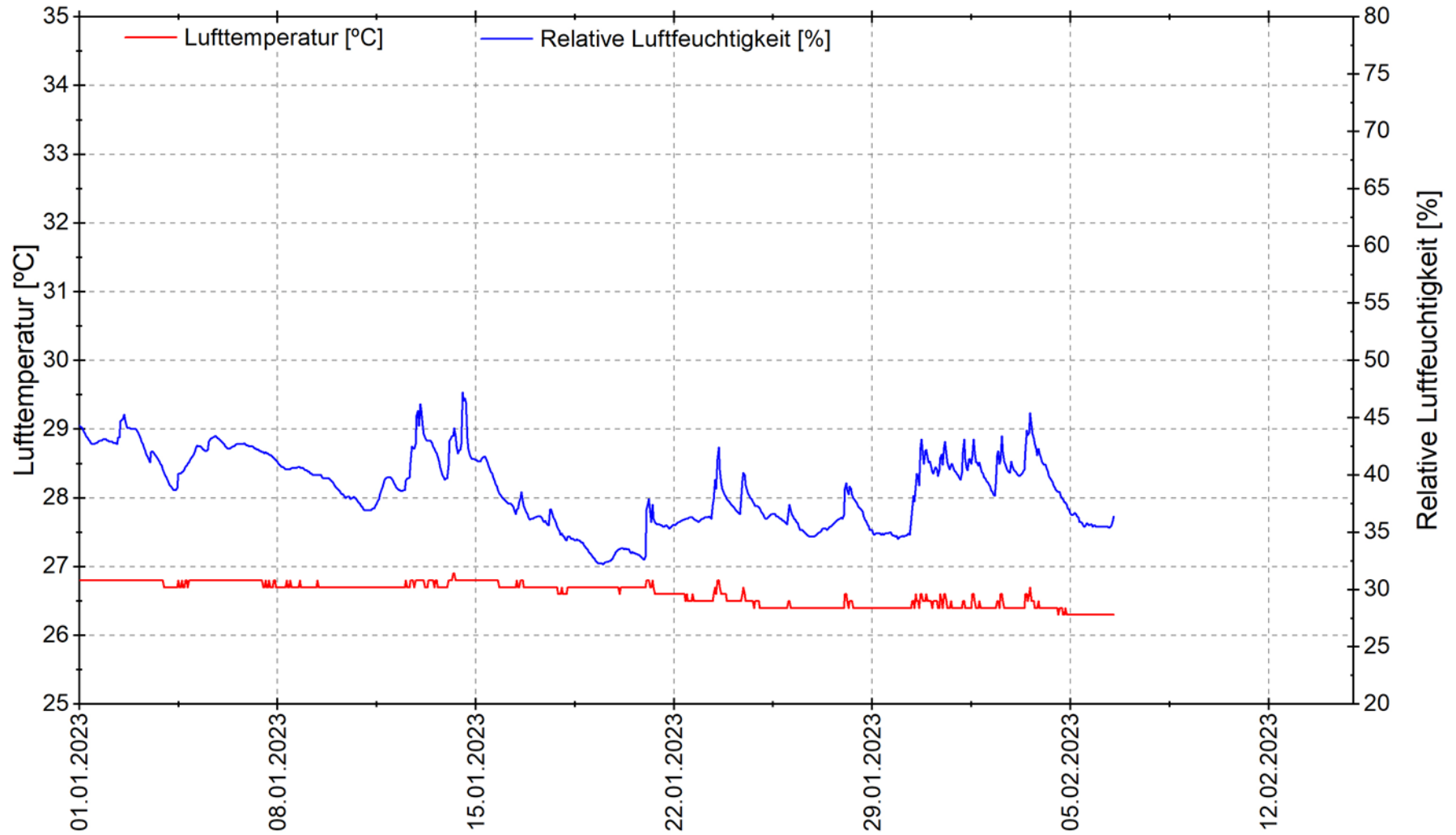
Anlage 2 Lage und Anordnung der Schlauchkammern



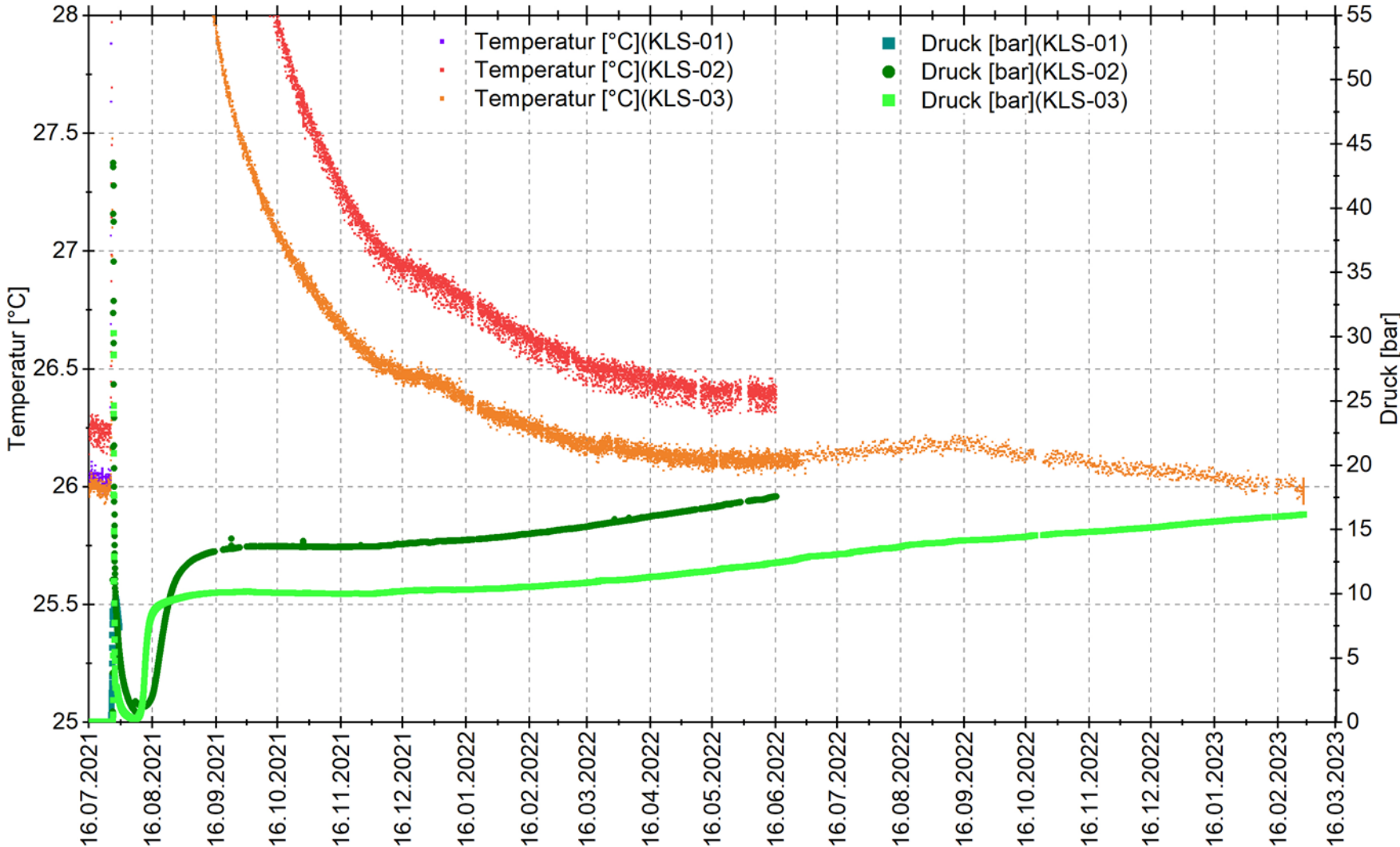
Anlage 3 Klimadaten
Anlage 3.1 04/2019 – 02/2023



Anlage 3.2 01/2023 – 02/2023

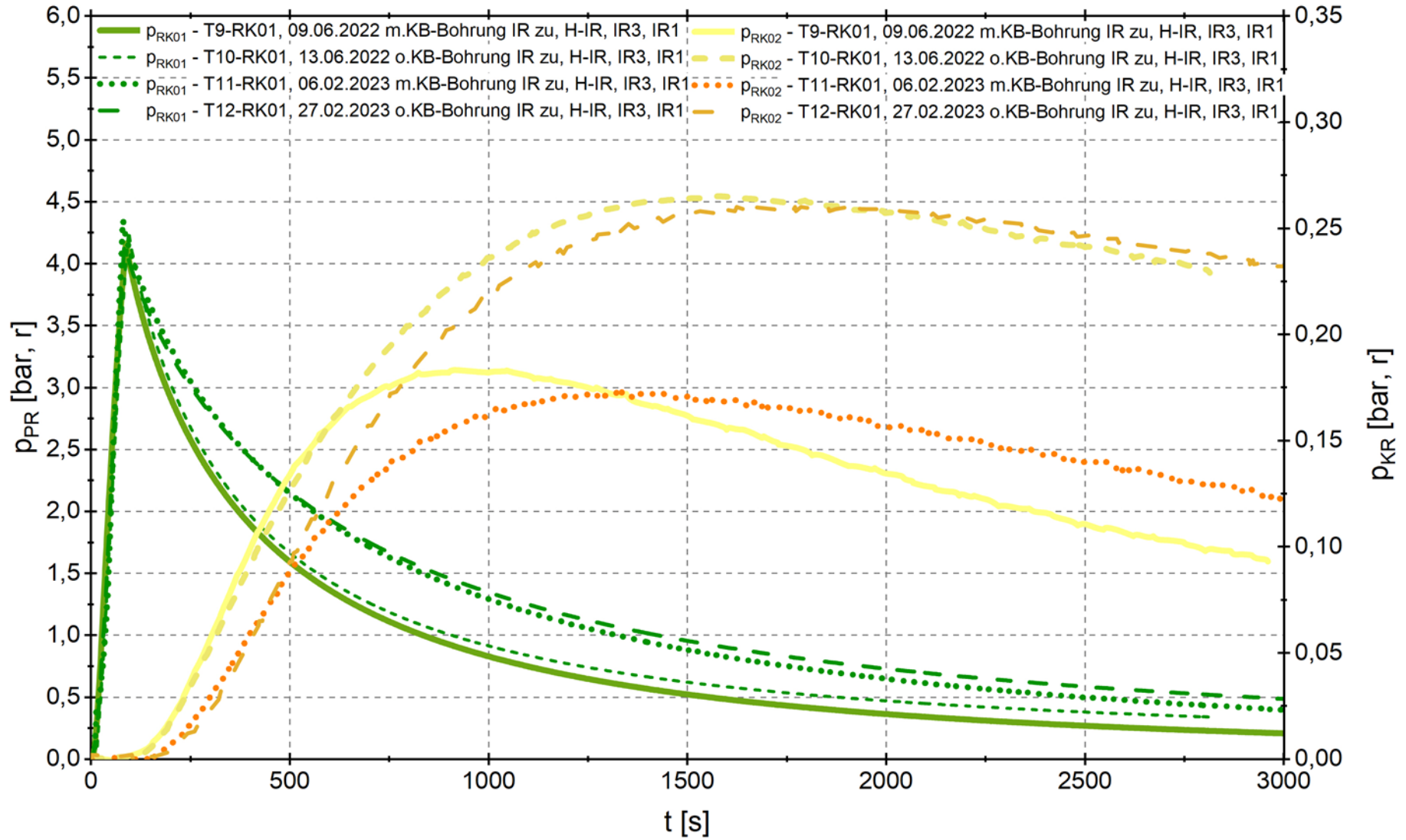


Anlage 4 Ganglinien der Kontaktspannung und Temperatur (kabellose Sensoren)

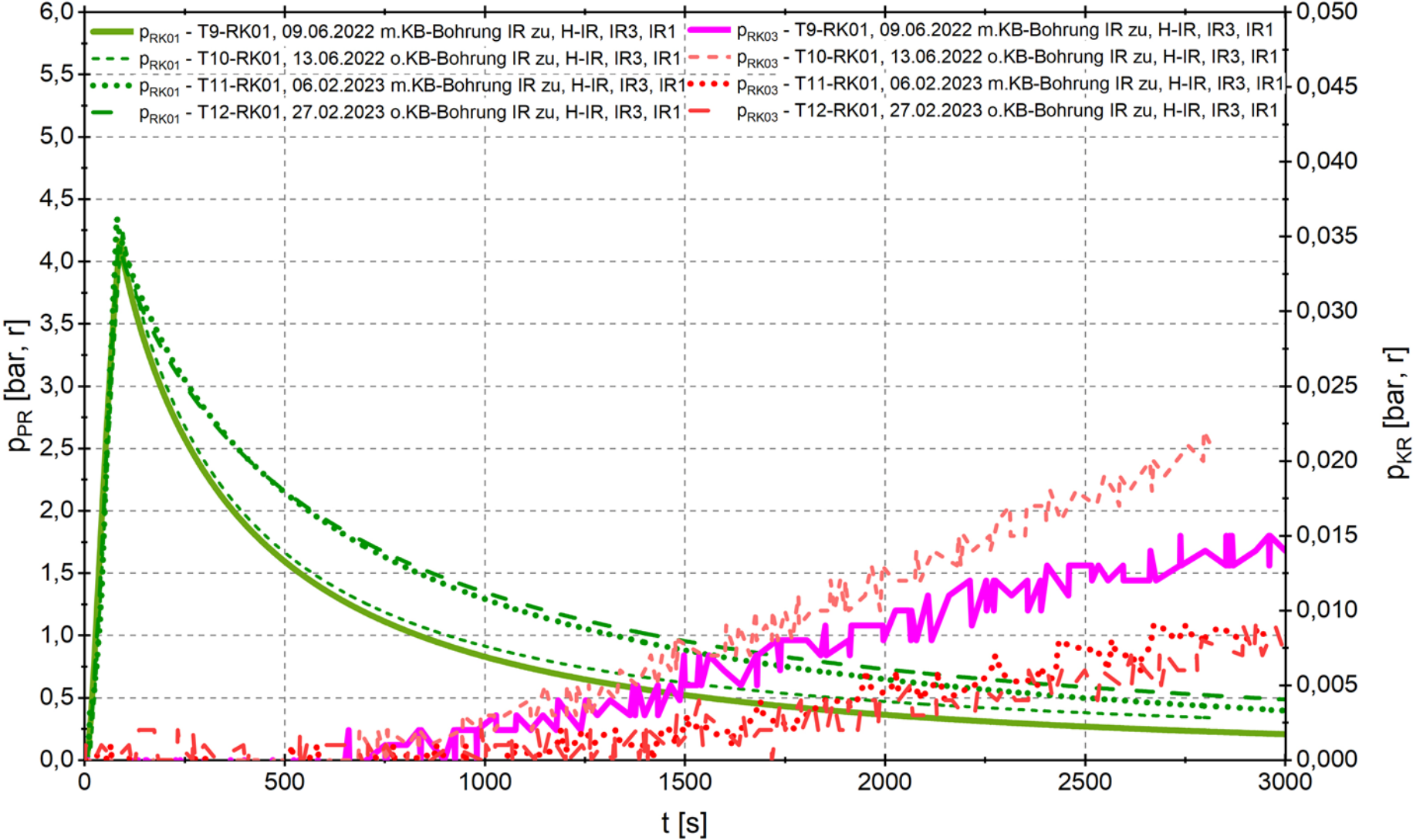


Anlage 5 Test der RK01

Anlage 5.1 Test der RK01 - Reaktion in RK02

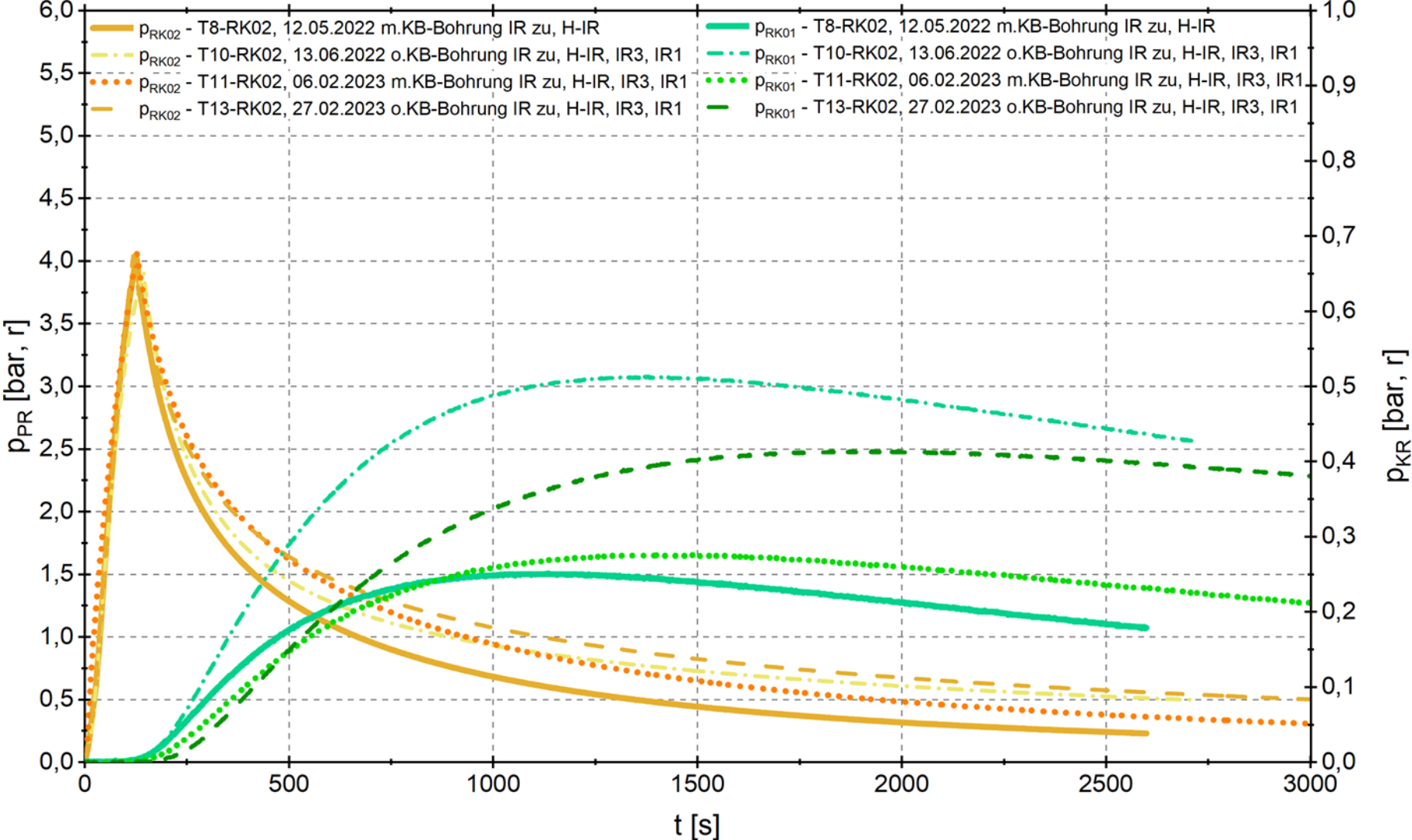


Anlage 5.2 Test der RK01 - Reaktion in RK03

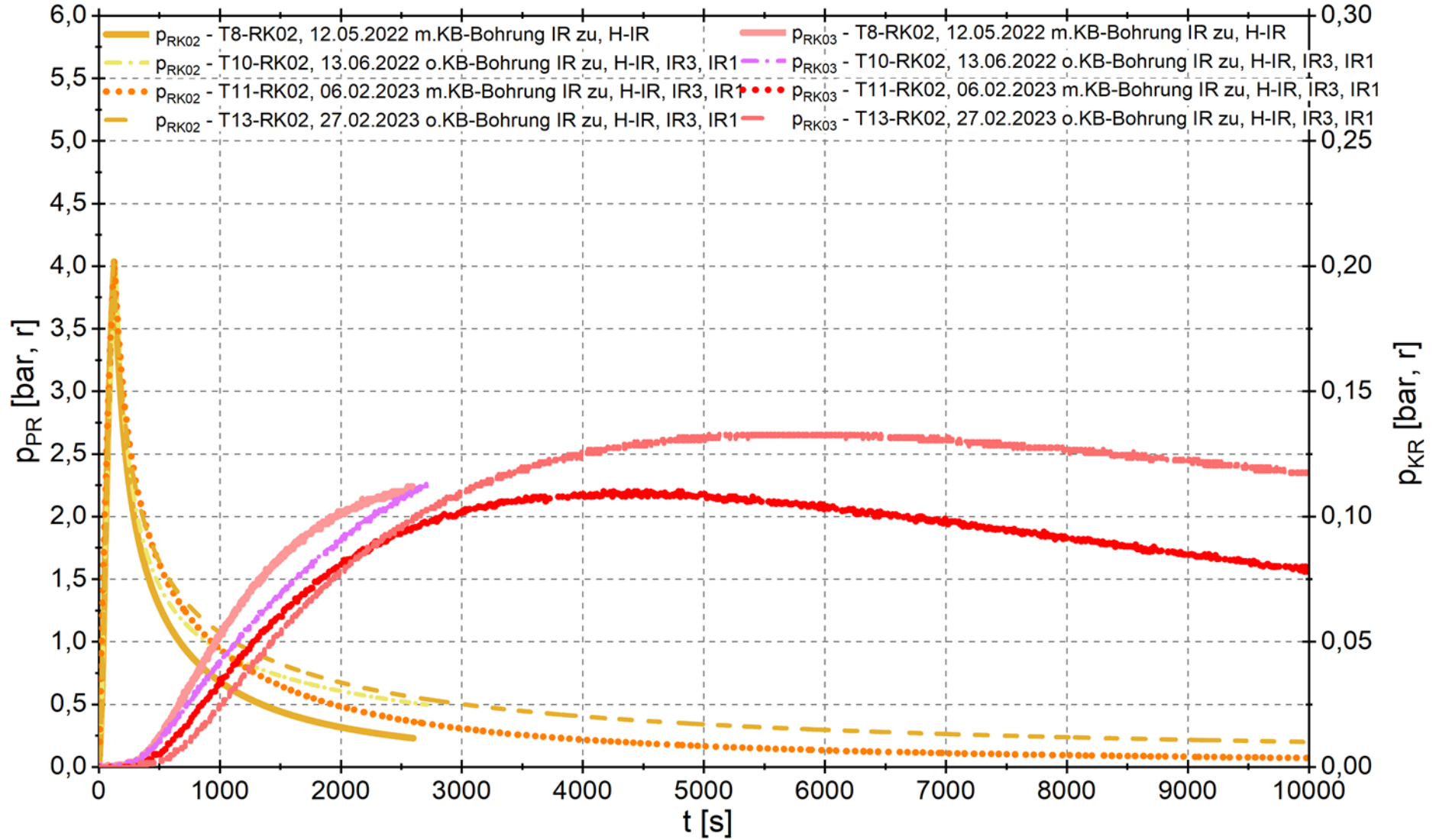


Anlage 6 Test der RK02

Anlage 6.1 Test der RK02 - Reaktion in RK01

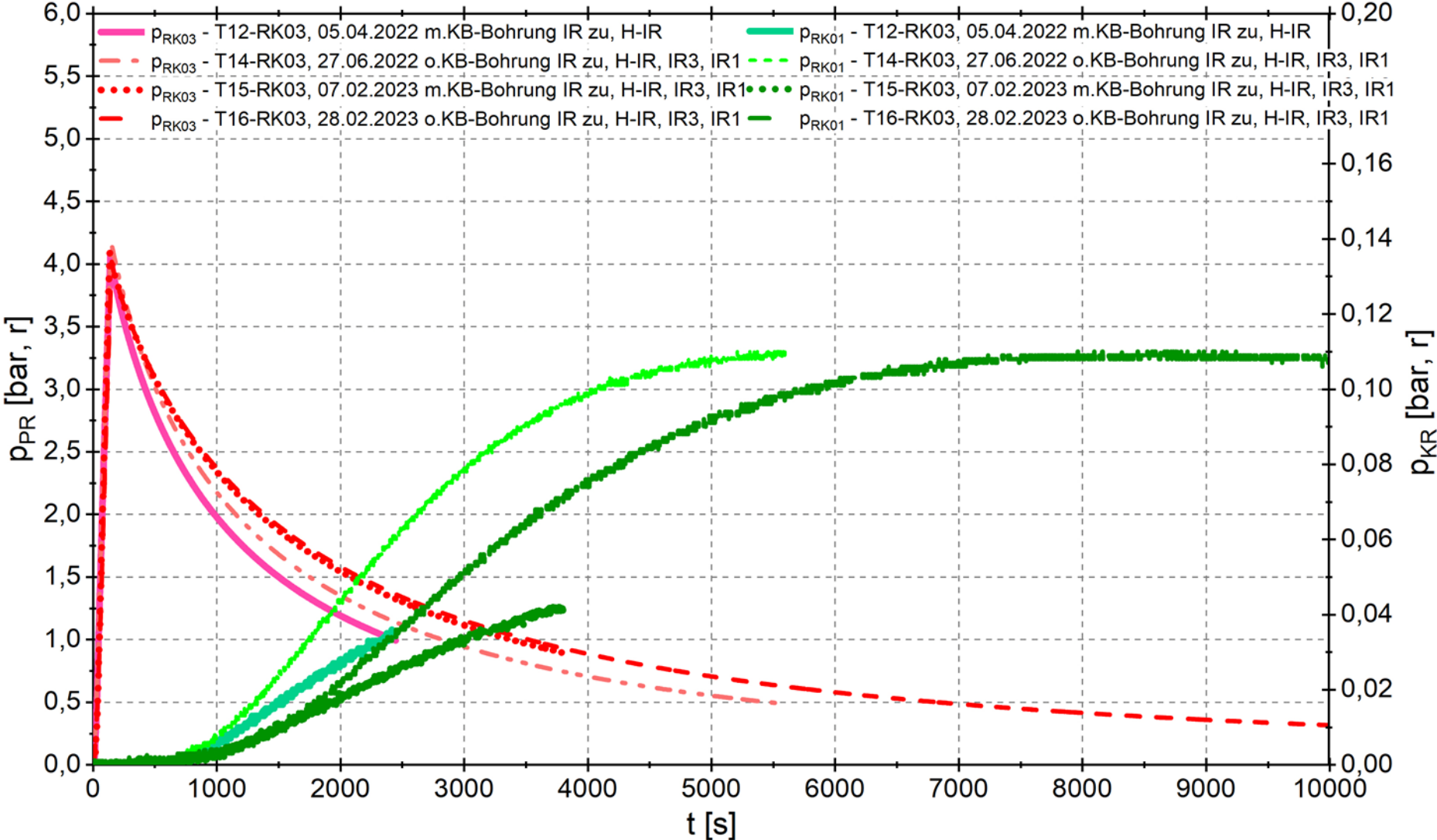


Anlage 6.2 Test der RK02 - Reaktion in RK03

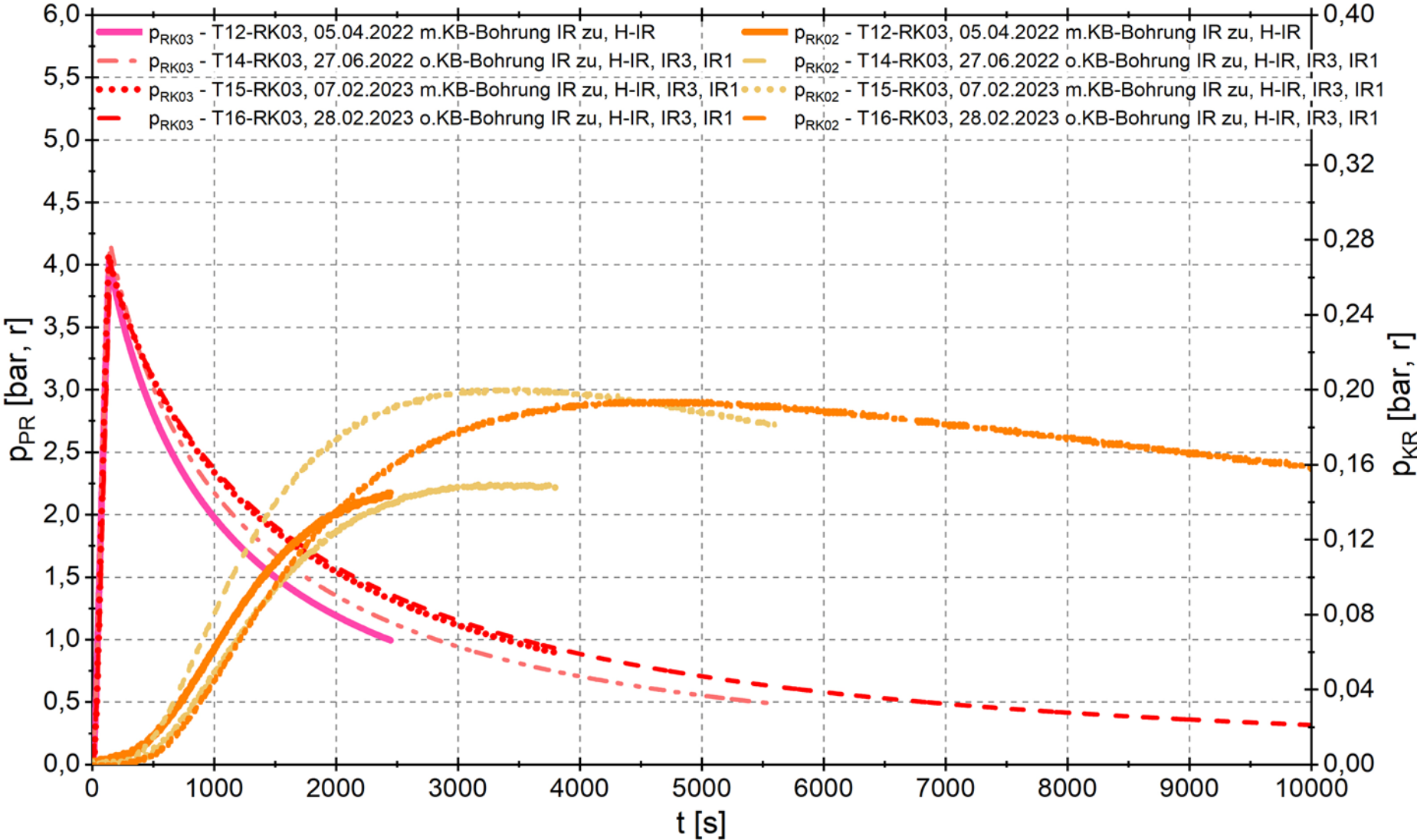


Anlage 7 Test der RK03

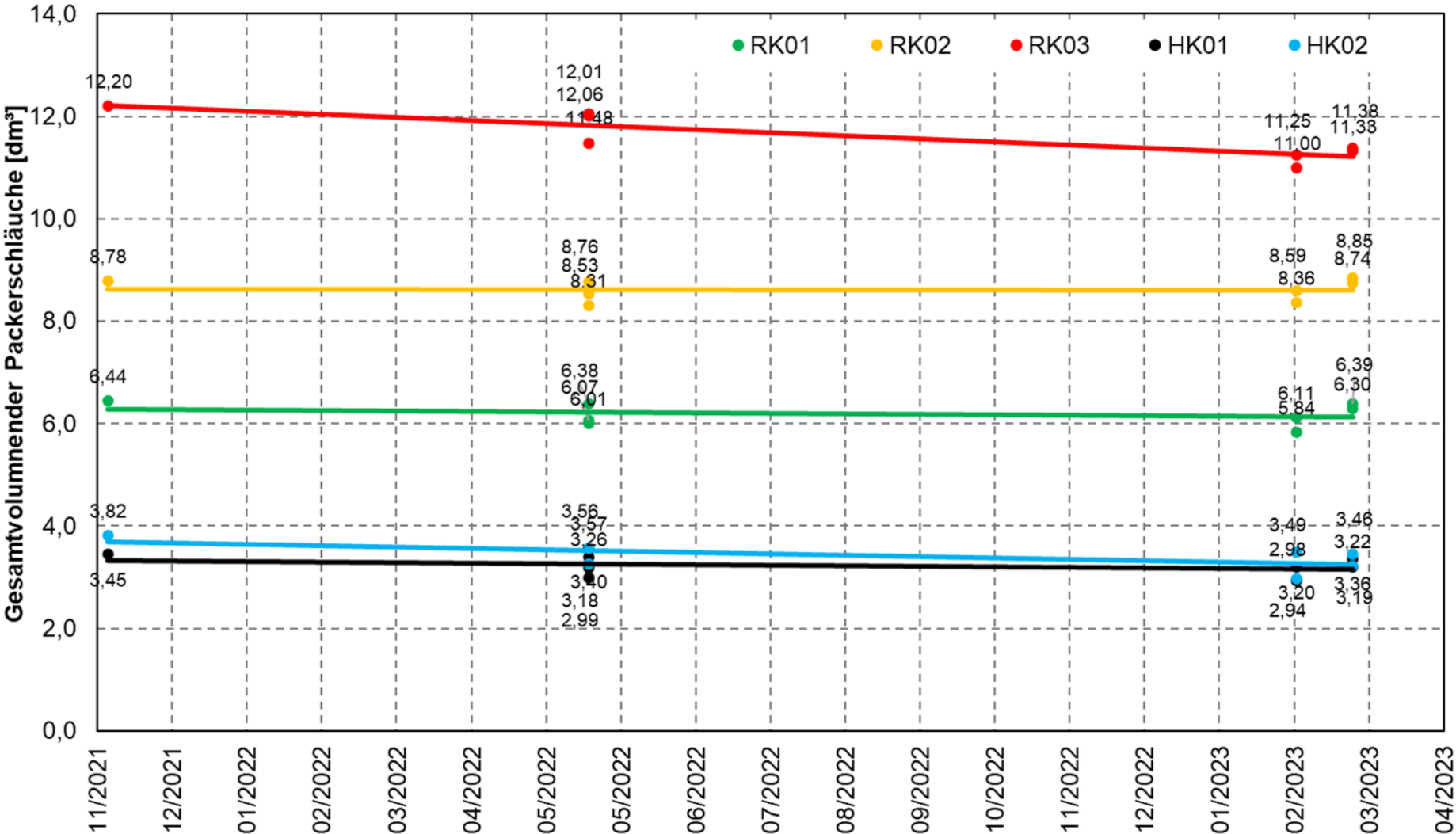
Anlage 7.1 Test der RK03 - Reaktion in RK01



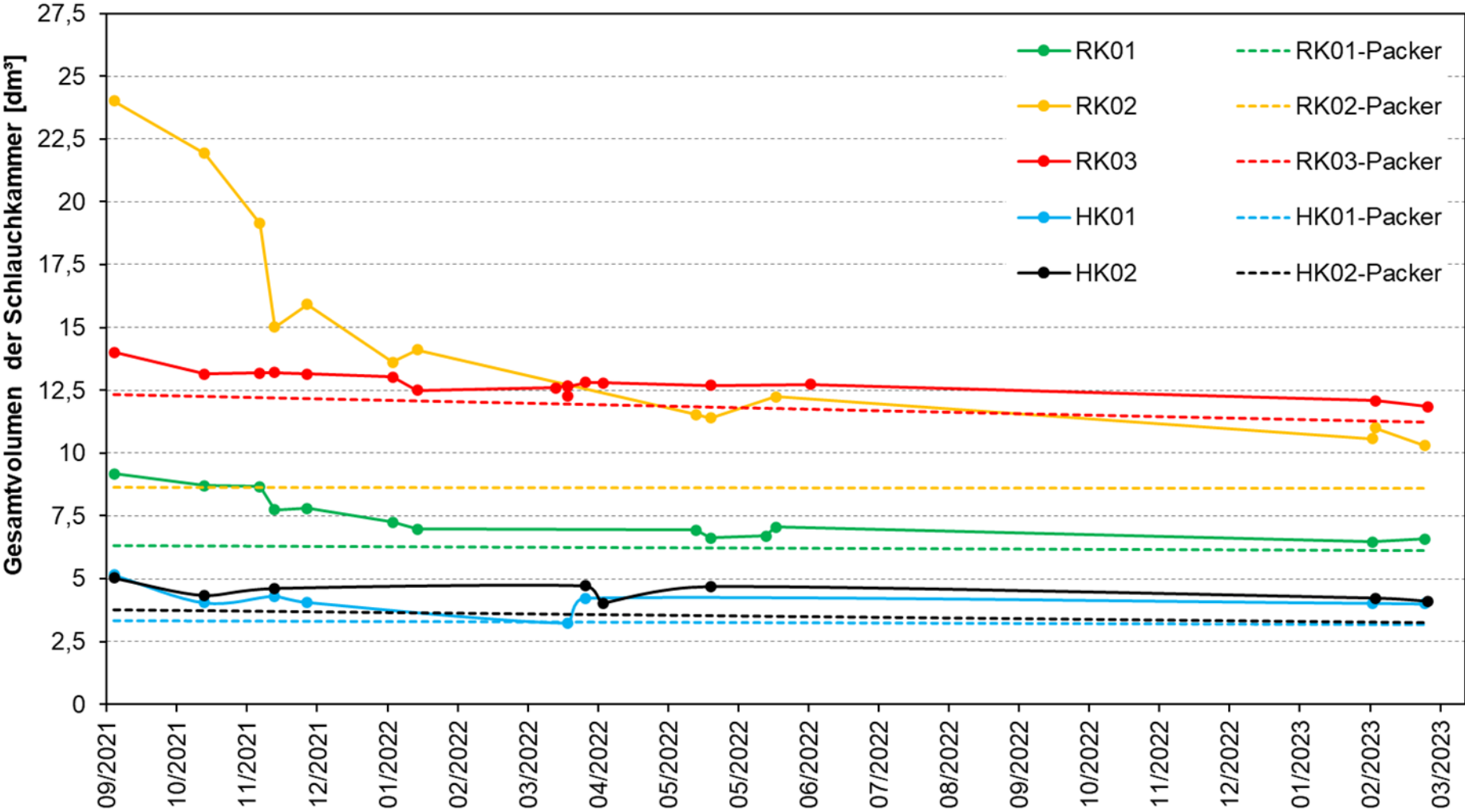
Anlage 7.2 Test der RK03 - Reaktion in RK02



Anlage 8 Verlauf der gemessenen Packerschlauchvolumen (inkl. Rohrleitung)

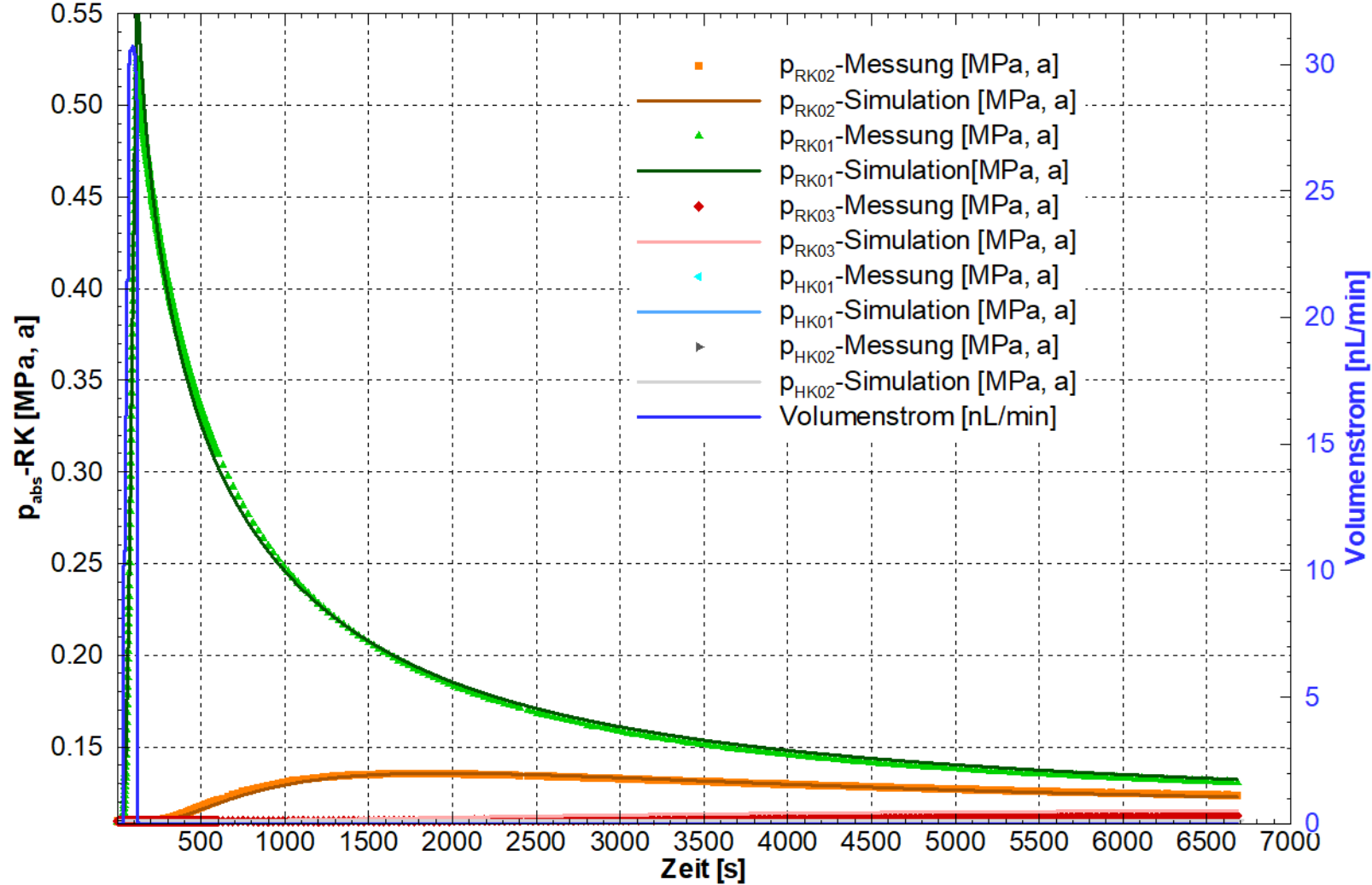


Anlage 9 Verlauf der gemessenen Schlauchkammervolumen (inkl. Rohrleitung)

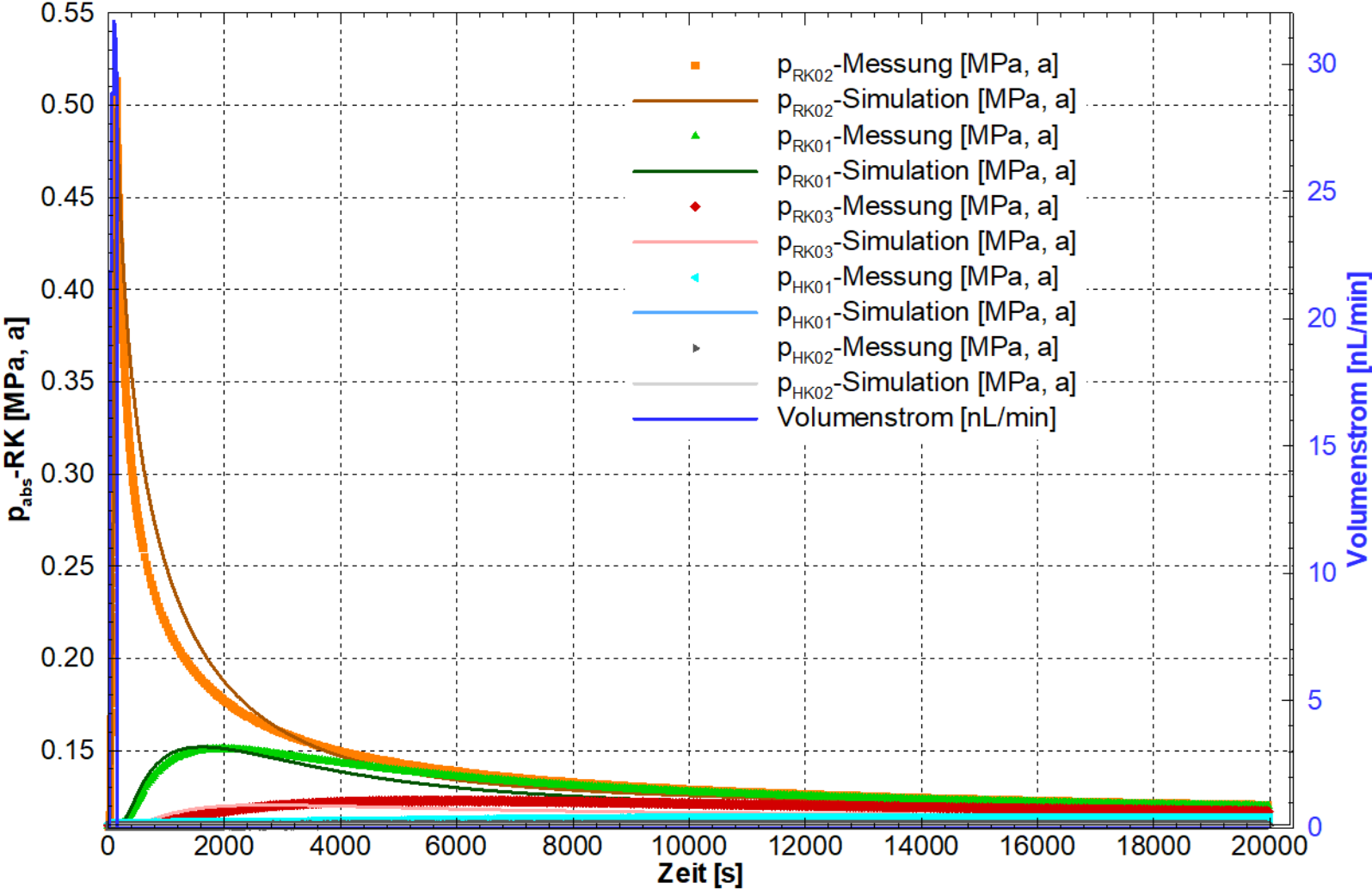


Anlage 10 Auswertung der Tests

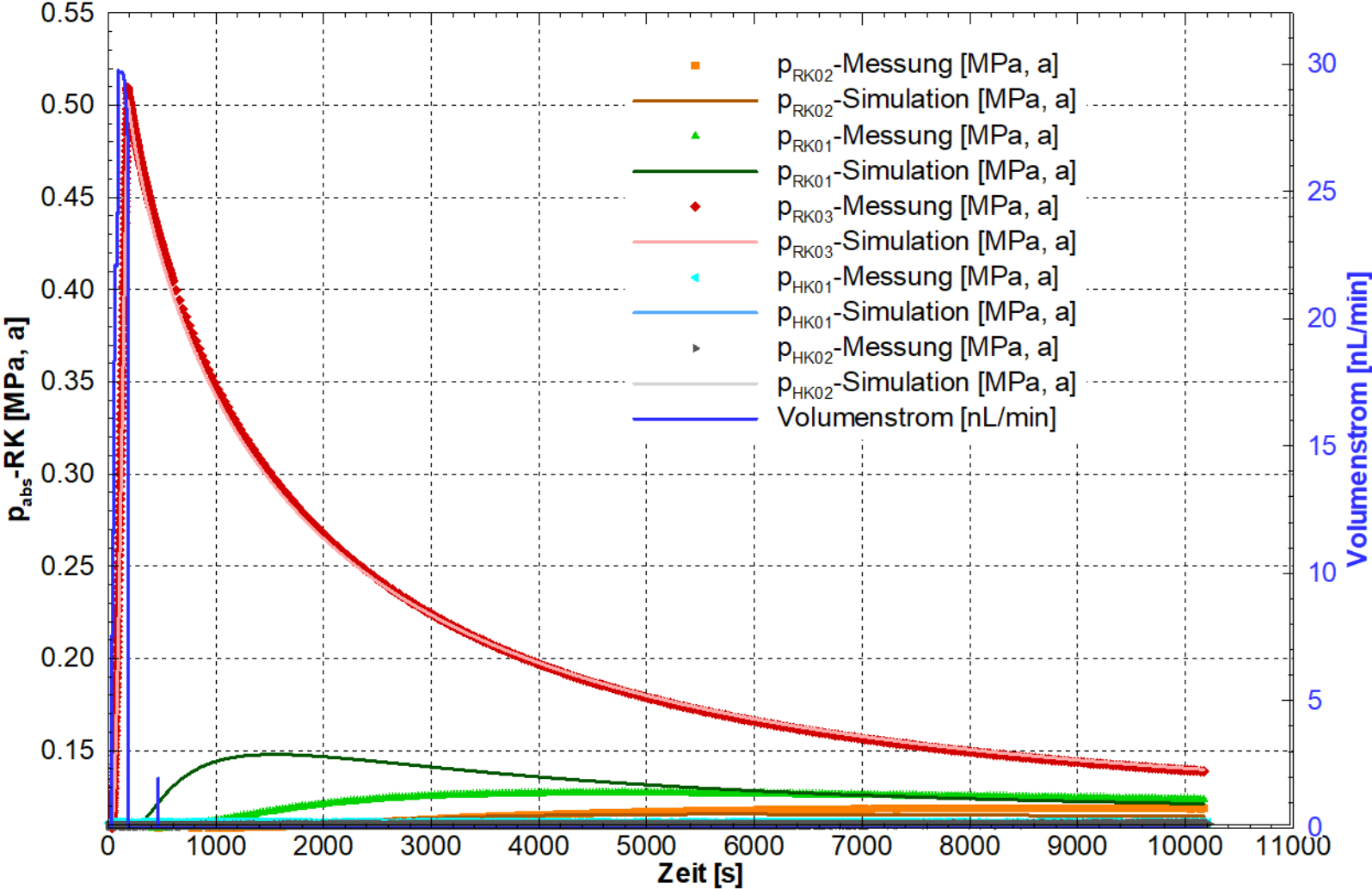
Anlage 10.1 Test der RK01



Anlage 10.2 Test der RK02



Anlage 10.3 Test der RK03



BGE TECHNOLOGY GmbH
Eschenstraße 55
31224 Peine – Germany
T + 49 5171 43-1520
F + 49 5171 43-1506
info@bge-technology.de
www.bge-technology.de