



Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden Basell

14. Dezember 2021

Bearbeitung

Titel	Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden Basell
Auftraggeber	Stadt Köln
Projektleiter	Stefan Wagner
Autor(en)	Stefan Wagner
QS	Doreen Mäurer, Albrecht Bakenhus
Ausführung	Final
Projektnummer	1414959
Anzahl der Seiten	48

Datum 14. Dezember 2021

Unterschrift



TAUW GmbH
Münsters Gäßchen 14
51375 Leverkusen
T +49 21 43 30 10 700
E info.leverkusen@tauw.de

Alle Rechte vorbehalten. Veröffentlichungen und Weitergabe an Dritte sind nur in vollständiger, ungekürzter Form zulässig. Veröffentlichung oder Verbreitung von Auszügen, Zusammenfassungen, Wertungen oder sonstigen Bearbeitungen und Umgestaltungen, insbesondere zu Werbezwecken, nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung der TAUW GmbH.

- Zertifiziert nach DIN EN ISO 9001 (Z1109-DE)
- Akkreditiert nach DIN EN ISO 17025 (D-PL-14439-01-00)
- Zugelassene Untersuchungsstelle nach § 18 BBodSchG und BAM-Anerkennung für Bundesliegenschaften
- Zugelassene Untersuchungsstelle nach § 15 Abs. 4 TrinkwVO
- Sachverständige nach § 18 BBodSchG für die Sachgebiete 1, 2, 5
- Zertifizierter Sanierungsfachplaner / -gutachter Gebäudeschadstoffe gem. GVSS e.V.

Wir engagieren uns für Umweltschutz und Nachhaltigkeit, darum drucken wir auf FSC zertifiziertem Papier.

Inhalt

1	Zusammenfassung	6
2	Einleitung	9
3	Geologie/Hydrogeologie und aktuelle hydraulische Situation	10
4	Hydraulisches Entnahmekonzept Sanierungsanlage	11
5	Ausgangssituation und Entwicklung der PFC-Gehalte im Fahnenverlauf	12
5.1	Zusammenfassung der PFC-Entwicklung	12
5.2	Schadenszentrum	13
5.3	Südlich der Seen	13
5.4	Seen	14
5.5	Nördlich der Seen bis zur Wasserfassung der RheinEnergie	15
6	Grundwassermodellierung	17
6.1	Aufgabenstellung	17
6.2	Aufbau des Grundwassermodells und Kalibrierungsgüte	18
6.2.1	Strömungsmodell	18
6.2.2	Transportmodell	19
6.3	Ergebnisse hydraulische Modellierung	20
6.3.1	Anstromsicherung Seen	20
6.3.2	Abstromsicherung Seen	21
6.4	Ergebnisse Simulation Schadstoffentwicklung	22
6.4.1	Beschreibung Simulationsszenarien	22
6.4.2	Ergebnisse	24
6.4.3	Auswertung	28
7	Kostenschätzung	29
7.1	Anstromsicherung Seen	29
7.1.1	Investitionskosten	29
7.1.2	Laufende Kosten	30
7.1.3	Gesamtkosten	33
7.2	Abstromsicherung Seen	33
7.2.1	Investitionskosten	33
7.2.2	Laufende Kosten	35

7.2.3	Gesamtkosten	37
8	CO ₂ -Emission	38
9	Kosten-/Nutzenanalyse	39
9.1	Anstromsicherung	39
9.2	Abstromsicherung	40
9.3	Nutzenermittlung	41
9.4	Nutzen-Kosten Verhältnis	43
9.5	Aktuell laufende Maßnahmen	43
9.6	Gesamtbeurteilung und Empfehlung.....	44
10	Verwendete Unterlagen.....	46
10.1	Übersicht Berichterstattung	46
10.2	Literatur	47
10.3	Genehmigungen/Behördenbescheide.....	47

Anlage 1	Lageplan
Anlage 2	Geologie (schematisch)
Anlage 3	Grundwassergleichenpläne Untersuchungsgebiet
Anlage 4	Grundwassergleichenpläne Bereich Gastanklager
Anlage 5	Lageplan mit Darstellung des PFC-Monitoring Programms
Anlage 6	Abbildung der PFC-Ganglinien für ausgewählte Grundwassermessstellen
Anlage 7	PFC-Verteilung im Grundwasser
Anlage 8	Lageplan Modellgebiet und Observation Points für Grundwasserstände
Anlage 9	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
Anlage 10	Lageplan Observation Points für Schadstofftransport
Anlage 11	Bestimmung Henry Konstante
Anlage 12	Hydraulische Anstromsicherung Seen
Anlage 13	Hydraulische Abstromsicherung Seen
Anlage 14	PFOS Ausgangskonzentration
Anlage 15	Annahmen zur PFOS-Entwicklung in den Seen
Anlage 16	Ergebnisse Transportmodellierung - Entwicklung der PFOS-Gehalte an den Observation Points
Anlage 17	Kostenschätzungen Netzentwicklungsplan Strom

Anlage 18 Grundlagen zur Abschätzung der CO₂- Emission

Anlage 19 Übersicht Bewertungspunkte

1 Zusammenfassung

Die Basell Polyolefine GmbH betreibt seit 2014 eine Pump-and-Treat-Maßnahme zur Sanierung bzw. Sicherung eines Grundwasserschadens durch Per- und Polyfluorierte Chemikalien (PFC), eingetragen im Bereich des Gastanklager J500. Ziel der Sanierung ist es, den Transport von PFC im Grundwasser aus der Schadstoffquelle zu minimieren [1], [6]. Die Maßnahme wird durch ein umfangreiches Monitoring des Grund- und Oberflächenwassers begleitet, dessen Ergebnisse von der Basell Polyolefine GmbH für die Erstellung dieses Berichtes zur Verfügung gestellt wurden.

An die TAUW GmbH wurde die Anfrage gestellt, anhand einer Kosten-/Nutzenanalyse weitere, ergänzende hydraulische Maßnahmen im direkten Anstrom und/oder Abstrom der Kiesseen südwestlich von Immendorf zu prüfen und die Ausgangssituation für die Entwicklung der Seebelastungen und Belastungen im weiteren Fahnenverlauf bis zum Wasserwerk Hochkirchen zu beschreiben.

Als Ziel der ergänzenden hydraulischen Maßnahmen wird die frühere uneingeschränkte Grundwassernutzung in Immendorf und Rondorf sowie eine Badeseenutzung genannt, wobei die Verhältnismäßigkeit zu betrachten ist.

Ausgangssituation und Entwicklung der PFC-Gehalte im Fahnenverlauf

Als Schadstoffquelle wurde das Gastankfeld J500 auf dem Gelände der Basell Polyolefine GmbH identifiziert [1]. Die hydraulische Pump-and-Treat-Maßnahme wurde deshalb zur Abstromsicherung des Gastanklager J500 ausgelegt. Die in diesem Bericht präsentierten Daten belegen, dass durch die hydraulische Sicherung das Ziel, ein Abströmen der PFC von der Quelle in Richtung Norden zu unterbinden, erreicht wird. Die PFC-Gehalte in den abstromigen Grundwassermessstellen (GWM) zwischen dem Eintragsbereich und den Baggerseen sind rückläufig. Die abnehmende Tendenz im Zufluss der Seen spiegelt sich auch in der Entwicklung der PFC-Gehalte der Seen wider. Diese zeigen ebenfalls sinkende PFC-Konzentrationen. Während des letzten Jahres wurden in den Seen 1, 2, 3 und 4 jeweils die niedrigsten Gehalte seit Beginn des Monitorings gemessen. Durch die sinkenden Gehalte in den Seen gingen auch die PFC-Konzentrationen im Abstrom der Seen zurück. Die Entwicklung der PFC-Konzentrationen deutet weiterhin darauf hin, dass das Maximum des PFC-Peaks die Seen passiert hat und sich nun in abgedämpfter Form weiter nach Norden bewegt. Die Spitze der PFC-Fahne beeinflusst den westlichen Bereich der Wassergewinnungsanlage Hochkirchen der RheinEnergie. Die Konzentrationsverteilung in den Brunnen hängt von der Strömungsrichtung und dem Entnahmeregime der Brunnen ab. Insgesamt weisen die einzelnen Brunnen der Wasserfassung Hochkirchen West PFC-Werte auf, die in einem gewissen Rahmen schwanken. Generell zu oder abnehmende Tendenzen der PFC-Konzentrationen sind jedoch nicht zu erkennen.

Die PFC-Entwicklungen an den Fahnenrändern belegen, dass die Ausdehnung der Fahne relativ konstant ist, wobei es je nach Strömungsrichtung des Grundwassers zu leichten Verschiebungen der Fahne in Ost- bzw. Westrichtung kommen kann.

Ergebnisse Grundwassermodellierung

Mit Hilfe des Grundwassermodells wurden verschiedene Förderszenarien für ergänzende hydraulische Maßnahmen im direkten Anstrom zu den Seen, insbesondere zu See1, simuliert. Es wurde festgestellt, dass eine Anstromsicherung der Seen durch eine Brunnengalerie mit 4 Brunnen und einer Förderrate von 30 m³/h bis 40 m³/h je Brunnen gewährleistet werden kann.

Alternativ zur Anstromsicherung der Seen wurde die Möglichkeit der Abstromsicherung der Seen betrachtet. Um den Abstrom der Seen zu sichern, sind insgesamt mindestens 10 Brunnen notwendig. Je nach Strömungsrichtung beträgt die Gesamtfördermenge zwischen 415 m³/h und 470 m³/h.

Auf Grundlage der Ergebnisse der hydraulischen Modellierung wurde die potentielle Schadstoffentwicklung für verschiedene Szenarien am Beispiel von PFOS simuliert. Ausgangssituation für jedes Szenario war die PFOS-Verteilung vom November 2020. Da über Wechselwirkungsprozesse in Bezug auf PFC in Seen bislang wenig Erkenntnisse und Forschungsergebnisse vorliegen, und im vorliegenden Fall auch nicht bekannt sind, ist eine zuverlässige Berechnung der PFC Entwicklung in den Seen nicht möglich. Um dennoch Aussagen über die PFC-Entwicklung im Abstrom der Seen treffen zu können, wurden verschiedene denkbare Annahmen für die PFC bzw. PFOS Entwicklung in den Seen, mit und ohne Einfluss der Anstromsicherung, getroffen und die daraus resultierenden Ergebnisse miteinander verglichen.

Die Simulationsergebnisse haben gezeigt, dass nach etwa 8,2 Jahren die PFC-Gehalte im Anstrom der Seen dauerhaft unter 100 ng/l liegen. Daraus ist zu schlussfolgern, dass eine hydraulische Sicherung im Anstrom der Seen mindestens 8 Jahre vorzuhalten ist.

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass eine Anstromsicherung ohne Einleitung des gereinigten Wassers in den See1 nur einen geringen Effekt auf die PFC/PFOS-Konzentrationsentwicklung in den Seen zu haben scheint. Deshalb sollte das gereinigte Grundwasser in See1 eingeleitet werden.

Insgesamt zeigen die Simulationsergebnisse, dass eine hydraulische Sicherung den stärksten Einfluss auf die der Sicherung am nächsten gelegenen Messstellen im Fahnenzentrum hat. Je weiter die betrachtete Messstelle von der hydraulischen Sicherung entfernt ist, desto später ist eine Beeinflussung der PFOS-Gehalte in dieser Messstelle zu sehen und desto geringer fällt diese Beeinflussung aus.

Laut Modellrechnung bedeutet dies für die Messstelle Immendorf F# (Messstellenbezeichnung mit # bezieht sich auf observation point im Modell, die Lage der Messstellen ist in Anlage 10 erkennbar) einen PFOS-Gehalt von 126 ng/l am Ende des Simulationszeitraumes (ca. 19,5 Jahre), wenn keine zusätzliche hydraulische Sicherung erfolgt. Bei dem best case Szenario der Anstromsicherung würde der Wert von 126 ng/l bereits 7,9 Jahre früher erreicht, bei der Abstromsicherung der Seen sogar ca. 11 Jahre früher. Für die Messstelle 171A# in Rondorf wurde ein PFOS-Gehalt von

246 ng/l am Ende des Simulationszeitraumes (ca. 19,5 Jahre) berechnet, wenn keine zusätzliche hydraulische Sicherung erfolgt. Bei dem best case Szenario der Anstromsicherung würde dieser Wert nur noch ca. 3,5 Jahre früher erreicht, bei der Abstomsicherung der Seen ca. 5,3 Jahre früher. Bei Messstelle 7353691# nördlich von Rondorf würde der PFOS-Gehalt von 333 ng/l am Ende des Simulationszeitraumes ohne zusätzliche hydraulische Sicherung beim best case Szenario der Anstromsicherung lediglich ca. 2,5 Jahre früher erreicht, bei der Abstomsicherung der Seen ca. 5,3 Jahre früher. In der Fahnen Spitze (Messstelle 7355421#) ist der Unterschied mit 0,3 Jahren für Szenario 2 vernachlässigbar gering.

Kostenschätzung/CO₂-Bilanz

Für die Anstromsicherung ist mit Gesamtkosten von ca. 3,0 bis 3,4 Mio. Euro und einem CO₂-Ausstoß von 2.988 t bis 3.813 t zu rechnen.

Für die Abstomsicherung ist mit Gesamtkosten von mindestens 11,65 bis 12,60 Mio. Euro und einem CO₂-Ausstoß von 13.765 t bis 17.651 t zu rechnen.

Kosten-/Nutzenanalyse

Mit 3,0 bis 3,4 Mio Euro werden die Gesamtkosten für die Anstromsicherung der Seen als moderat eingeschätzt. Auf Grund der Tatsache, dass der Einfluss der Anstromsicherung auf die PFC-Entwicklung in den Seen ungewiss, eine PFC-Belastung des Grundwassers von ca. 100 ng/l im Bereich Rondorf/Hochkirchen bestenfalls nach etwa 20 Jahren und damit nur etwa 4 Jahre früher erreicht wird als ohne zusätzliche Förderung und sich die PFC-Situation bis zum Umsetzten der Maßnahme weiter verbessert haben wird, kann eine Anstromsicherung aus gutachterlicher Sicht nicht empfohlen werden. Betrachtet man zudem den Nutzen-Vergleich ist zu erkennen, dass der quantifizierte Nutzen einer Anstromsicherung mit etwa 8 % nur geringfügig höher ist, als beim Szenario des IST-Zustandes. Dieser geringe Nutzenvorteil steht in keinem Verhältnis zu den zu erwartenden Kosten für die Anstromsicherung, was eindeutig gegen diese Maßnahme spricht.

Mit 11,65 bis 12,6 Mio Euro werden die Gesamtkosten für die Abstomsicherung der Seen als sehr hoch eingeschätzt. Auf Grund der hohen Kosten und der relativ hohen CO₂-Emmision wird eine hydraulische Maßnahme im Abstrom der Seen, auch in Bezug auf die prognostizierten Entwicklungen im weiteren Fahnenverlauf, als unverhältnismäßig angesehen, zumal sich, wie schon oben erwähnt, die PFC-Situation bis zum Umsetzten der Maßnahme weiter verbessert haben wird. Betrachtet man zudem den Nutzen-Vergleich ist zu erkennen, dass der quantifizierte Nutzen einer Abstomsicherung etwa 13 % ebenfalls nur geringfügig höher ist, als beim Szenario des IST-Zustandes. Der geringe Nutzenvorteil steht in keinem Verhältnis zu den zu erwartenden hohen Kosten, was eindeutig gegen diese Maßnahme spricht. Bedenkt man zusätzlich den enormen Aufwand, der zur Entsorgung/Wiedereinleitung des geförderten Grundwassers betrieben werden muss, kann die Umsetzung dieser Maßnahme aus gutachterlicher Sicht keinesfalls empfohlen werden.

2 Einleitung

Die Stadt Köln stellte beim Monitoring von Grundwassermessstellen im April 2010 erhöhte Gehalte an PFOS und PFOA (2.000 ng/l) in der GWM LS_39 nördlich der Basell Polyolefine GmbH, Werk Wesseling, fest. Weiterhin zeigten Untersuchungen der Seen nördlich des Werkes hohe PFOS- und PFOA-Gehalte im Wasser von Kiesseen.

Aus den Ergebnissen umfangreicher Untersuchungen ist abzuleiten, dass das Gastanklager J500 auf dem Werksgelände der Basell Polyolefine GmbH in Wesseling als Eintragsbereich der PFC-Grundwasserverunreinigung anzusehen ist [1]. Hier hat die Werksfeuerwehr von 1975 bis 2004 einmal jährlich Feuerlöschübungen mit Löschschaum durchgeführt. Als Schaummittel wurde bis Anfang der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts das fluorfreie Expyrol F-15 eingesetzt. Danach erfolgte die Verwendung von Lightwater 602. Bei letzterem handelt es sich um ein fluorhaltiges Schaummittel, dessen Hauptwirkstoff der PFC-Einzelstoff Perfluorooctansulfonsäure ist (PFOS). Die Verwendung dieses Schaummittels war übliche Praxis bei der vorbeugenden Brandbekämpfung und entsprach der deutschen Gesetzgebung.

Die vom Gastanklager J500 ausgehende PFC-Fahne erstreckt sich über die Kiesgruben bis zur Ortschaft Rondorf und von dort weiter bis zur Fassungsanlage der Trinkwassergewinnungsanlage Hochkirchen der RheinEnergie AG.

Zur Unterbindung des Transportes von PFC im Grundwasser von der Quelle im Gastanklager J500 (Flüssiggasbehälter) in Richtung Norden wurde eine großtechnische Pump-and-Treat Sanierungsanlage errichtet. Die Inbetriebnahme der Grundwasser-Entnahme und -Reinigungsanlage erfolgte am 31.03.2014. Hierdurch wird über den gesamten Aquifer bei unterschiedlichen hydraulischen Szenarien eine Erfassung der PFC-Belastungen im Grundwasser erreicht. Nördlich der Flüssiggasbehälter ist eine Reduktion der Schadstoffbelastungen zu erkennen, was auf ein Abreißen der Schadstofffahne durch die hydraulischen Maßnahmen hindeutet und den Sanierungserfolg dokumentiert. Damit ist auch eine weiter positive Entwicklung in den nördlich anschließenden Kiesgrubenseen und der Belastungen im Grundwasser zu erwarten.

An die TAUW GmbH wurde die Anfrage gestellt, anhand einer Kosten-/Nutzenanalyse weitere, ergänzende hydraulische Maßnahmen im direkten Anstrom und/oder Abstrom der Seen zu prüfen. Dafür soll

- die Ausgangssituation für die Entwicklung der Seebelastungen und Belastungen im weiteren Fahnenverlauf bis zum Wasserwerk Hochkirchen beschrieben werden,
- unter Zuhilfenahme des von der TAUW GmbH im Auftrag der Basell Polyolefine GmbH entwickelten Grundwassermodells ergänzende hydraulische Maßnahmen im direkten Anstrom zu den Seen und/oder im direkten Abstrom zu den Seen entwickelt werden,
- eine Kostenermittlung für die zusätzlichen erforderlichen hydraulischen Maßnahmen durchgeführt werden und

- im Rahmen einer Kosten-/Nutzenanalyse die Verhältnismäßigkeiten der Maßnahmen zu den Kosten abgeleitet, dargestellt und bewertet werden.

Diese Punkte werden im folgenden Bericht erläutert. Als Grundlage für die Bearbeitung dienen die von der Basell Polyolefine GmbH und RheinEnergie AG zur Verfügung gestellten Daten (u.a. Grundwasserstände und PFC-Konzentrationen) und das von der Basell Polyolefine GmbH zur Verfügung gestellte Grundwassermodell. Als Nutzen wurde die Erreichung von 0,1 µg/l PFC im Grund- oder Seewasser definiert.

3 Geologie/Hydrogeologie und aktuelle hydraulische Situation

Das Untersuchungsgebiet (Anlage 1) liegt westlich des Rheins in der Köln-Bonner Bucht. In diesem rheinnahen Gebiet werden die oberflächennahen Schichten von der Niederterrasse aufgebaut. Es handelt sich hierbei um quartäre Sande mit unterschiedlichen Kiesanteilen oder Kiesen mit wechselnden Sandanteilen (Anlage 2). Dabei können die Kiese auch eigenständige Horizonte bilden. In den tieferen Sedimentlagen können Kiesgerölle auftreten, die Durchmesser von mehreren dm erreichen. Untergeordnet können im wasserführenden Gestein geringer durchlässige, bindige Schichten in Form von Schlufflagen oder Schlufflinsen mit Mächtigkeiten im dm-Bereich ausgebildet sein.

Die Mächtigkeiten dieser grobklastischen Sedimente können großräumig Beträge von 18 – 47 m besitzen. Die Mächtigkeiten dieser quartären Sedimente beträgt im Bereich des Gastanklagers J500 etwa 24 Meter. Den Niederterrassensedimenten lagern lokal alluviale Hochflutschichten in Form von tonig-sandigen Deckschichten von wenigen Metern Mächtigkeit auf.

Die Niederterrassensedimente werden von einigen 100 m mächtigen Abfolgen von tertiären Lockersedimenten unterlagert, die diskordant dem aus Sand- und Kalksteinen bestehenden devonischen Grundgebirge aufliegen.

Die quartären Sedimente besitzen mit Kf-Werten zwischen 3,6E-03 und 1,0E-02 m/s sehr gute Wasserdurchlässigkeiten. Dagegen bilden die liegenden Tertiärsedimente den Grundwasserstauer. Da der Grundwasserspiegel im Gebiet des Gastanklagers J500 in etwa einer Tiefe von 12 m ansteht (Straßenniveau), beträgt die wassererfüllte Mächtigkeit des Grundwasserleiters etwa 12 m.

Die Grundwasserfließrichtung in der Umgebung des Gastanklagers J500 ist dominant nach Norden bis Nord-Nord-Osten gerichtet. Jedoch werden die Fließverhältnisse in starkem Maße durch den Rhein und die Brauchwasserbrunnen der Basell Polyolefine GmbH beeinflusst. Hinzu kommen noch die Variationen des landseitig von Westen zuströmenden Grundwassers. Durch alle drei

Faktoren können erhebliche Abweichungen von der vorherrschend nach Norden und Nordosten gerichteten Fließrichtung auftreten. Im Bereich des Gastanklager J500 treten Grundwasserströmungsrichtungen zwischen Nordwest und Ost auf.

Tabelle 3.1 Häufigkeit der Grundwasserfließrichtungen im Bereich Gastanklager J500

Fließrichtung:	Ost	Nordost	Nord	Nordwest	West
Zeitraum von 1997-2011	22%	37%	28%	12%	1%

Im weiteren Fahrenverlauf wird die Grundwasserfließrichtung zunehmend von der Wasserfassung der RheinEnergie AG in Hochkirchen beeinflusst, so dass auf Grund der dortigen Entnahme das Grundwasser nördlich der Seen in Richtung Norden zur Brunnengalerie der Wasserfassung Hochkirchen fließt. In Anlage 3 sind exemplarisch regionale Grundwassergleichenpläne für mittlere, äußerst niedrige und äußerst hohe Rhein- und Grundwasserstände dargestellt.

Für die Monate November 2020 sowie Februar 2021 sind lokale Grundwassergleichenpläne für den Bereich Gastanklager bis nördlich der Seen erstellt worden (Anlage 4). Von Mai 2020 bis Januar 2021 war die Grundwasserströmung im Bereich des Gastanklager J500 vornehmlich nach Osten gerichtet (Anlage 4/1: Grundwassergleichenplan vom 24.11.2020). Danach schwenkte sie nach Nord bzw. Nordwest (Anlage 4/2: Grundwassergleichenplan vom 08.02.2021). Dies hielt bis zum 04.04.2021 an, bevor sie wieder nach Ost schwenkte.

4 Hydraulisches Entnahmekonzept Sanierungsanlage

Das ursprüngliche hydraulische Konzept zur Steuerung der Förderbrunnen entsprechend der vorliegenden Grundwasserfließrichtung ist im Sanierungskonzept [6] vom 14.11.2013 beschrieben.

Nach den bis Ende 2014 vorliegenden Betriebserfahrungen [9] wurde das hydraulische Konzept überarbeitet und optimiert (Tabelle 4.1). Dieses überarbeitete hydraulische Konzept zur Steuerung der Förderbrunnen wurde seit Ende 2014 angewandt.

Tabelle 4.1 Förderkonzept für verschiedene Grundwasserfließrichtungen ab Ende 2014

Grundwasserfließrichtung	Br.1	Br.2	Br.3	Br.4	Br. 5	Summe
	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h
Ost	10	10	20	20	7	67
Nordost	17	25	25	0	0	67
Nord	40	20	7	0	0	67
Nordwest	40	20	7	0	0	67

Da die Ergebnisse der Grundwasserüberwachung darauf hinwiesen, dass im Bereich der Messstellen GM1 und GM2 noch erhöhte PFC-Konzentrationen vorhanden sind, sollte geprüft werden, ob diese PFC-Belastungen über die bestehenden Sanierungsbrunnen erfasst werden können. Dafür wurde in Absprache mit der Bezirksregierung [31] ab 23.01.2019 die Gesamtfördermenge von summarisch 67 m³/h auf 97 m³/h erhöht. Mit der Ordnungsverfügung vom 18.07.2019 [32] wurde angeordnet, die Erhöhung der Gesamtförderrate für den zusätzlichen Zeitraum von 2 Jahren, längstens jedoch bis zur Erteilung eines unverzüglich zu beantragenden Wasserrechts beizubehalten. Das modifizierte Entnahmekonzept ist in Tabelle 4.2 dargestellt.

Tabelle 4.2 Modifiziertes Entnahmekonzept zur Förderung von insgesamt 97 m³/h ab Januar 2019

Grundwasserfließrichtung	Br.1 m³/h	Br.2 m³/h	Br.3 m³/h	Br.4 m³/h	Br. 5 m³/h	Summe m³/h
Ost	10	30	30	20	7	97
Nordost	25	30	30	12	0	97
Nord	50	30	17	0	0	97
Nordwest	50	30	17	0	0	97

5 Ausgangssituation und Entwicklung der PFC-Gehalte im Fahnenverlauf

Die Ergebnisse der Grundwasserbeprobungen laut Monitoringprogramm (Anlage 5) sind in Anlage 6 als Ganglinien dargestellt und in den Kapiteln 5.1 bis 5.5 textlich beschrieben. Ein Gesamtüberblick der PFC-Fahne liefert die Anlage 7 mit der Isolinien-Darstellung für November 2020.

Zu den folgenden Ausführungen sei angemerkt, dass neben den hydraulischen Effekten die komplexen Wechselbeziehungen von Sorption und Desorption, pH-Wert, Infiltration, Wiedervernäsung usw. Einfluss auf die Entwicklung der PFC-Konzentrationen haben können.

5.1 Zusammenfassung der PFC-Entwicklung

Die PFC-Konzentration im Schadenszentrum liegt aktuell bei ca. 8.230 ng/l in ML1.3. Durch den Sanierungsbetrieb wird ein Abdriften dieser Konzentrationen unterbunden, so dass in den Grundwassermessstellen zwischen dem Tankfeld J500 und den Seen die PFC-Gehalte seit Sanierungsbeginn rückläufig sind. Dies bewirkt, dass die PFC-Konzentrationen, die den Seen zufließen, geringer werden. Die abnehmende Tendenz im Zufluss der Seen spiegelt sich auch in der Entwicklung der PFC-Gehalte der Seen wider. Diese zeigen ebenfalls sinkende PFC-Konzentrationen. Während des letzten Jahres wurden in den Seen 1, 2, 3 und 4 jeweils die niedrigsten Gehalte seit Beginn des Monitorings gemessen.

Durch die sinkenden Gehalte in den Seen, gingen auch die PFC-Konzentrationen im Abstrom der Seen zurück. Im weiteren Fahnenvverlauf zeigt die GWM 7354961 mit etwa 2.841 ng/l die derzeit höchste PFC-Konzentration. Die Entwicklung der PFC-Konzentrationen deutet weiterhin darauf hin, dass das Maximum des PFC-Peaks die Seen passiert hat und sich nun in abgedämpfter Form weiter nach Norden bewegt.

Die PFC-Entwicklungen der GWM an den Fahnenträndern belegen, dass es je nach Strömungsrichtung des Grundwassers zu leichten Verschiebungen der Fahne in Ost- bzw. Westrichtung kommen kann.

Die Spitze der PFC-Fahne beeinflusst den westlichen Bereich der Wassergewinnungsanlage Hochkirchen der RheinEnergie, wobei in der Regel die Brunnen HO8.W, HO9.W und HO10.W die höchsten PFC-Belastungen zeigen. Im Oktober/November 2020 wiesen die Brunnen HO8.W und HO7.W mit 1.016 ng/l bzw. 999 ng/l die höchsten PFC-Gehalte auf. Der Brunnen HO10.W konnte nicht beprobt werden. Die Konzentrationsverteilung in den Brunnen hängt von der Strömungsrichtung und dem Entnahmeregime der Brunnen ab. Insgesamt weisen die einzelnen Brunnen der Wasserfassung Hochkirchen West PFC-Werte auf, die in einem gewissen Rahmen schwanken. Generell zu- oder abnehmende Tendenzen der PFC-Konzentrationen sind jedoch nicht zu erkennen. Das zur Trinkwasserversorgung geförderte Wasser wird durch die RheinEnergie auf Trinkwasserqualität gereinigt. Die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung wird durch die RheinEnergie sichergestellt.

5.2 Schadenszentrum

Die PFC-Konzentrationen im Bereich des Tankfeldes (Schadenszentrum) wird durch die GWM ML1 repräsentiert. In dieser Messstelle wurden aktuell zwei Filterstrecken beprobt, wobei ML1.3 (oberster Filter) die höchsten Gehalte aufweist (Anlage 6/1). Die Konzentrationen schwanken dort seit Inbetriebnahme der Großanlage zwischen 4.540 ng/l (22.11.2018) und 23.010 ng/l (23.02.2016). Die PFC-Konzentration im Schadenszentrum liegt aktuell bei 8.230 ng/l (19.11.2020). Seit Sanierungsbeginn ist bei der Entwicklung der PFC-Gehalte in der GWM ML1.3 nach Mann-Kendal Trendanalyse ein generell rückläufiger Trend erkennbar.

5.3 Südlich der Seen

Nahbereich des Brunnenriegels

Für die Beurteilung des Sanierungsfortschritts wurden insbesondere die nördlich des Gastanklagers gelegenen GWM GM1 - 3 und die östlich des Tanklagers liegende GWM ML5.3 betrachtet. Aufgrund der Lage der Messstellen GM1 - 3 im Bereich der unteren Kulmination der Grundwasserentnahmen werden zusätzlich die Messstellen an der Kerkrader Straße (siehe unten) in die Betrachtung einbezogen.

Wie in [14], [16], [17], [18], [19], [20] dargelegt ist zu beobachten, dass mit Einsetzen der östlichen Strömungsrichtung die PFC-Gehalte in GM1, GM2, GM3 (mit einer Filterstrecke über den gesamten Aquifer) und ML5.3 (Filterstrecke nur im oberen Teil des Aquifers) zeitlich versetzt ansteigen

und mit Einsetzen der nördlichen bis nordwestlichen Strömungsrichtung wieder fallen (Anlage 6/2).

Der zeitliche Versatz der Anstiege der PFC-Konzentrationen bei östlicher Strömungsrichtung deutet darauf hin, dass die PFC-Gehalte in GM2, GM3 und ML5.3 aus dem Bereich des GM1 kommen. Um auch diese Gehalte zu fassen wurde die Förderrate am 23.01.2019 auf 97 m³/h erhöht. Die PFC-Gehaltsentwicklungen in den Messtellen GM3 und insbesondere ML5.3 zeigen, dass durch die erhöhte Förderung der Abstrom der nördlich des Sicherungsriegels aus der Zeit vor Inbetriebnahme der Sicherungsbrunnen vorkommenden PFC-Belastungen erfasst wird. Aktuell (März 2021) liegen die PFC-Gehalte in GM1 bei 380 ng/l, in GM2 bei 420 ng/l, in GM3 bei 800 ng/l und in ML5.3 bei 30 ng/l.

Kerkrader Straße (Werksgrenze)

Die Grundwassermessstellen entlang der Kerkrader Str. (1962 – 1965, GM4, GM5) zeigen einen Ost-West-Schnitt durch die PFC-Fahne. Im Westen befindet sich die GWM 1965 (aktuell 140 ng/l) und im Osten die GWM 1962 (aktuell 910 ng/l). Die Grundwassermessstelle 1964 wurde durch die GM4 und die Messstelle 1963 durch die GM5 ersetzt. In 1963 lagen die PFC-Konzentrationen zu Sanierungsbeginn bei 6.320 ng/l und in 1964 bei 6.550 ng/l. Aktuell zeigen die GM4 und GM5 PFC-Konzentrationen von 360 ng/l bzw. 390 ng/l. Alle Messstellen im Bereich der Kerkrader Str. zeigen seit Sanierungsbeginn eine deutliche Abnahme der PFC-Gehalte (Anlage 6/3).

Anstrom Seen

Die unmittelbar südlich von See 2 gelegene GWM ML2.3 weist PFC-Gehalte von aktuell 320 ng/l auf (Anlage 6/3). Die prozentuale Zusammensetzung der PFC von GWM ML2.3 unterscheidet sich jedoch deutlich von der PFC-Zusammensetzung der Schadensquelle (Anlage 6/9) was darauf hindeutet, dass die Ursache für diese PFC-Belastung möglicherweise nicht die Feuerlöschübungen am Gastanklager J500 sind. Die weiter westlich im Anstrom an See 2 gelegene Messstelle 76502510 (Anlage 5) weist seit Ende 2014 PFC-Gehalte von maximal 50 ng/l, im Jahr 2020 maximal 20 ng/l auf.

Die GWM ML3.3 liegt südlich von See 1 und hat aktuell PFC-Gehalte von 460 ng/l, dabei ist seit Anfang 2015 eine deutliche Abnahme der PFC-Gehalte zu erkennen. Zuletzt lagen die Werte zwischen 460 ng/l (November 2020) und 1.120 ng/l (Mai 2020). Die südöstlich von See 1 gelegene GWM ML4.3 zeigte zuletzt PFC-Konzentrationen zwischen 200 ng/l (Mai 2020, geringster PFC-Gehalt seit Beginn des Monitorings im Februar 2012, Anlage 6/3) und 360 ng/l (November 2020).

5.4 Seen

In den Seen treten aktuell die höchsten PFC-Gehalte in See 4 (2.010 ng/l, November 2020) und die niedrigsten im See 2a (30 ng/l, November 2020) auf. Der See 2a ist durch die Verlängerung der Landzunge von See 2 (Nord nach Süd), durchgeführt von der Firma Horst im April/Mai 2014, von See 2 abgetrennt worden. Seit Februar 2016 schwanken die Gehalte in See 2a zwischen 10 ng/l und 50 ng/l. Es ist davon auszugehen, dass die Gehalte der anderen Seen in Zukunft ebenfalls nicht unter diese Werte sinken werden.

Der See 1 weist seit Mai 2015 sinkende PFC-Konzentrationen auf und zeigte im November 2020 PFC-Werte von 1.750 ng/l, zusammen mit dem Mai Wert von 1.840 ng/l sind dies die geringsten PFC-Gehalt seit Beginn des Monitorings im Februar 2011. Im See 2 ist eine kontinuierliche Abnahme der PFC-Gehalte festzustellen, im Mai 2020 lagen die Konzentrationen bei 140 ng/l, im November wurden 410 ng/l gemessen, die weitere Entwicklung sollte beobachtet werden. In See 3 und See 4 zeichnen sich seit April 2014 ebenfalls fallende PFC-Konzentrationen ab (Anlage 6/4), wobei vereinzelt Peaks gemessen werden. Im November 2020 wurde in See 3 mit 390 ng/l und in See 4 mit 2.010 ng/l jeweils der geringste PFC-Gehalt seit Beginn des Monitorings im Februar 2011 gemessen. In See 5 deutet sich seit Juli 2016 eine leicht rückläufige Tendenz der PFC-Gehalte an, aktuell treten PFC-Gehalte von 1.720 ng/l auf. Da die PFC-Konzentrationen im Abstrom an diese Seen generell auch rückläufig sind, ist mit einem Anhalten der sinkenden Trends in den Seen zu rechnen.

Die Transport-, Abbau- und Sorptionsprozesse, denen die PFC in stehenden Gewässern unterliegen, sind weiterhin kaum wissenschaftlich untersucht. So ist zum Beispiel wenig über die PFC-Aufnahme und wieder Freigabe durch Organismen (z.B. Fische, Wasserpflanzen) bekannt, ebenso über die Wechselwirkung zwischen PFC im Wasser und im Sediment. Bekannt ist, dass insbesondere PFOS und langkettige PFC an Sedimenten gebunden sein können.

Als Indikator für die in den Seen ablaufenden Prozesse wird die PFC-Konzentration des Seewassers überwacht. In den Seen 1 bis 5 ist eine Abnahme der PFC-Gehalte zu verzeichnen und es sind keine Tailingeffekte erkennbar, weshalb die genaue Kenntnis der jeweiligen Wirksamkeit der oben beschriebenen einzelnen Prozesse für die derzeitige Betrachtung von untergeordneter Bedeutung ist.

5.5 Nördlich der Seen bis zur Wasserfassung der RheinEnergie

Abstrom Seen

Zur Beurteilung der Entwicklung der PFC-Konzentrationen im Abstrom der Seen wird die GWM 7667371 herangezogen. Diese Messstelle zeigt seit April 2014 (6.000 ng/l) sinkende PFC-Gehalte (Anlage 6/5). Im November 2020 lag die PFC-Konzentration dort bei 770 ng/l und somit auf dem niedrigsten Niveau seit Beginn der Untersuchungen im April 2010.

Fahnenzentrum

Im Fahnenzentrum werden die GWM 27957851, 7353841, 7354961 und 7353691 beobachtet. Die am südlichsten gelegene GWM 27957851 zeigt aktuell PFC-Gehalte von 1.100 ng/l. Insgesamt ist in dieser Messstelle ein rückläufiger Trend der PFC-Werte zu erkennen, wobei diese je nach Strömungsrichtung stärkeren Schwankungen unterliegen. Die weiter im Norden in der Hauptfließrichtung liegende GWM 7354961 weist mit aktuell 2.841 ng/l die höchsten PFC-Gehalte dieses Fahnenabschnittes auf. Dort sind die PFC-Konzentrationen von Anfang 2012 bis Mai 2015 zunächst kontinuierlich von ca. 600 ng/l auf etwa 2.000 ng/l angestiegen, lagen dann bis Februar 2018 relativ konstant bei 2.000 ng/l und zeigen seitdem stärkere Schwankungen um die 2.500 ng/l. Die

nördlichste Messstelle im Fahnenzentrum ist die 7353691, die zuletzt PFC-Gehalte von 313 ng/l (Mai 2020) bis 1.050 ng/l (Februar 2021) zeigte (Anlage 6/5).

Die nordwestlich gelegene GWM 7353841 zeigte seit Mitte 2015 sinkende PFC-Gehalte. Die seit Ende 2012 bis Mitte 2015 konstanten PFC-Konzentrationen von ca. 2.300 ng/l gingen bis Dezember 2017 auf 357 ng/l zurück. Aufgrund der nordwestlichen Strömungsrichtung Anfang 2018 sind die Gehalte im Februar 2018 wieder auf 729 ng/l gestiegen und mit Einsetzen der nordöstlichen Strömungsrichtung bis Februar 2019 wieder auf 376 ng/l gesunken. Im Jahr 2019 bis April 2020 herrschten nord- bzw. nordwestliche Strömungsrichtungen vor und die Gehalte stiegen bis Juli 2020 auf 1.999 ng/l an. Aktuell (Februar 2021) liegen sie bei 1.053 ng/l.

Östlicher Fahnenrand

Zur Abgrenzung der Ostflanke der PFC-Fahne werden seit August 2015 die GWM 7653151, 7653131 und 7040591 auf PFC untersucht. Je nach Strömungsrichtung schwanken die PFC-Konzentrationen in 7653151 und 7653131 seit Mitte 2016 zwischen unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze und 100 ng/l bzw. in GWM 7040591 zwischen 170 ng/l und 1.150 ng/l. Aktuell (November 2020) liegen die Gehalte in GWM 7653151 bei 40 ng/l, in GWM 7653131 bei 10 ng/l und in GWM 7040591 bei 440 ng/l.

Westlicher Fahnenrand

Die Westflanke der Fahne wird im Süden durch die GWM 27957741, im Zentrum durch die GWM 7040561 und im Norden durch die GWM 7353701 beobachtet (Anlage 6/5 und Anlage 5). Die GWM 27957741 zeigt PFC-Gehalte, die zwischen unterhalb der Bestimmungsgrenze und 340 ng/l schwanken (Anlage 6/6). Die Schwankungen sind auf die unterschiedlichen Strömungssituationen zurückzuführen. Bei nördlicher und nordöstlicher Strömung sind die PFC-Gehalte in dieser Messstelle gering (< 50 ng/l) bei nordwestlicher Grundwasserströmung können die PFC-Konzentrationen zeitweise über 250 ng/l ansteigen. Zuletzt lagen PFC-Gehalte zwischen 20 ng/l (Mai 2020) und 70 ng/l (November 2020).

Die GWM 7040561 wurde im Juni 2016 wieder in das Monitoring-Programm aufgenommen und wies zu diesem Zeitpunkt einen PFC-Gehalt von 161 ng/l auf. Bis November 2018 sind sie auf 22 ng/l zurückgegangen (Anlage 6/6). Seit Juni 2019 ist wieder ein Anstieg zu erkennen. Zuletzt lagen PFC-Gehalte zwischen 67 ng/l (Mai 2020) und 104 ng/l (Februar 2021).

Die GWM 7353701 zeigt PFC-Gehalte zwischen unterhalb der Bestimmungsgrenze und 247 ng/l (Mai 2020, Anlage 6/5). Diese Schwankungen sind auf die unterschiedlichen Strömungsrichtungen zurückzuführen. Ein eindeutiger Trend der PFC-Entwicklung ist in der GWM 7353701 nicht abzuleiten.

Fahnen spitze/Wasserfassung RheinEnergie

Zur besseren Beurteilung der Situation in der Fahnen spitze wurden nach dem Termin mit der Bezirksregierung Köln, Bereich Altlasten/Boden, am 10.02.2017 die Messstellen 7353701, 7350761, 7355421, 7355431 und 7355411 in das Monitoringprogramm aufgenommen. Die Probenahme

und Analytik an diesen Messstellen erfolgt durch die RheinEnergie. Die PFC-Gehalte der Beprobung vom November 2020 sind in Anlage 7 dargestellt. In 7355411 und 7355421 sind seit Ende 2015 strömungsabhängig starke Schwankungen der PFC-Konzentrationen zwischen 59 ng/l und 661 ng/l bzw. 314 ng/l und 2.183 ng/l zu verzeichnen (Anlage 6/5). Im Februar 2021 lagen die PFC-Konzentrationen in 7355411 bei 77 ng/l und in 7355421 bei 938 ng/l. Die PFC-Gehalte in 7355431 schwanken zwischen 60 ng/l und 450 ng/l und weisen bislang keinen Trend auf (Anlage 6/7). Die PFC-Konzentrationen in 7350761 (Anlage 6/7) stiegen von 239 ng/l im Februar 2019 auf 1.714 ng/l im Februar 2020 an danach gingen sie auf 524 ng/l im August 2020 zurück. Aktuell (Februar 2021) liegen die PFC-Werte bei 1.048 ng/l. Die Konzentration in dieser Messstelle ist abhängig von der Grundwasserströmungsrichtung und der Fahrweise der RheinEnergie-Brunnen.

Die Spitze der PFC-Fahne beeinflusst den westlichen Bereich der Wassergewinnungsanlage Hochkirchen der RheinEnergie. Die 12 Brunnen der Wasserfassung Hochkirchen West sind aufsteigend von Ost nach West durchnummeriert. Zur Bewertung der PFC-Konzentrationen in der Wasserfassung wurden von der RheinEnergie die PFC-Daten ab März 2015 zur Verfügung gestellt (Anlage 6/8). Die Daten zeigen, dass in der Regel die Brunnen HO8.W, HO9.W und HO10.W die höchsten PFC-Konzentrationen innerhalb der Brunnengalerie aufweisen. Im Oktober/November 2020 wiesen die Brunnen HO8.W und HO7.W mit 1.016 ng/l bzw. 999 ng/l die höchsten PFC-Gehalte auf. Der Brunnen HO10.W konnte nicht beprobt werden. Insgesamt lagen die PFC-Gehalte im Oktober/November 2020 zwischen unterhalb der Bestimmungsgrenze (H11.W) bis maximal 1.016 ng/l (HO8.W). Die Konzentrationsverteilung in den Brunnen hängt von der Strömungsrichtung und dem Entnahmeregime der Brunnen ab. Insgesamt weisen die einzelnen Brunnen der Wasserfassung Hochkirchen West PFC-Werte auf, die in einem gewissen Rahmen schwanken. Generell zu oder abnehmende Tendenzen der PFC-Konzentrationen sind jedoch nicht zu erkennen. Das zur Trinkwasserversorgung geförderte Wasser wird durch die RheinEnergie auf Trinkwasserqualität gereinigt. Die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung wird durch die RheinEnergie sichergestellt.

6 Grundwassermodellierung

6.1 Aufgabenstellung

Unter Zuhilfenahme des von Seiten der TAUW GmbH im Auftrag der Basell Polyolefine GmbH entwickelten Grundwassermodells sind ergänzende hydraulische Maßnahmen im direkten Anstrom zu den Seen (im Wesentlichen See 1, aktuelle Fahnenbreite ist zu beachten, die Betrachtung sollte auf eine Fahnenbreite mit Konzentrationen in Höhe von 0,1 µg/l beschränkt werden) und/oder im direkten Abstrom zu den Seen zu entwickeln. Für die Auswirkungen der Schadstoffentwicklungen in den Seen sind zwei bis drei Szenarien zu entwickeln und darauf aufbauend die Schadstoffentwicklungen im weiteren Fahnenverlauf zu berechnen und darzustellen. Hierbei sind insbesondere die Zeitverläufe zu betrachten und zu quantifizieren. Die Berechnung der Schadstoffentwicklung mit Hilfe des Modells kann auf Grund der unterschiedlichen Eigenschaften in der Stoffgruppe der Per- und Polyfluorierten Substanzen PFC immer nur stoffspezifisch

erfolgen. Es wird bei der Schadstoffentwicklung daher exemplarisch PFOS als Hauptbestandteil der PFC-Fahne herangezogen

6.2 Aufbau des Grundwassermodells und Kalibrierungsgüte

6.2.1 Strömungsmodell

Für die Basell Polyolefine GmbH wurde mit Hilfe des Programms Feflow ein dreidimensionales Grundwassermodell für instationäre Verhältnisse erstellt, um auf der Basis eines besseren Verständnisses der standortspezifischen Grundwasserhydraulik die Sanierung zu planen und zu optimieren. Das Grundwasserströmungsmodell hat im Vergleich zum Basell Polyolefine GmbH Werksgelände eine größere Ausdehnung (Anlage 8) und wurde von der Basell Polyolefine GmbH zur Bearbeitung der vorliegenden Aufgabenstellung zur Verfügung gestellt.

Um eine möglichst gute Anpassung an die gewählten Ränder, insbesondere den Rhein, zu erreichen, wurde ein Finite-Elemente (FE) Netz aus Dreiecken bzw. Prismen erstellt.

Das Grundwassermodell ist aufgebaut aus 4 Schichten mit 5 Ebenen und enthält insgesamt 93.720 Netz-Elemente mit 59.565 Netz-Knotenpunkten.

Im Modellgebiet werden 81 Beobachtungsmessstellen (Observation points) ausgewertet. An diesen Punkten werden die vom Modell berechneten Grundwasserstände separat aufgezeichnet und gespeichert (Anlage 8).

Aufgrund des hochtransienten hydraulischen Systems, insbesondere durch den Rhein bedingt, ist es nicht möglich einen mittleren hydraulischen Systemzustand zu definieren, anhand dessen ein Grundwassermodell für stationäre hydraulische Verhältnisse kalibriert werden könnte. Deshalb wurde das Grundwasserströmungsmodell für transiente Verhältnisse kalibriert, wobei der Kalibrierungszeitraum vom 01.11.1997 bis 31.05.2017 reicht.

Der Rhein bildet die östliche Berandung, deren Wirkungsweise (In-/Exfiltration) von der Grundwasserspiegelhöhe und dem Rheinwasserstand abgeleitet werden. Die räumliche Lage der Berandung ist, mit Ausnahme bei extremen Hochwasserereignissen, durch das Flussbett vorgegeben (Anlage 8). Auf der Grundlage von Grundwassergleichenplänen unterschiedlicher hydraulischer Situationen konnte im Süden und Westen entlang einer Linie südlich von Wesseling nach Nordwest über Keldenich, Brühl, Hürth – Kalscheuren eine Modellgrenze mit überwiegendem Zufluss identifiziert werden (Anlage 8). Die nördliche Berandung wird durch eine hydraulische Grenze zwischen den Entnahmebrunnen des Wasserwerkes Hochkirchen der RheinEnergie AG und der BAB A4 gebildet. Die Basis des Modells wird durch die tertiären Tone (TON1 und TON3, Anlage 2) gebildet.

Aufgrund der, durch den Rhein induzierten, sehr hohen Dynamik mit sehr schneller Veränderung des Wasserspiegels musste eine feine zeitliche Diskretisierung realisiert werden. Für den Rhein liegen tägliche Wasserstandsdaten vor, weshalb die Zeitschrittlänge von einem Tag im Grundwassermodell gewählt wurde.

Ein Qualitätskriterium für die Kalibrierung ist die Differenz zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen in den Beobachtungsmessstellen. Da es sich hier um ein transientes System handelt, gilt es zudem, die Ganglinien der gemessenen Grundwasserstände mit seinen Amplituden nachzuvollziehen. Weiterhin ist es wichtig, die gemessenen hydraulischen Gradienten, Grundwasserfließgeschwindigkeiten und Strömungsrichtungen nachzurechnen.

Um die Güte der Kalibrierung zu beurteilen, wurden an 63 über das Modelgebiet verteilten Grundwassermessstellen die gemessenen und die berechneten Grundwasserganglinien verifiziert (Anlage 9). Die Lage der Grundwassermessstelle ist in Anlage 8 dargestellt.

Insgesamt zeigen die berechneten und gemessenen Grundwasserganglinien eine gute Übereinstimmung, so dass die Kalibrierung des Modells ebenfalls als gut bewertet werden kann.

Feflow ist ein auf Grundwassermodellierung spezialisiertes Programm. Prozesse die in Oberflächengewässern ablaufen, können mit diesem Programm nicht berechnet werden.

6.2.2 Transportmodell

Zur Berechnung der Schadstoffentwicklungen wurde das Grundwasserströmungsmodell zu einem Transportmodell erweitert. Auf Grund der unterschiedlichen Stoffeigenschaften der PFC wurde PFOS als Leitsubstanz für die Schadstoffentwicklung gewählt, da PFOS eine der Hauptkomponenten des PFC-Spektrums der Fahne darstellt und durch u.a. die hohe Kettenlänge besser von den Feststoffen (z.B. Sanden und Kiesen) des Grundwasserleiters sorbiert wird als andere PFC und demzufolge im Vergleich zu den anderen PFC verhältnismäßig langsam transportiert wird. Somit ist PFOS aus gutachterlicher Sicht, insbesondere in Bezug auf die zeitliche Länge der PFC-Belastung, die relevante zu betrachtende Substanz.

Zur Beschreibung der Gleichgewichtssorptionsprozesse wurde im Modell die lineare Henry-Isotherme verwendet. Die Henry-Sorptionsisotherme ist definiert als

$$C_s = \kappa \times C_f$$

C_s : Konzentration der absorbierten Spezies (Speziesmasse pro Feststoffvolumen)

C_f : Konzentration der gelösten Spezies (Speziesmasse pro Flüssigkeitsvolumen)

κ : Henry-Konstante (dimensionslos)

Der Eingabeparameter im Modell ist die Henry-Konstante κ . Zur Ermittlung der Henry-Konstante wurden diverse Modellläufe für die Jahre 2011 bis 2017 mit unterschiedlichen κ -Werten durchgeführt. Für die Jahre 2011 bis 2017 (Ende des Modellzeitraums) liegen gemessene PFOS-Werte für die Seen und die im Abstrom der Seen liegenden Grundwassermessstellen vor. Im Modell wurden die gemessenen PFOS-Entwicklungen als Randbedingung 1. Art für die Seen eingegeben, die somit im Modell als PFOS-Quelle definiert. Die durch das Modell berechneten PFOS-Gehalte ausgewählter Messstellen im Abstrom der Seen (Fahnenverlauf) bzw. deren zeitliche Entwicklung wurde dann mit den gemessenen PFOS-Gehalten dieser Messstellen verglichen (Anlage 10). Die Modellergebnisse zeigen, dass mit dem Wert 0,2 für die Henry-Konstante insgesamt,

insbesondere aber im Fahnenzentrum, die plausibelsten Ergebnisse erreicht werden konnten (Anlage 11, bei Immendorf F# $\kappa = 0,5$ bestes Fitting, bei 7355421# $\kappa = 0,1$ bestes Fitting). Somit wurde die Henry-Konstante mit 0,2 festgelegt.

Eine weitere Größe für die Ausbreitung der Schadstoffe ist die Dispersivität. Sie ist im Modell eingeführt, um die Auswirkungen von Inhomogenitäten zu berücksichtigen, die in den Modelleigenschaften nicht berücksichtigt sind. Dies sind zum einen mikroskalige Inhomogenitäten wie Porenrichtungen, die nicht parallel zur Strömungsrichtung verlaufen, zum anderen auch makroskalige Eigenschaften wie Schichtstrukturen und Linsen, die aufgrund fehlender Kenntnisse und Modelldiskretisierung nicht berücksichtigt werden. Die Dispersivität ist im Wesentlichen eine gesteinskennzeichnende Größe, doch hängt sie als Folge der Makro-Dispersion auch von der Länge der Fließstrecke ab. Die Dispersivität von Porengrundwasserleitern (Sande und Kiese) liegt im Bereich von 0,1 bis 100 m.

Die Makro-Dispersion wird in FEFLOW standardmäßig durch eine lineare Ficksche Beziehung behandelt, die eine longitudinale Dispersionslänge (in Strömungsrichtung) und eine transversale Dispersion (senkrecht zur Strömungsrichtung) unterscheidet.

Im Modell wurde für den Grundwasserleiter die longitudinale Dispersion mit 10 m und die transversale Dispersion mit 1 m festgelegt.

Da PFOS keinem Abbau unterliegt, wurden auch keine Abbauparameter definiert. Die Molekulare Diffusion spielt im Vergleich zur Dispersion nur eine untergeordnete Rolle. Sie wurde im Modell mit $1 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ determiniert. Die Porosität beträgt 0,21.

6.3 Ergebnisse hydraulische Modellierung

6.3.1 Anstromsicherung Seen

Mit Hilfe des Grundwassermodells wurden verschiedene Förderszenarien für ergänzende hydraulische Maßnahmen im direkten Anstrom zu den Seen, insbesondere zu See1, simuliert (Anlage 12). Dabei wurde zu Grunde gelegt, dass insbesondere zu See1 keine weiteren PFC von Süden her zuströmen sollen und die hydraulische Anstromsicherung die Konzentrationen von mehr als $0,1 \mu\text{g/l}$ PFC in der aktuellen Fahne so weit wie möglich erfasst.

Wie bereits oben erwähnt, weist die Grundwasserströmungsrichtung in dem betrachtenden Bereich aufgrund der Nähe und somit des Einflusses des Rheins eine sehr hohe Dynamik auf, so dass im Anstrom der Seen Grundwasserströmungsrichtungen von Ost bis Nordwest auftreten können. In Anlage 12 sind die Zustromlinien zu den potentiellen Förderbrunnen bei den verschiedenen hydraulischen Situationen für die Grundwasserfließrichtungen Ost, Nordost, Nord und Nordwest dargestellt. Für diese Strömungssituationen wurde jeweils ein repräsentativer Stichtag aus dem Modellzeitraum zur Darstellung der Wirksamkeit der hydraulischen Maßnahme für die entsprechende Grundwasserfließrichtung gewählt (Tabelle 6.1).

Tabelle 6.1 Stichtage für Grundwasserfließrichtung Anstrom Seen

Grundwasserfließrichtungen	Repräsentativer Stichtag
Ost	12.11.2015
Nordost	03.05.2004
Nord	12.04.2016
Nordwest	20.03.2002

Wie in Anlage 12/1 zu erkennen ist, sind 3 Brunnen mit einer Förderrate von je 20 m³/h nicht ausreichend, um einen PFC-Eintrag im Anstrom der Seen vollständig zu unterbinden.

Durch eine hydraulische Maßnahme mit 4 Brunnen mit einer Förderrate von je 30 m³/h kann der Anstrom von mit über 0,1 µg/l PFC belastetem Grundwasser zu den Seen bei östlicher, nordöstlicher und nördlicher Strömungsrichtung unterbunden werden. Bei nordwestlicher Grundwasserströmung ist jedoch eine Lücke im Sicherungsriegel zu erkennen, so dass bei diesem Förderszenario bei nordwestlicher Strömungsrichtung noch PFC-haltiges Grundwasser in die Seen gelangen würde (Anlage 12/2).

Mit einer Erhöhung der Förderrate von 30 m³/h auf 40 m³/h je Brunnen (bei 4 Brunnen) kann auch bei nordwestlicher Strömungsrichtung ein Anstrom PFC-haltigen Grundwassers in die Seen unterbunden werden (Anlage 12/3).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass eine Anstromsicherung der Seen durch eine Brunnengalerie mit 4 Brunnen gewährleistet werden kann. Hierbei sollte die Förderung aus den einzelnen Brunnen, je nach Strömungsrichtung des Grundwassers, zwischen 30 m³/h und 40 m³/h betragen. Dabei strömt den Brunnen nicht nur Grundwasser zu, sondern auch Uferfiltrat aus dem See1.

6.3.2 Abstomsicherung Seen

Alternativ zur Anstromsicherung der Seen wurde die Möglichkeit der Abstomsicherung der Seen betrachtet. Dabei wurde zu Grunde gelegt, dass insbesondere keine PFC-Konzentrationen über 0,1 µg/l (aktuelle Fahnenabgrenzung) weiter Richtung Norden abströmen.

Im Abstrom der Seen weist die Grundwasserströmung eine etwas geringere Dynamik aus als im Anstrom, so dass im Abstrom der Seen Grundwasserströmungsrichtungen von Nordost bis Nordwest auftreten können. In Anlage 13 sind die Zustromlinien zu den potentiellen Förderbrunnen bei den verschiedenen hydraulischen Situationen für die Grundwasserfließrichtungen Nordost, Nord und Nordwest dargestellt. Für diese Strömungssituationen wurde jeweils ein repräsentativer Stichtag aus dem Modellzeitraum zur Darstellung der Wirksamkeit der hydraulischen Maßnahme für die entsprechende Grundwasserfließrichtung gewählt (Tabelle 6.2).

Tabelle 6.2 Stichtage für Grundwasserfließrichtung Abstrom Seen

Grundwasserfließrichtungen	Repräsentativer Stichtag
Nordost	10.08.2006

Grundwasserfließrichtungen	Repräsentativer Stichtag
Nord	15.02.2007
Nordwest	19.01.2011

Um den Abstrom der Seen zu sichern, sind, im Vergleich zur Anstromsicherung der Seen, mehr Brunnen und deutlich höhere Fördermengen erforderlich (Tabelle 6.3). Insgesamt sind mindestens 10 Brunnen zur Abstromsicherung notwendig, wobei in Abhängigkeit von der Strömungsrichtung nicht immer alle 10 Brunnen in Betrieb sein müssen. In Anlage 13 ist zu erkennen, dass z.B. bei Nordwestströmung die Brunnen 6 und 1 und bei Nordostströmung die Brunnen 9 und 10 nicht unbedingt betrieben werden müssen, um den Abstrom zu sichern. Je nach Strömungsrichtung beträgt die Gesamtfördermenge deshalb zwischen 415 m³/h bis 470 m³/h.

Tabelle 6.3 Förderregime Abstrom Seen

Brunnen	Strömungsrichtung Nordost [m³/h]	Strömungsrichtung Nord [m³/h]	Strömungsrichtung Nordwest [m³/h]
1	90	0	0
2	80	70	70
3	60	60	60
4	60	60	60
5	65	65	65
6	45	0	0
7	30	30	30
8	40	40	40
9	0	30	30
10	0	60	60
Gesamt	470	415	415

6.4 Ergebnisse Simulation Schadstoffentwicklung

6.4.1 Beschreibung Simulationsszenarien

Auf Grundlage der Ergebnisse der hydraulischen Modellierung wurde die potentielle Schadstoffentwicklung für verschiedene Szenarien am Beispiel von PFOS simuliert.

Ausgangssituation für jedes Szenario war die PFOS-Verteilung vom November 2020. Diese wurde als Ausgangskonzentration für die Grundwasserbelastung für Tag 1 in das Modell eingegeben (Anlage 14). Auf Grund der gewählten Abstufung der Ausgangskonzentrationen kommt es bei der Berechnung der PFOS-Gehalte in den ausgewählten Observation Points durch Schwankungen der Fließrichtung besonders zu Beginn des Simulationszeitraumes zu stärkeren Konzentrationschwankungen. Insbesondere der Observation Point Immendorf F# weist auf Grund dieser Tatsache nach ca. 2.000 Tagen einen deutlichen Anstieg der PFOS-Konzentrationen auf. Wie oben beschrieben, ist das hydraulische Modell für den Zeitraum vom 01.11.1997 (Tag 1) bis 31.05.2017 (Tag 7.152) kalibriert. Bei der Prognose der PFOS Entwicklung mit Hilfe des Grundwassermodells wird also die hydraulische Situation dieses Zeitraums zugrunde gelegt. Außerdem wurde in den Modellierungen über eine Randbedingung 1. Art festgelegt, dass die PFOS-Konzentration im

Schadenzentrum über den Modellzeitraum konstant bei 7.500 ng/l bleibt. Des Weiteren wurde davon ausgegangen, dass die aktuelle Förderung der Sanierungsbrunnen der Basell Polyolefine GmbH mit insgesamt 97 m³/h Bestand hat.

Wie die Ergebnisse der hydraulischen Modellierung zeigen, kann eine Anstromsicherung der Seen durch eine Brunnengalerie mit 4 Brunnen mit einer Förderung zwischen 30 m³/h und 40 m³/h aus den einzelnen Brunnen, bzw. 120 m³/h bis 160 m³/h Gesamtförderung, gewährleistet werden. Bei einer Entnahme von 120 m³/h bzw. 1.051.200 m³/a Grundwasser/Uferfiltrat Seewasser und der Einleitung des gereinigten Wassers in den See1, würde das Wasservolumen von 1.051.500 m³ des See1 (Fläche ca. 141.000 m², Tiefe durchschnittlich ca. 7,5 m) rechnerisch innerhalb eines Jahres einmal ausgetauscht werden.

Da aber über Wechselwirkungsprozesse in Bezug auf PFC in Seen bislang wenig Erkenntnisse und Forschungsergebnisse vorliegen, und im speziellen Fall u.a. der Einfluss des Zustroms von belastetem Grundwasser von Ost oder West in See1, die Wechselwirkungen Sediment – Seewasser, die Wechselwirkungen Biota – Seewasser, die Wechselwirkungen Biota – Sediment etc. nicht bekannt sind, ist eine zuverlässige Berechnung der PFC Entwicklung in den Seen nicht möglich. Um dennoch Aussagen über die PFC-Entwicklung im Abstrom der Seen treffen zu können, wurden verschiedene denkbare Annahmen für die PFC bzw. PFOS Entwicklung in den Seen, mit und ohne Einfluss der Anstromsicherung, getroffen und die daraus resultierenden Ergebnisse miteinander verglichen.

Im Folgenden werden die verschiedenen Szenarien erläutert.

Szenario 1:

Dieses Szenario beschreibt die Situation, wie sich die PFC/PFOS-Konzentrationen im Seewasser und im Abstrom der Seen ohne Anstromsicherung der Seen voraussichtlich entwickeln wird. Es entspricht damit dem IST-Zustand und beschreibt in diesem Falle das worst case Szenario. Dabei wurde davon ausgegangen, dass sich die Abnahme der PFC/PFOS-Konzentrationen in den für die PFC/PFOS-Entwicklung nördlich der Seen relevanten Seen 1, 4 und 5 weiter so entwickelt, wie bisher. Die Prognose der PFC/PFOS-Entwicklung beruht dabei auf einer rein mathematisch statistischen Auswertung der bisher gemessenen Werte. Es wurde angenommen, dass die PFC-Gehalte im Modellzeitraum in den genannten Seen insgesamt nicht unter 100 ng/l bzw. die PFOS-Gehalte nicht unter 66 ng/l sinken. Die Graphen für die Eingangskonzentrationen dieser Seen sind der Anlage 15 zu entnehmen. Im Modell wurde die Konzentrationsentwicklung dieser Seen als Randbedingung 1. Art festgelegt. Für die Seen 2, 2a und 3 wurde angenommen, dass sie sich wie Grundwasser verhalten und die Konzentrationen wurden entsprechend durch das Modell berechnet.

Szenario 2:

Dieses Szenario beschreibt die Situation mit Anstromsicherung der Seen, wobei dabei das gereinigte Grundwasser in den See1 und eingeleitet wird. Wie oben beschrieben, kann davon ausgegangen werden, dass dadurch das Wasservolumen von See1 relativ schnell, rein rechnerisch

nach einem Jahr, einmal ausgetauscht wird. Um den ebenfalls oben genannten nicht quantifizierbaren Einflüssen und Wechselwirkungen Rechnung zu tragen, wurde angenommen, dass die PFC bzw. PFOS Konzentration in den Seen innerhalb von 3 Jahren linear von der Ausgangskonzentration auf 100 ng/l (Summe PFC, Einleitwert) bzw. 66 ng/l (PFOS) zurückgeht. Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass PFOS durch die Sanierungsanlage sehr gut zurückgehalten wird und somit zu erwarten ist, dass im Ablauf der Sanierungsanlage vorrangig kürzerkettige PFC mit einer maximal Summe 100 ng/l in den See1 gelangen, wurde im weiteren zeitlichen Verlauf angenommen, dass die PFOS-Konzentration in den Seen auf 10 ng/l sinkt. Die Graphen für die Eingangskonzentrationen sind der Anlage 15 zu entnehmen. Adäquat zu Szenario 1 wurden diese Konzentrationsentwicklungen für die Seen 1, 4 und 5 als Randbedingung 1. Art festgelegt. Für die Seen 2, 2a und 3 wurde angenommen, dass sie sich wie Grundwasser verhalten und die Konzentrationen wurden entsprechend durch das Modell berechnet. Dieses Szenario beschreibt den best case.

Szenario 3:

Dieses Szenario beschreibt die Situation mit Anstromsicherung der Seen durch 4 Brunnen mit einer konstanten Förderrate von 40 m³/h je Brunnen und ohne Einleitung des gereinigten Wassers in den See1. Für die Seen wurden keine Randbedingungen vorgegeben und die Konzentrationen wurden entsprechend durch das Modell berechnet. Mit dieser Simulation soll geprüft werden, welchen potentiellen Einfluss die Einleitung des gereinigten Wassers in die Seen auf die Konzentrationsentwicklung der PFC/PFOS hat. Das Szenario 3 dient vornehmlich der Plausibilitätsprüfung des Grundwassermodells und wird bei der folgenden Prüfung des Nutzens und der Kosten nicht weiter verfolgt.

Szenario 4:

Dieses Szenario beschreibt die Situation für die Abstomsicherung der Seen durch 10 Brunnen mit einer konstanten Förderrate von insgesamt 560 m³/h. Diese entspricht der Summe der Förderraten der Einzelbrunnen des Förderszenarios für nordöstliche Strömungsrichtung (Tabelle 6.3) zuzüglich der Förderung von 90 m³/h für die Brunnen 9 und 10. Da durch die Brunnen ein Abstrom von Seewasser Richtung Norden unterbunden wird, ist für die Prognose der PFOS-Konzentrationsentwicklung nördlich der Brunnen die Konzentrationsentwicklung in den Seen von untergeordneter Bedeutung. Deshalb wurde für die Abstomsicherung nur ein Szenario gerechnet, in dem davon ausgegangen wird, dass sich die Konzentrationsentwicklung in den Seen wie im Grundwasser verhält. Für die Seen wurden keine Randbedingungen vorgegeben und die Konzentrationen wurden entsprechend durch das Modell berechnet.

6.4.2 Ergebnisse

In Anlage 16 sind die mit Hilfe der unterschiedlichen oben beschriebenen Szenarien berechneten PFOS-Gehaltsentwicklungen für die Observation Points der Transportmodellierung dargestellt.

Für die Beurteilung der PFOS Entwicklung im Anstrom der Seen wurde beispielhaft das Simulationsergebnis aus Szenario 2 herangezogen. Die Ergebnisse für den Observation Point AnSee1#, welcher die Konzentrationsentwicklung im Anstrom zu See1 repräsentiert, zeigen, dass nach ca.

3.000 Tagen bzw. 8,2 Jahren die PFOS-Gehalte dauerhaft unter 50 ng/l liegen. Da PFOS in den bisherigen Untersuchungen im Anstrom zu See1 einen Anteil von ca. 66% an der PFC-Summe bildete, ist davon auszugehen, dass die Summe der PFC nach 3.000 Tagen dauerhaft unter 100 ng/l liegt.

Wie bereits erwähnt, beschreibt Szenario1 die Situation, wie sich die PFOS-Konzentrationen im Seewasser und im Abstrom der Seen ohne Anstromsicherung der Seen entwickeln könnte. Legt man dieses Szenario als IST-Zustand (bzw. worst case) zu Grunde, und vergleicht die Resultate mit denen aus Szenario 2 (best case für die PFOS-Entwicklung der Seen bei Anstromsicherung) und Szenario 4 (Abstromsicherung der Seen) ist zu erkennen, dass auf Grund der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers bzw. der Transportgeschwindigkeit des PFOS signifikante Einflüsse auf die PFOS-Entwicklung in den ausgewählten Observation Points erst mit einer gewissen Zeitverzögerung beobachtet werden können. Diese Verzögerung variiert mit der Entfernung der Observation Points von den Seen und liegt bei Szenario 2 zwischen 5,8 Jahren bei dem den Seen am nächsten gelegenen Observation Point Immendorf F# (ca. 500 m) und 14,2 Jahren beim Observation Point 7355421#, welcher am weitesten von den Seen entfernt liegt (ca. 3.200 m), bzw. bei Szenario 4 zwischen 1,7 Jahren bei Immendorf F# und 9,4 Jahren beim Observation Point 7355421#. Die Verzögerungszeiten für die Observation Points sind Tabelle 6.4 zu entnehmen.

Tabelle 6.4 Relevante Sichtbarkeit des Einflusses der Anstrom- (best case) und Abstromsicherung

Messstelle/Observation Point	Anstromsicherung nach ... Tagen / nach ... Jahren	Abstromsicherung nach ... Tagen / nach ... Jahren
Immendorf F#	2.130 / 5,8	620 / 1,7
7353841#	2.320 / 6,4	1.300 / 3,6
171A#	3.300 / 9,0	2.640 / 7,2
7353691#	4.400 / 12,0	3.100 / 8,5
7355421#	5.200 / 14,2	3.430 / 9,4

Der Verlauf der durch die Szenarien 1 und 3 berechneten PFOS-Ganglinien ist in den ausgewählten Observation Points relativ ähnlich. Die Ursache dafür ist, dass sich die berechneten (Szenario 3) bzw. die vorgegebenen (Szenario 1) PFOS-Entwicklungen für die Seen in ihrem Verlauf ähneln (Anlage 16/2). Lediglich in der westlich des Fahnenzentrums gelegenen Messstelle 7353841# ist nach ca. 3.250 Tagen bzw. knapp 9 Jahren eine etwas stärkere Abnahme der PFOS-Gehalte bei Szenario 3 gegenüber Szenario 1 zu erkennen.

Der Tabelle 6.5 sind für die verschiedenen Szenarien die Zeitpunkte zu entnehmen, an denen in den ausgewählten Observation Points 100 ng/l PFC bzw. 66 ng/l PFOS unterschritten bzw. wann die Konzentration am Ende des Simulationszeitraumes der Simulation Szenario 1 (IST-Zustand) erreicht werden. Da sich Szenario 1 und Szenario 3 in ihrer Auswirkung sehr ähneln, wird nur auf das best case Szenario der Anstromsicherung (Szenario 2) und die Abstromsicherung (Szenario 4) eingegangen.

Es ist zu beachten, dass auf Grund der hohen Förderraten und der Verteilung der Brunnen bei der Abstromsicherung (Szenario 4) die Strömungsverhältnisse nördlich der in Szenario 4 festgelegten Brunnen bis zur Brunnengalerie der RheinEnergie im Vergleich zu den anderen Szenarien beeinflusst werden. Diese Beeinflussung bewirkt, dass in Szenario 4 die PFC/PFOS-Fahne insgesamt leicht nach Osten verschoben wird und somit die Messstellen 7353841# und 7355421# bei diesem Szenario mehr ins Fahnenzentrum rücken. Deshalb sind in diesen Messstellen bei Szenario 4 im Laufe der zeitlichen Entwicklung höhere PFC/PFOS-Gehalte zu erkennen als in den anderen Szenarien.

Tabelle 6.5 Vergleich Zeitpunkte Erreichung 100 ng/l PFC bzw. 66 ng/l PFOS oder Konzentration am Ende der Simulation Szenario 1 (IST-Zustand)

Messstelle/ Observation Point	PFOS-Gehalt IST-Zustand (Ende der Simulationszeit oder Erreichung 66 ng/l)	Szenario 1 nach ... Tagen / nach ... Jahren	Szenario 2 nach ... Tagen / nach ... Jahren	Szenario 4 nach ... Tagen / nach ... Jahren
Immendorf F#	126	7.152 / 19,5	4.247 / 11,6	3.110 / 8,5
	66	-	4.375 / 11,9	3.368 / 9,3
7353841#	66	4.940 / 13,5	4.036 / 11,1	6.950 / 19,0
171A#	246	7.152 / 19,5	5.832 / 16,0	5.190 / 14,2
	66	-	7.152 / 19,5	7.090 / 19,4
7353691#	333	7.152 / 19,5	6.190 / 17,0	5.210 / 14,3
	66	-	-	-
7355421#	71	7.152 / 19,5	6.995 / 19,2	-
	66	-	7.020 / 19,2	-

Bei dem Szenario 1 (IST-Zustand) wird am Ende des Simulationszeitraumes (nach 7.152 Tagen bzw. ca. 19,5 Jahren) nur in der Messstelle 7353841# (westlich des Fahnenzentrums) ein PFOS-Gehalt unter 66 ng/l berechnet. Dieser Gehalt wird dort erstmals nach ca. 4.940 Tagen (ca. 13,5 Jahren) unterschritten. Für Messstelle Immendorf F# wird am Ende des Simulationszeitraumes ein PFOS-Wert von 126 ng/l, für Messstelle 171A# ein PFOS-Wert von 246 ng/l, für Messstelle 7353691# ein PFOS-Wert von 333 ng/l und für Messstelle 7355421# ein PFOS-Wert von 71 ng/l berechnet.

Der am Ende des Simulationszeitraumes des Szenario 1 berechnete PFOS-Wert von 126 ng/l, für die Messstelle Immendorf F# wird in dieser Messstelle bei Szenario 2 bereits nach ca. 4.247 Tagen (ca. 11,6 Jahren) und bei Szenario 4 bereits nach ca. 3.110 Tagen (ca. 8,5 Jahren) erreicht. Bei Szenario 2 wird nach ca. 4.375 Tagen (ca. 11,9 Jahren) und bei Szenario 4 nach ca. 3.368 Tagen (ca. 9,3 Jahren) der PFOS-Gehalt von 66 ng/l unterschritten.

Wie oben erwähnt, wird bei Szenario 1 in Messstelle 7353841# (westlich des Fahnenzentrums) erstmals nach ca. 4.940 Tagen (ca. 13,5 Jahren) ein PFOS-Gehalt unter 66 ng/l berechnet. Bei Szenario 2 wird dieser Wert nach ca. 4.036 Tagen (ca. 11,1 Jahren) erreicht. Auf Grund der ebenfalls oben erläuterten Fahnenverschiebung bei Szenario 4 wird dort der Wert erst nach ca. 6.950 Tagen (ca. 19,0 Jahren) erreicht.

Der am Ende des Simulationszeitraumes des Szenario 1 berechnete PFOS-Wert von 246 ng/l, für die Messstelle 171A# wird in dieser Messstelle bei Szenario 2 bereits nach ca. 5.832 Tagen (ca. 16 Jahren) und bei Szenario 4 bereits nach ca. 5.190 Tagen (ca. 14,2 Jahren) erreicht. Bei Szenario 2 und Szenario 4 wird am Ende des Simulationszeitraumes der PFOS-Gehalt von 66 ng/l unterschritten.

Der am Ende des Simulationszeitraumes des Szenario 1 berechnete PFOS-Wert von 333 ng/l, für die Messstelle 7353691# wird in dieser Messstelle bei Szenario 2 bereits nach ca. 6.190 Tagen (ca. 17 Jahren) und bei Szenario 4 bereits nach ca. 5.210 Tagen (ca. 14,3 Jahren) erreicht. In keinem Szenario lag der PFOS-Gehalt unter 66 ng/l.

In Messstelle 7355421# zeigen die PFOS-Gehalte der verschiedenen Simulationen, mit Ausnahme der Simulation 4 auf Grund der oben erläuterten Fahnenverschiebung, nur marginale Unterschiede.

In Tabelle 6.6 sind die durch das Modell berechneten PFOS-Gehalte der Messstellen bei verschiedenen Szenarien nach 10, 15 und 19,5 Jahren in absoluter Menge und im Verhältnis zur Ausgangskonzentration dargestellt.

Tabelle 6.6 berechnete PFOS-Gehalte der Messstellen bei verschiedenen Szenarien nach 10, 15 und 19,5 Jahren

Jahre	Messstelle	Szenario 1		Szenario 2		Szenario 3		Szenario 4	
		ng/l	%	ng/l	%	ng/l	%	ng/l	%
0	Immendorf F#	750	100	750	100	750	100	750	100
10	Immendorf F#	566	75	346	46	597	80	34	5
15	Immendorf F#	235	31	19	2,5	246	33	2,4	0,3
19,5	Immendorf F#	126	17	22	2,9	77	10	0,02	0,00
0	7353841#	300	100	300	100	300	100	300	100
10	7353841#	139	46	95	32	129	43	199	66
15	7353841#	47	15	17	6	21	7	71	24
19,5	7353841#	19	6	6	2	5	2	33	11
0	171A#	1200	100	1200	100	1200	100	1200	100
10	171A#	663	55	651	54	673	56	345	29
15	171A#	449	37	266	22	428	36	172	14
19,5	171A#	246	21	64	5	203	17	53	4
0	7353691#	750	100	750	100	750	100	750	100
10	7353691#	605	81	597	80	609	81	372	50
15	7353691#	552	74	475	63	569	76	306	41
19,5	7353691#	333	44	175	23	309	41	133	18

Jahre	Messstelle	Szenario 1		Szenario 2		Szenario 3		Szenario 4	
		ng/l	%	ng/l	%	ng/l	%	ng/l	%
0	7355421#	750	100	750	100	750	100	750	100
10	7355421#	252	34	251	33	247	33	287	38
15	7355421#	147	20	136	18	151	20	148	20
19,5	7355421#	71	9	54	7	67	9	97	13

6.4.3 Auswertung

Die Simulationsergebnisse haben gezeigt, dass nach etwa 3.000 Tagen bzw. 8,2 Jahren die PFC-Gehalte im Anstrom der Seen dauerhaft unter 100 ng/l liegen. Daraus ist zu schlussfolgern, dass eine hydraulische Sicherung im Anstrom der Seen mindestens 8 Jahre vorzuhalten ist, um zu gewährleisten, dass den Seen kein mit über 100 ng/l PFC belastetes Grundwasser zuströmt.

Der Vergleich der Simulationsergebnisse von Szenario 1 und Szenario 3 zeigt, dass eine Anstromsicherung ohne Einleitung des gereinigten Wassers in den See1 nur einen geringen Effekt auf die PFC/PFOS-Konzentrationsentwicklung in den Seen, und somit auch in deren Abstrom, zu haben scheint. Deshalb sollte das gereinigte Grundwasser in See1 eingeleitet werden.

Auf Grund der hohen Förderraten und der Verteilung der Brunnen bei der Abstomsicherung (Szenario 4) werden die Strömungsverhältnisse nördlich der Seen im Vergleich zu den anderen Szenarien beeinflusst werden. Das bewirkt, dass in Szenario 4 die PFC/PFOS-Fahne insgesamt leicht nach Osten verschoben wird und somit die Messstellen 7353841# und 7355421# bei diesem Szenario mehr ins Fahnenzentrum rücken.

Weiterhin ist zu erkennen, dass bei Messstelle Immendorf F# im best case Szenario 2 der Anstromsicherung frühestens nach 5,8 Jahren, bei der Abstomsicherung der Seen (Szenario 4) bereits nach 1,7 Jahren, ein Effekt dieser Sicherung erkennbar ist. Bei der Abstomsicherung ist der Effekt früher erkennbar, da die potentiellen Sicherungsbrunnen deutlich näher an der Messstelle Immendorf F# positioniert sind als bei der Anstromsicherung und diese somit eher beeinflusst wird. Insgesamt zeigen die Simulationsergebnisse, dass eine hydraulische Sicherung den stärksten Einfluss auf die der Sicherung am nächsten gelegenen Messstellen im Fahnenzentrum hat. Dies ist sowohl Tabelle 6.6 als auch Anlage 16 zu entnehmen. Generell ist in Schadstofffahnen zu erkennen, dass mit zunehmender Fahnenlänge bzw. zunehmendem Abstand zur Schadstoffquelle u.a. auf Grund von Sorption/Desorption, Dispersion und Diffusion die Schadstoffpeaks flacher, dafür aber auch länger werden. Das heißt, je weiter von der Quelle entfernt, desto geringer sind die Schadstoffkonzentrationen, die dafür aber über einen längeren Zeitraum Bestand haben. Dies ist auch bei der Modellierung zu erkennen. Je weiter entfernt die betrachtete Messstelle von der hydraulischen Sicherung entfernt ist, desto später ist eine Beeinflussung der PFOS-Gehalte in dieser Messstelle zu sehen und desto geringer fällt diese Beeinflussung aus.

Laut Modellrechnung bedeutet dies für die Messstelle Immendorf F# einen PFOS-Gehalt von 126 ng/l am Ende des Simulationszeitraumes (ca. 19,5 Jahre), wenn keine zusätzliche hydraulische Sicherung erfolgt. Bei dem best case Szenario der Anstromsicherung (Szenario 2) würde der

Wert von 126 ng/l bereits ca. 7,9 Jahre früher erreicht, bei der Abstromsicherung der Seen (Szenario 4) sogar 11 Jahre früher.

Wie oben erwähnt, wird der Effekt mit zunehmender Entfernung geringer. Für die Messstelle 171A# wurde ein PFOS-Gehalt von 246 ng/l am Ende des Simulationszeitraumes erreicht (ca. 19,5 Jahre), wenn keine zusätzliche hydraulische Sicherung (Szenario 1) erfolgt. Bei dem best case Szenario der Anstromsicherung (Szenario 2) würde dieser Wert nur noch ca. 3,5 Jahre früher erreicht, bei der Abstromsicherung der Seen ca. 5,3 Jahre früher. Bei Messstelle 7353691# würde der PFOS-Gehalt von 333 ng/l am Ende des Simulationszeitraumes ohne zusätzliche hydraulische Sicherung beim best case Szenario der Anstromsicherung (Szenario 2) lediglich ca. 2,5 Jahre früher erreicht, bei der Abstromsicherung der Seen ca. 5,2 Jahre früher. In der Fahnen spitze (Messstelle 7355421#) ist der Unterschied mit 0,3 Jahren für Szenario 2 vernachlässigbar gering. Ein Vergleich mit Szenario 4 wird auf Grund der genannten Fahnenverschiebung bei Messstelle 7355421# als nicht sinnvoll erachtet.

7 Kostenschätzung

7.1 Anstromsicherung Seen

7.1.1 Investitionskosten

Zur Anstromsicherung ist eine Brunnengalerie von 4 Brunnen notwendig. Die Brunnen sollten einen Ausbaudurchmesser von DN300 aufweisen, dazu ist eine Bohrung von mindestens 1.018 mm zu empfehlen. Als Ausbaumaterial wird PVC angenommen, für die Ausbautiefe 25 m. Für einen Brunnen mit diesem Ausbau ist mit Kosten von ca. 35.000 € pro Brunnen zu rechnen.

Es wird davon ausgegangen, dass eine Abreinigung des geförderten Wassers von 120 m³/h bis 160 m³/h über eine Reinigungsanlage mit Aktivkohle (mind. 40 m³ Reinigungsfilter + 40 m³ Polzei-filter) gewährleistet wird. Bei einer Sanierungsanlage dieser Größe ist mit Kosten für die Sanierungsanlage, einer Halle und Fundamenterstellung von ca. 600.000 € zu rechnen.

Optional ist der Einsatz eines Ionentauschers zur besseren Abreinigung kurzkettiger PFC möglich. Für einen Ionentauschfilter mit einem voraussichtlich benötigten Fassungsvermögen ca. 7 m³ ist mit Kosten von ca. 30.000 € zu rechnen.

Im Bereich der potentiellen Standorte ist keine Stromversorgung vorhanden. Es müsste also eine Stromleitung verlegt werden. Die Kosten zur Verlegung von Strom belaufen sich laut Netzentwicklungsplan Strom (Anlage 17) auf ca. 150 € pro Meter. Die Länge der Stromleitung beträgt mindestens 600 m (Abstand zum nächsten Ort/Siedlung).

Für die gutachterliche Begleitung der Sanierungsmaßnahme in Form von einer konkreteren Sanierungsplanung, Betreuung der Bohrarbeiten, Stellung eines Wasserrechtsantrages und eines Antrages zur Einleitgenehmigung, sowie zur Erstellung einer Umweltverträglichkeitsprüfung UVP (da

Fördermenge über 1 Mio m³ Wasser pro Jahr, ist diese laut dem Gesetz über die UVP UVPG erforderlich) ist mit Kosten von ca. 80.000 € zu kalkulieren.

Desweiteren sollten für die Planung der Brunnen, der Sanierungsanlage und der dazugehörigen Halle (Baukosten ca. 740.000 Euro) Planungskosten nach HOAI, §44 Abs. 1 Ingenieurbauwerke, Leistungsphase 1 bis 7 (Basishonorarsatz Honorarzone 1) in Höhe von ca. 40.000 Euro berücksichtigt werden, ebenso wie Baunebenkosten in Höhe von ca. 111.000 Euro (15% der anrechenbaren Kosten von 740.000 Euro)

Kosten für eventuell notwendige Baukoordination, zu stellende Bauanträge und evtl. weiterer Genehmigungen sowie Rückbau der Anlage sind in der Kalkulation nicht berücksichtigt. Auch Kosten für einen eventuellen Grundstückskauf oder eine Grundstückspacht sowie die Einrichtung möglichen Straßen/Baustraßen und sonstiger Infrastruktur (mit Ausnahme der Stromverlegung) sind in der Kalkulation nicht berücksichtigt.

In der folgenden Tabelle 7.1 sind die voraussichtlichen Investitionskosten zusammengestellt.

Tabelle 7.1 Zusammenstellung voraussichtlicher Investitionskosten Anstromsicherung

	Anzahl	Kosten Stück [€]	Gesamtkosten [€]
Brunnen	4	35.000	140.000
Sanierungsanlage + Halle	1	600.000	600.000
Ionentauscher	1	30.000	30.000
Verlegung Strom	600	150	90.000
Gutachterkosten	1	80.000	80.000
Planungskosten (HOAI)	1	40.000	40.000
Baunebenkosten (15% der anrechenbaren Kosten)	1	111.000	111.000
Summe			1.091.000
Summe ohne Ionentauscher			1.061.000

Für die Investitionskosten zur Anstromsicherung der Seen ist, je nach Anlagenkonfiguration, mit einer Summe von ca. 1.061.000 € bis 1.091.000 € plus den oben genannten noch nicht berücksichtigten Kosten auszugehen.

7.1.2 Laufende Kosten

Neben den Investitionskosten sind die Kosten für den laufenden Betrieb zu berücksichtigen.

Diese beinhalten Kosten für Strom, Anlagenwartung, Probennahme und Analytik, Gutachterkosten sowie den Wechsel der Adsorptionsmaterialien.

Wie oben erwähnt, sollte eine hydraulische Sicherung im Anstrom der Seen mindestens 8 Jahre vorgehalten werden, um zu gewährleisten, dass den Seen kein mit über 100 ng/l PFC belastetes

Grundwasser zuströmt. Zur Berechnung der Kosten wurde von einer Laufzeit der Sanierungsanlage von 10 Jahren ausgegangen,

Für die Abschätzung der Stromkosten wurde davon ausgegangen, dass in jedem der 4 Brunnen je eine elektrische Pumpe wie z.B. die Grundfos SP 46-4 oder ein ähnliches Fabrikat zum Einsatz kommt. Diese Pumpe hat eine maximale Förderleistung von 60 m³/h bei einem Nennvolumenstrom von 46 m³/h und eine Antriebsleistung von 7,5 kW bzw. einen Stromverbrauch von 7,5 kWh. Bei kontinuierlichem Betrieb der Pumpe hätte man einen Stromverbrauch von 65.700 kWh im Jahr. Des Weiteren wurde der Strombedarf für die Nebenaggregate mit 50% des Stromverbrauchs der Pumpe angenommen, so dass insgesamt mit einem Strombedarf von ca. 98.550 kWh pro Betrieb eines Brunnens im Jahr gerechnet wird. Bei einem Strompreis von 0,31 €/kWh belaufen sich die Stromkosten auf 30.550,50 € pro Brunnen und Jahr bzw. für alle 4 Brunnen auf 122.202 €/a.

Als Kosten für die Wartung der Sanierungsanlage werden 20.000 € pro Jahr angesetzt.

Als Kosten für Gutachterleistungen in Form von u.a. der Organisation der Probennahme und Auswertung der Analysenergebnisse werden etwa 60 Stunden im Jahr (5 Stunden im Monat) bzw. 4.800 € im Jahr veranschlagt.

Die Analytik- und Probenahmekosten der Sanierungsanlage beinhalten die monatliche Probenahme an den 4 Brunnen sowie im Zulauf der Sanierungsanlage, im Zulauf der letzten Reinigungsstufe und im Ablauf der Sanierungsanlage, den Versand der Proben ins Labor und die PFC-Analytik. Sie betragen ca. 14.400 € im Jahr.

Die Analytik- und Probenahmekosten des Grund- und Seewassermonitorings beinhalten die halbjährliche Probenahme an den 5 Seen (See 1 bis 5) sowie an 10 Grundwassermessstellen im Abstrom der Seen, den Versand der Proben ins Labor und die PFC-Analytik. Sie betragen ca. 5.000 € im Jahr.

Zur Berechnung der Standzeiten der Aktivkohle wurden folgende Voraussetzungen zu Grunde gelegt:

- Die Sanierungsanlage wird 10 Jahre betrieben
- Durchschnittliche¹ PFC-Konzentration im Zulauf der Anlage 400 ng/l (best case Szenario See1) bzw. 1.000² ng/l (worst case Szenario See1)
- Durchfluss 160 m³/h
- Maximal 100 ng/l im Abfluss der Sanierungsanlage
- Anlage ohne Ionentauscher

¹ zu Beginn höhere Konzentrationen mit zunehmender Laufzeit immer mehr abnehmend

² Auf Grund der höheren Gehalte aus See1 die als Uferfiltratanteil der Sanierungsanlage zugeführt werden

Die Erfahrungen und Ergebnisse aus den im Untersuchungsbereich betriebenen Sanierungsanlagen (Basell Polyolefine GmbH und Firma Horst), sowie die Auswertung der Durchbruchskurven der Sanierungsanlage der Basell Polyolefine GmbH zeigen, dass unter den zuvor genannten Randbedingungen mit ca. 1,5 Aktivkohlewechseln pro Jahr zu rechnen ist. Für einen Aktivkohlewechsel sind, je nach gewählter Aktivkohle und Anbieter, ca. 30.000 € für die 40 m³ einzuplanen, also pro Jahr ca. 45.000 €.

Wählt man eine Anlagenkonfiguration mit Ionentauscher, welcher kurzkettinge PFC besser zurückhalten kann als Aktivkohle, muss die Aktivkohle weniger häufig gewechselt werden (ca. 1 mal pro Jahr). Dadurch reduzieren sich die Kosten für die Aktivkohle auf ca. 30.000 € pro Jahr. Allerdings sind Ionentauscher wesentlich teurer als Aktivkohle, ein Wechsel von 7 m³ kostet etwa 68.000 €. Unter den genannten Voraussetzungen muss der Ionentauscher ca. 0,5 mal pro Jahr gewechselt werden, was Kosten von ca. 34.000 € pro Jahr verursacht.

In der folgenden Tabelle 7.2 bzw. Tabelle 7.3 sind die voraussichtlichen laufenden Kosten zusammengestellt.

Tabelle 7.2 Zusammenstellung voraussichtlicher laufender Betriebskosten Anstromsicherung pro Jahr (best case Szenario See1)

	Anzahl	Kosten Stück [€]	Gesamtkosten pro Jahr [€]
Strom		0,31	122.202
Kosten Wartung	1	20.000	20.000
Gutachterkosten	60	80	4.800
Analytik + Probenahme Sanierungsanlage	12	1.2000	14.400
Analytik + Probenahme Grund- und See- wassermonitoring	2	2.500	5.000
AK-Wechsel	0,75 / 0,5 ^{a)}	30.000	22.500 / 15.000 ^{a)}
Ionentauscher Wechsel	0 / 0,25 ^{a)}	68.000,00	0 / 17.000 ^{a)}
			188.902 / 198.402 ^{a)}
10 Jahre			1.889.020 / 1.984.020 ^{a)}

^{a)} Anlage ohne Ionentauscher / Anlage mit Ionentauscher

Tabelle 7.3 Zusammenstellung voraussichtlicher laufender Betriebskosten Anstromsicherung pro Jahr (worst case Szenario See1)

	Anzahl	Kosten Stück [€]	Gesamtkosten pro Jahr [€]
Strom		0,31	122.202
Kosten Wartung	1	20.000	20.000
Gutachterkosten	60	80	4.800
Analytik + Probenahme	12	1.2000	14.400

	Anzahl	Kosten Stück [€]	Gesamtkosten pro Jahr [€]
Analytik + Probenahme Grund- und See- wassermonitoring	2	2.500	5.000
AK-Wechsel	1,5 / 1 ^{a)}	30.000	45.000 / 30.000 ^{a)}
Ionentauscher Wechsel	0 / 0,5 ^{a)}	68.000,00	0 / 34.000 ^{a)}
			211.402 / 230.402 ^{a)}
10 Jahre			2.114.020 / 2.304.020 ^{a)}

^{a)} Anlage ohne Ionentauscher / Anlage mit Ionentauscher

Über 10 Jahr Laufzeit ist mit laufenden Kosten zwischen 1,9 Mio. € (best case Szenario See1 und Anlage ohne Ionentauscher) und 2,3 Mio. € (worst case Szenario See1, Anlage mit Ionentauscher) zu rechnen.

7.1.3 Gesamtkosten

Die Gesamtkosten einer Anstromsicherung über 10 Jahre Laufzeit betragen zwischen ca. 3,0 Mio. €, (best case Szenario See1 und Anlage ohne Ionentauscher) und ca. 3,4 Mio. € (worst case Szenario See1, Anlage mit Ionentauscher) plus den oben genannten noch nicht berücksichtigten Kosten.

Tabelle 7.4 Übersicht voraussichtlicher Gesamtkosten (Summe der Investitionskosten Tabelle 7.1 zzgl. Betriebskosten Tabelle 7.2 bzw. Tabelle 7.3) Anstromsicherung

	Gesamtkosten pro Jahr [€]
best case Szenario See1, Anlage ohne Ionentauscher	2.950.020
best case Szenario See1, Anlage mit Ionentauscher	3.075.020
worst case Szenario See1, Anlage ohne Ionentauscher	3.175.020
worst case Szenario See1, Anlage mit Ionentauscher	3.395.020

7.2 Abstomsicherung Seen

7.2.1 Investitionskosten

Zur Abstomsicherung ist eine Brunnengalerie von 10 Brunnen notwendig. Die Brunnen sollten einen Ausbaudurchmesser von DN300 aufweisen, dazu ist eine Bohrung von mindestens 1.018 mm zu empfehlen. Als Ausbaumaterial wird PVC angenommen, für die Ausbautiefe 25 m. Für einen Brunnen mit diesem Ausbau ist mit Kosten von ca. 35.000 € pro Brunnen zu rechnen.

Es wird davon ausgegangen, dass eine Abreinigung des geförderten Wassers von 415 m³/h bis 470 m³/h über eine Reinigungsanlage mit Aktivkohle (mind. 120 m³ Reinigungsfilter + 120 m³ Polzeifilter) gewährleistet wird. Bei einer Sanierungsanlage dieser Größe ist mit Kosten für die Sanierungsanlage, eine Halle und Fundamenterstellung von ca. 1.500.000 € zu rechnen.

Optional ist der Einsatz eines Ionentauschers zur besseren Abreinigung kurzkettiger PFC möglich. Für einen Ionentauschfilter mit einem voraussichtlich benötigten Fassungsvermögen ca. 21 m³ ist mit Kosten von ca. 90.000 € zu rechnen.

Im Bereich der potentiellen Standorte ist keine Stromversorgung vorhanden. Es müsste also eine Stromleitung verlegt werden. Die Kosten zur Verlegung von Strom belaufen sich laut Netzentwicklungsplan Strom (Anlage 17) auf ca. 150 € pro Meter. Die Länge der Stromleitungen beträgt ca. 500 m (Abstand zum nächsten Ort/Siedlung).

Für die gutachterliche Begleitung der Sanierungsmaßnahme in Form von einer konkreteren Sanierungsplanung, Betreuung der Bohrarbeiten, Stellung eines Wasserrechtsantrages und eines Antrages zur Einleitgenehmigung, sowie zur Erstellung einer Umweltverträglichkeitsprüfung (da Fördermenge über 1 Mio m³ Wasser pro Jahr, ist diese laut UVPG erforderlich) ist mit Kosten von ca. 120.000 € zu kalkulieren.

Desweiteren sollten für die Planung der Brunnen, der Sanierungsanlage und der dazugehörigen Halle (Baukosten ca. 1.850.000 Euro) Planungskosten nach HOAI, §44 Abs. 1 Ingenieurbaue, Leistungsphase 1 bis 7 (Basishonorarsatz Honorarzone 1) in Höhe von ca. 80.000 Euro berücksichtigt werden, ebenso wie Baunebenkosten in Höhe von ca. 227.500 Euro (15% der anrechenbaren Kosten von 1.850.000 Euro)

Kosten für eventuell notwendige Baukoordinierung, zu stellende Bauanträge und evtl. weiterer Genehmigungen sowie Rückbau der Anlage sind in der Kalkulation nicht berücksichtigt. Auch Kosten für einen eventuellen Grundstückskauf oder eine Grundstückspacht sowie die Einrichtung möglichen Straßen/Baustraßen und sonstiger Infrastruktur (mit Ausnahme der Stromverlegung) sind in der Kalkulation nicht berücksichtigt.

Außerdem muss bedacht werden, dass das geförderte Grundwasser nicht in die Seen eingeleitet werden kann. Es muss ein Konzept zur Entsorgung des Wassers erarbeitet werden. Die Möglichkeit der Einleitung in das öffentliche Kanalnetz ist auf Grund der hohen Wassermenge (ca. 470 m³/h) eher unwahrscheinlich und auf Grund der aktuellen Abwassergebühr von ca. 0,41 €/m³ also ca. 1,7 Mio. Euro pro Jahr (bzw. ca. 25,3 Mio. Euro bei 15 Jahren) auch wirtschaftlich nicht tragbar. Denkbar wären eine Direkteinleitung des gereinigten Wassers in den Rhein, dafür müsste jedoch eine über 2 km lange Rohrleitung verlegt werden, oder eine Widereinleitung in den Grundwasserleiter z.B. über Versickerungsrigolen oder Versickerungsbrunnen. Die Entsorgung des anfallenden Grundwassers ist jedenfalls eine sehr große Herausforderung und die dafür anfallenden Kosten sind derzeit nicht kalkulierbar und daher ebenfalls in der Aufstellung nicht berücksichtigt.

In der folgenden Tabelle 7.5 sind die voraussichtlichen Investitionskosten zusammengestellt.

Tabelle 7.5 Zusammenstellung voraussichtlicher Investitionskosten Abstomsicherung

	Anzahl	Kosten Stück [€]	Gesamtkosten [€]
Brunnen	10	35.000	350.000
Sanierungsanlage + Halle	1	1.500.000	1.500.000
Ionentauscher	1	90.000	90.000
Verlegung Strom	500	150	75.000
Gutachterkosten	1	120.000	120.000
Planungskosten (HOAI)	1	80.000	80.000
Baunebenkosten (15% der anrechenbaren Kosten)	1	277.500	277.500
Summe			2.442.500
Summe ohne Ionentauscher			2.352.500

Für die Investitionskosten zur Abstomsicherung der Seen ist, je nach Anlagenkonfiguration, mit einer Summe von ca. 2.352.500 € bis 2.442.500 € plus den oben genannten noch nicht berücksichtigten Kosten auszugehen.

7.2.2 Laufende Kosten

Für die Abschätzung der Stromkosten wurde davon ausgegangen, dass in 3 Brunnen je eine elektrische Pumpe wie z. B. die schon oben beschriebene Grundfos SP 46-4 oder ein ähnliches Fabrikat zum Einsatz kommt, wobei insgesamt mit einem Strombedarf von ca. 98.550 kWh im Jahr pro Betrieb eines Brunnens mit dieser Pumpe gerechnet wird. Da in einigen Brunnen die Förderleistung zur Abstomsicherung höher ist, wurde davon ausgegangen, dass in 7 Brunnen je eine elektrische Pumpe wie z. B. die Grundfos SP 77-3 oder ein ähnliches Fabrikat zum Einsatz kommt. Diese Pumpe hat eine maximale Förderleistung von 100 m³/h bei einem Nennvolumenstrom von 77 m³/h und eine Antriebsleistung von 11 kW bzw. einen Stromverbrauch von 11 kWh. Bei kontinuierlichem Betrieb der Pumpe hätte man einen Stromverbrauch von 96.360 kWh im Jahr. Auch hier wurde der Strombedarf für die Nebenaggregate mit 50 % des Stromverbrauchs der Pumpe angenommen, so dass insgesamt mit einem Strombedarf von ca. 144.540 kWh pro Betrieb eines Brunnens im Jahr gerechnet wird. Bei einem Strompreis von 0,31 €/kWh und der Annahme, dass alle Brunnen kontinuierlich betrieben werden, belaufen sich die Stromkosten für alle 10 Brunnen auf ca. 405.303 €/a.

Als Kosten für die Wartung der Sanierungsanlage werden 40.000 € pro Jahr angesetzt.

Als Kosten für Gutachterleistungen in Form von u.a. der Organisation der Probennahme und Auswertung der Analyseergebnisse werden etwa 72 Stunden im Jahr (6 Stunden im Monat) bzw. 5.760 € im Jahr veranschlagt.

Die Analytik- und Probenahmekosten der Sanierungsanlage beinhalten die monatliche Probenahme an den 10 Brunnen sowie im Zulauf der Sanierungsanlage, im Zulauf der letzten

Reinigungsstufe und im Ablauf der Sanierungsanlage, den Versand der Proben ins Labor und die PFC-Analytik. Sie betragen ca. 28.800 € im Jahr.

Die Analytik- und Probenahmekosten des Grund- und Seewassermonitorings beinhalten die halbjährliche Probenahme an den 5 Seen (See 1 bis 5) sowie an 10 Grundwassermessstellen im Abstrom der Seen, den Versand der Proben ins Labor und die PFC-Analytik. Sie betragen ca. 5.000 € im Jahr.

Wie oben erwähnt, sind eventuelle laufende Kosten für die Entsorgung oder die Widereinleitung des geförderten Grundwassers in den Grundwasserleiter derzeit nicht kalkulierbar und daher in der Aufstellung nicht berücksichtigt.

Zur Berechnung der Standzeiten der Aktivkohle wurden folgende Voraussetzungen zu Grunde gelegt:

- Die Sanierungsanlage wird 15 Jahre³ betrieben
- Durchschnittliche⁴ PFC-Konzentration im Zulauf der Anlage 400 ng/l (best case Szenario See1) bzw. 1.000⁵ ng/l (worst case Szenario See1)
- Durchfluss 470 m³/h
- Maximal 100 ng/l im Abfluss der Sanierungsanlage
- Anlage ohne Ionentauscher

Wie zuvor beschrieben, ist unter den genannten Randbedingungen mit ca 1,5 Aktivkohlewechseln pro Jahr zu rechnen ist. Für einen Aktivkohlewechsel sind, je nach gewählter Aktivkohle und Anbieter, ca. 90.000 € für die 120 m³ einzuplanen, also pro Jahr ca. 135.000 €.

Wählt man eine Anlagenkonfiguration mit Ionentauscher, welcher kurzketige PFC besser zurückhalten kann als Aktivkohle, muss die Aktivkohle weniger häufig gewechselt werden (ca. 1 mal pro Jahr). Dadurch reduzieren sich die Kosten für die Aktivkohle auf ca. 90.000 € pro Jahr. Allerdings sind Ionentauscher wesentlich teurer als Aktivkohle, ein Wechsel von 21 m³ kostet etwa 204.000 €. Unter den genannten Voraussetzungen muss der Ionentauscher ca. 0,5 mal pro Jahr gewechselt werden, was Kosten von ca. 102.000 € pro Jahr verursacht.

In der folgenden Tabelle 7.6 bzw. Tabelle 7.7 sind die voraussichtlichen laufenden Kosten zusammengestellt.

³je nach für die Abstromsicherung relevantem Szenario (1 oder 3) werden in See 1 PFC Konzentrationen < 100 ng/l in See 1 nach 12,5 bzw. 18,5 Jahren erreicht (siehe Anlage 16 /2), deshalb wird von einer Förderung von mindestens 15 Jahren ausgegangen

⁴ zu Beginn höhere Konzentrationen mit zunehmender Laufzeit immer mehr abnehmend

⁵ Auf Grund der höheren Gehalte aus See1 die als Uferfiltratanteil der Sanierungsanlage zugeführt werden

Tabelle 7.6 Zusammenstellung voraussichtlicher laufender Betriebskosten Abstomsicherung pro Jahr (best case Szenario See1)

	Anzahl	Kosten Stück [€]	Gesamtkosten pro Jahr [€]
Strom		0,31	405.303
Kosten Wartung	1	40.000	40.000
Gutachterkosten	72	80	5.760
Analytik + Probenahme Sanierungsanlage	12	2.400	28.800
Analytik + Probenahme Grund- und See- wassermonitoring	2	2.500	5.000
AK-Wechsel	0,75 / 0,5 a)	90.000	67.500 / 30.000 a)
Ionentauscher Wechsel	0 / 0,25 a)	204.000,00	0 / 51.000 a)
			552.363 / 565.863 a)
15 Jahre			8.285.445 / 8.487.945 a)

a) Anlage ohne Ionentauscher / Anlage mit Ionentauscher

Tabelle 7.7 Zusammenstellung voraussichtlicher laufender Betriebskosten Abstomsicherung pro Jahr (worst case Szenario See1)

	Anzahl	Kosten Stück [€]	Gesamtkosten pro Jahr [€]
Strom		0,31	405.303
Kosten Wartung	1	40.000	40.000
Gutachterkosten	72	80	5.760
Analytik + Probenahme Sanierungsanlage	12	2.400	28.800
Analytik + Probenahme Grund- und See- wassermonitoring	2	2.500	5.000
AK-Wechsel	1,5 / 1 a)	90.000	135.000 / 90.000 a)
Ionentauscher Wechsel	0 / 0,5 a)	204.000,00	0 / 102.000 a)
			619.863 / 676.863 a)
10 Jahre			9.297.945 / 10.152.945 a)

a) Anlage ohne Ionentauscher / Anlage mit Ionentauscher

Über 15 Jahr Laufzeit ist mit laufenden Kosten zwischen 8,3 Mio. € (best case Szenario See1 und Anlage ohne Ionentauscher) und 10,2 Mio. € (worst case Szenario See1, Anlage mit Ionentauscher) zu rechnen.

7.2.3 Gesamtkosten

Die Gesamtkosten einer Abstomsicherung über 15 Jahre Laufzeit betragen zwischen ca. 11,65 Mio. €, (best case Szenario See1 und Anlage ohne Ionentauscher) und ca. 12,60 Mio. €

(worst case Szenario See1, Anlage mit Ionentauscher) plus den oben genannten noch nicht berücksichtigten Kosten.

Tabelle 7.8 Übersicht voraussichtlicher Gesamtkosten (Summe der Investitionskosten Tabelle 7.5 zzgl. Betriebskosten Tabelle 7.6 bzw. Tabelle 7.7) Abstromsicherung

	Gesamtkosten pro Jahr [€]
best case Szenario See1, Anlage ohne Ionentauscher	11.650.450
best case Szenario See1, Anlage mit Ionentauscher	11.740.450
worst case Szenario See1, Anlage ohne Ionentauscher	12.505.450
worst case Szenario See1, Anlage mit Ionentauscher	12.595.450

8 CO₂-Emission

Für die Klimabilanz der potentiellen Maßnahme zur hydraulischen Sicherung wurde unter Zugrundelegung der in Kapitel 7.1.2 bzw. 7.2.2 genannten Voraussetzungen der in der folgenden Tabelle dargestellte voraussichtliche CO₂-Bedarf abgeschätzt (Herleitung: Anlage 18).

Tabelle 8.1 Zusammenstellung voraussichtlicher CO₂ Bilanz (CO₂ in Tonnen für eine Laufzeit von 10 [Anstromsicherung] bzw. 15 Jahren [Abstromsicherung])

	Anstrom best case Szenario See1	Anstrom worst case Szenario See1	Abstrom best case Szenario See1	Abstrom worst case Szenario See1
Bau der Brunnen	2,60	2,60	6,49	6,49
Bau der Halle(n)	120,82	120,82	332,28	332,28
Verlegung von Stromkabel	1,46	1,46	1,22	1,22
Filterbetrieb ohne AIX	942,08	1.766,40	4239,36	8.125,44
Filterbetrieb mit AIX	764,68	1.550,72	3.945,60	6.622,13
Stromverbrauch	1.911,87	1.911,87	9.511,55	9.511,55
Anfahrten Analytik+Wartung	9,52	9,52	14,28	14,28
Summe ^{a)}	2.988	3.813	13.765	17.651
Durchschnittlich pro Jahr	299	381	918	1.176

a) Anlage ohne Ionentauscher (AIX)

Laut Umweltbundesamt ([CO₂-Rechner des Umweltbundesamtes](#), Stand vom 31.05.2021) liegt die durchschnittliche CO₂ Emission in Deutschland bei etwa 11,7 t CO₂ pro Person und Jahr. Als Ziel für Deutschland wird angegeben, diese Emission auf 1 t CO₂ pro Person und Jahr zu reduzieren.

9 Kosten-/Nutzenanalyse

Eine Anstromsicherung und Einleitung von gereinigtem Wasser in den See1 hat sicherlich einen positiven Effekt auf die PFC-Entwicklung in diesem See, insbesondere wenn durch die Förderung von Uferfiltrat auch das Seewasser mit gereinigt wird. Wie stark sich dieser Effekt auswirkt und wie er die PFC-Entwicklung in den nachfolgenden Seen 4 und 5 beeinflusst, ist aber nicht berechenbar, da über Wechselwirkungsprozesse in Bezug auf PFC in Seen bislang wenig Erkenntnisse und Forschungsergebnisse vorliegen, und im speziellen Fall u.a. der Einfluss des Zustroms von belastetem Grundwasser von Ost oder West in See1, die Wechselwirkungen Sediment – Seewasser, die Wechselwirkungen Biota – Seewasser, die Wechselwirkungen Biota – Sediment etc. nicht bekannt sind.

Bei den folgenden Aussagen zur Kosten-/Nutzenanalyse, die unter Berücksichtigung der relevanten Anforderungen und Kriterien gemäß LANUV MALBO Bd. 11 erstellt wurde [21], wird auf die Abstomsicherung und das best case Szenario für die PFC-Entwicklung in den Seen bei Anstromsicherung im Vergleich zum voraussichtlichen IST-Zustand eingegangen. Da es sich um eine best case Betrachtung handelt, ist zu bedenken, dass die tatsächliche PFC-Entwicklung in den Seen und dessen Abstrom auch weniger positiv ausfallen kann.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die für die Modellierung genutzten Ausgangsdaten den Stand von November 2020 widerspiegeln. Es ist zu beachten, dass sich die PFC-Situation im Untersuchungsgebiet im Zeitraum bis zu einer möglichen Umsetzung einer zusätzlichen hydraulischen Sicherung und dessen Inbetriebnahme weiter verbessert haben wird und dadurch die berechneten Effekte der Sicherung möglicherweise weniger stark ins Gewicht fallen.

Es wird von einer Laufzeit einer potentiellen zusätzlichen hydraulischen Sicherung von 10 Jahren (Anstromsicherung) bzw. 15 Jahren (Abstomsicherung) und einer durchschnittlichen PFC-Konzentration im Zulauf der Anlage von 400 ng/l (best case Szenario für die PFC-Entwicklung in See1) bzw. 1.000 ng/l (worst case Szenario für die PFC-Entwicklung in See1) ausgegangen.

Als Nutzen wurde die Erreichung von 0,1 µg/l PFC im Grund- oder Seewasser definiert.

9.1 Anstromsicherung

Für die Anstromsicherung ist mit Gesamtkosten von ca. 3,0 bis 3,4 Mio. Euro und einem CO₂-Ausstoß von 2.988 t bis 3.813 t zu rechnen (Tabelle 8.1).

Die CO₂-Emmission entspricht etwa der, die 26 bis 33 Personen in Deutschland durchschnittlich tatsächlich verbrauchen, bzw. dem ca. 299 bis 381-fach der angestrebten CO₂-Emmission pro Person.

Bei einer Anstromsicherung mit einer Grundwasserförderung von durchschnittlich 160 m³/h würden während der 10 Jahre Laufzeit insgesamt 14.016.000 m³ Wasser gefördert und bei dem best case Szenario für die PFC-Entwicklung in See1 ca. 5,6 kg beim worst case Szenario für die PFC-Entwicklung in See1 ca. 15 kg PFC entfernt. Dies würde bedeuten, dass ein kg entferntes PFC zwischen ca. 212.000 Euro (worst case Szenario für die PFC-Entwicklung in See1, Anlage ohne Ionentauscher) und ca. 550.000 Euro (best case Szenario für die PFC-Entwicklung in See1, Anlage mit Ionentauscher) kostet bzw. zwischen 254 t und 533 t CO₂ produziert.

Behelfsmäßig wird hier auf die LUBW-Studie für langlaufende Pump-and-Treat-Maßnahmen verwiesen [22], in welcher aus über 100 CKW-Schadensfällen die spezifischen Kosten je zurückgewonnenem kg CKW ermittelt wurden, um diese im Rahmen der Verhältnismäßigkeit zu überprüfen. Die mittleren Kosten pro kg entferntem CKW werden in dieser Studie für den Gesamtsanierungszeitraum mit 1.497 Euro angegeben, die Maximalkosten mit 18.750 Euro. Für PFC-Schadensfälle sind weitaus höhere Kosten zu erwarten, aufgrund der noch relativen jungen Entwicklung existieren aber noch keine ausreichenden Vergleichswerte.

Im Bereich Rondorf/Hochkirchen würde erreicht werden, dass eine Verbesserung der PFC-Belastungssituation frühestens etwa 9 bis 12 Jahren nach Inbetriebnahme der zusätzlichen hydraulischen Maßnahme erkennbar wäre. Im optimistischsten Falle wird die zusätzliche hydraulische Maßnahme im Anstrom der Seen bewirken, dass die am Ende des Modellzeitraums (ca. 19,5 Jahre) ohne weitere Maßnahmen berechnete PFC Konzentrationen (171A# 246 ng/l PFOS, 7353691# 333 ng/l PFOS) hier ca. 2,6 bis 3,6 Jahre früher erreicht wird, bzw. die am Ende des Simulationszeitraumes berechneten 100 ng/l PFC (66 ng/l PFOS) mit zusätzlicher hydraulischer Anstromsicherung ohne diese Maßnahme etwa 4 Jahre später auch eintreten würden.

9.2 Abstomsicherung

Für die Abstomsicherung ist mit Gesamtkosten von 11,65 bis 12,60 Mio. Euro und einem CO₂-Ausstoß von 13.765 t bis 17.651 t zu rechnen.

Die CO₂-Emmission entspricht etwa der, die 78 bis 101 Personen in Deutschland durchschnittlich tatsächlich verbrauchen bzw. dem ca. 918 bis 1.176-fachen der angestrebten CO₂-Emmission pro Person.

Für die Abstomsicherung wurde eine durchschnittliche Förderrate von 450 m³/h angesetzt. Während der Laufzeit von 15 Jahren würden dann insgesamt 59.130.000 m³ Wasser gefördert bei dem best case Szenario für die PFC-Entwicklung in See1 ca. 23,7 kg beim worst case Szenario für die PFC-Entwicklung in See1 ca. 49,1 kg PFC entfernt. Dies würde bedeuten, dass ein kg entferntes PFC zwischen ca. 254.500 Euro (worst case Szenario für die PFC-Entwicklung in See1, Anlage

ohne Ionentauscher) und ca. 495.500 Euro (best case Szenario für die PFC-Entwicklung in See1, Anlage mit Ionentauscher) kostet bzw. zwischen 359 t und 581 t CO₂ produziert.

Im Bereich Rondorf/Hochkirchen würde erreicht werden, dass eine Verbesserung der PFC-Belastungssituation frühestens etwa 8 bis 9 Jahren nach Inbetriebnahme der zusätzlichen hydraulischen Maßnahme erkennbar wäre. Die zusätzliche hydraulische Maßnahme im Abstrom der Seen bewirkt, dass die am Ende des Modellzeitraums (ca. 19,5 Jahre) ohne weitere Maßnahmen berechnete PFC Konzentrationen (171A# 246 ng/l PFOS, 7353691# 333 ng/l PFOS) hier ca. 5,3 bis 5,4 Jahre früher erreicht wird.

9.3 Nutzenermittlung

In Anlehnung an die Anforderungen und Kriterien gemäß LANUV MALBO Bd. 11 [21], wurde für die Szenarien IST-Zustand (Szenario 1), Anstromsicherung Seen (Szenario 2) und Abstromsicherung Seen (Szenario 4) der Nutzen ermittelt. Der Nutzen (Erreichung von 0,1 µg/l PFC im Grund- oder Seewasser) wird über das Kriterium

- **Auswirkungen**

abgebildet. Das Kriterium Wirksamkeit wurde nicht weiter betrachtet, da das Sanierungsverfahren für alle Szenarien das selbe ist und die Wirksamkeit somit einheitlich bewertet wird. Die Auswirkungen werden über die folgende Indikatoren, die ihrerseits gewichtet sind (Werte Gi in eckigen Klammern) aufgefächert

- Auswirkungen
 - **Dauer bis zur Aufhebung der Allgemeinverfügung** im Bereich Rondorf/Hochkirchen **[45%]**
 - **Badenutzung der Seen** **[25%]**
 - **ökologischer Zustand der Seen** **[10%]**
 - **CO₂-Bilanz** (best case Betrachtung) **[10%]**
 - **Beeinträchtigung der Umwelt durch in Anspruch genommene Flächen** **[10%]**.

Für die jeweiligen Indikatoren werden Bewertungspunkte (Pi) von 1 bis 5 vergeben, wobei eine höhere Punktzahl die bessere Bewertung ausdrückt. Eine Übersicht über die Bewertungspunkte ist der Anlage 19 und das Ergebnis der Nutzenermittlung den folgenden Tabellen (Tabelle 9.1 bis Tabelle 9.3) zu entnehmen.

Als Grenzwert für die Badenutzung der Seen wird vom Umweltbundesamt ein Höchstwert von 7.000 ng/l angegeben (E-Mail vom 29.10.2020 an die Stadt Köln). Da alle betrachteten Seen unterhalb dieses Höchstwertes liegen, wurden für diesen Indikator bei allen Szenarien 5 Punkte vergeben.

Tabelle 9.1 Nutzenermittlung IST-Zustand (Szenario 1)

Kriterien	Indiaktoren [Wichtung Gi in %]	Punkte [Pi]	Punkte [Gi]
Auswirkungen	Dauer bis zur Aufhebung der Allgemeinverfügung [45]	1	0,45
	Badenutzung der Seen [25]	5	1,25
	ökologischer Zustand der Seen [10]	3	0,3
	CO ₂ -Bilanz (best case) [10]	5	0,5
	Beeinträchtigung der Umwelt durch in Anspruch genommene Flächen [10]	5	0,5
Summe Auswirkungen	[100]	19	3,0

Tabelle 9.2 Nutzenermittlung Anstromsicherung Seen (Szenario 2)

Kriterien	Indiaktoren [Wichtung Gi in %]	Punkte [Pi]	Punkte [Gi]
Auswirkungen	Dauer bis zur Aufhebung der Allgemeinverfügung [45]	2	0,9
	Badenutzung der Seen [25]	5	1,25
	ökologischer Zustand der Seen [10]	4	0,4
	CO ₂ -Bilanz (best case) [10]	3	0,3
	Beeinträchtigung der Umwelt durch in Anspruch genommene Flächen [10]	4	0,4
Summe Auswirkungen	[100]	18	3,25

Tabelle 9.3 Nutzenermittlung Abstomsicherung Seen (Szenario 4)

Kriterien	Indiaktoren [Wichtung Gi in %]	Punkte [Pi]	Punkte [Gi]
Auswirkungen	Dauer bis zur Aufhebung der Allgemeinverfügung [45]	3	1,35
	Badenutzung der Seen [25]	5	1,25
	ökologischer Zustand der Seen [10]	3	0,3
	CO ₂ -Bilanz (best case) [10]	2	0,2
	Beeinträchtigung der Umwelt durch in Anspruch genommene Flächen [10]	3	0,3
Summe Auswirkungen	[100]	16	3,40

Es ist zu erkennen, dass bei der absoluten Punktzahl (Pi) das Szenario 1 (IST-Zustand) mit 19 Punkten am besten abscheidet, gefolgt vom Szenario 2 (Anstromsicherung Seen) mit 18 und Szenario 3 (Abstomsicherung Seen) mit 16 Punkten. Nach Berücksichtigung der Gewichtungen ist das Szenario 3 (Abstomsicherung Seen) mit 3,40 das Szenario mit dem größten Nutzen, gefolgt von Szenario 2 (Anstromsicherung Seen) mit 3,25 Punkten und Szenario 1 (IST-Zustand) mit 3,0 Punkten. Insgesamt liegen die Nutzen der drei Szenarien dicht beisammen. Ein aussagefähigeres Ergebnis liefert das Nutzen-Kosten-Verhältnis.

9.4 Nutzen-Kosten Verhältnis

Das Nutzen-Kosten-Verhältnis berechnet sich über den Quotienten aus der in Kapitel 9.3 ermittelten gewichteten Punktzahl des jeweiligen Szenarios (quantifizierter Nutzen) und den dazugehörigen Kosten. Für die Kosten wurden jeweils die günstigsten Varianten des jeweiligen Szenarios eingesetzt, zuzüglich der Betriebskosten der laufenden Quellsanierung über die für das jeweilige Szenario angesetzte Laufzeit. Für das Szenario 1 (Laufzeit 10 Jahre) wurden demzufolge nur die Betriebskosten der laufenden Quellsanierung zugrunde gelegt.

Zur besseren Lesbarkeit des Nutzen-Kosten-Verhältnis wurden die Kosten mit dem Faktor 10^{-7} multipliziert.

Tabelle 9.4 Nutzen-Kosten Verhältnis

	IST-Zustand (Szenario 1)	Anstromsicherung Seen (Szenario 2)	Abstromsicherung Seen (Szenario 4)
quantifizierter Nutzen	3,00	3,25	3,4
Kosten in Euro	2.750.000	5.700.020	15.775.450
Nutzen-Kosten-Verhältnis	11,00	5,70	2,16

Das Nutzen-Kosten Verhältnis zeigt, dass das Szenario 1 (IST-Zustand) deutlich vor dem Szenario 2 (Anstromsicherung Seen) und dem Szenario 3 (Abstromsicherung Seen) liegt.

9.5 Aktuell laufende Maßnahmen

Wie bereits oben beschrieben, betreibt die Basell Polyolefine GmbH seit 2014 erfolgreich eine Pump-and-Treat-Maßnahme zur Sanierung bzw. Sicherung eines Grundwasserschadens durch Per- und Polyfluorierte Chemikalien (PFC), eingetragen im Bereich des Gastanklager J500.

Die Firma Horst betreibt zur Kieswäsche eine Sanierungsanlage, welche auf 60 m³/h ausgelegt ist. Sie läuft während der Betriebszeit der Kieswaschanlage, also ca. 7,5 h am Tag, und fördert Uferfiltrat des See1. Das auf unter 100 ng PFC/l gereinigte Wasser wird in See2 eingeleitet.

Die Ausbreitung der PFC-Fahne in Richtung Norden wird durch Wasserfassung Hochkirchen der RheinEnergie gestoppt. Das zur Trinkwasserversorgung geförderte Wasser wird durch die RheinEnergie auf Trinkwasserqualität gereinigt. Die Kostenübernahme für den zusätzlichen Reinigungsaufwand durch die PFC-Belastung wird zwischen der RheinEnergie und Basell Polyolefine GmbH geklärt.

Die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung wird durch die RheinEnergie sichergestellt.

Aktuelle Untersuchungen der Kölner Böden haben belegt, dass sich durch das Bewässern mit Grundwasser im Bereich der PFC-Fahne die PFC im Boden anreichern ([PFC in Köln - Stadt Köln \(stadt-koeln.de\)](#)). Um eine weitere Schadstoffverteilung in bisher unbelastete Bereiche sowie die Schadstoffanreicherung in Böden und in der Nahrungskette zu vermeiden, hat das Umwelt- und Verbraucherschutzamt am 6. Mai 2020 eine Allgemeinverfügungen erlassen, mit denen die

Verwendung von Grundwasser und Wasser aus Oberflächengewässern zu Bewässerungszwecken untersagt wird. Bereits seit 2015 galt die Empfehlung, aus Vorsorgegründen das Grundwasser in den betroffenen Bereichen nicht zur Bewässerung im Garten oder zur Befüllung von Schwimmbädern zu nutzen. Die betroffenen Haushalte mit Brunnen, die der Stadt von den Grundstücksbesitzern angezeigt worden sind, wurden darüber schriftlich informiert. Im Jahr 2018 wurde diesen Haushalten von der Basell Polyolefine GmbH in Abstimmung mit der Stadt Köln angeboten, die Kosten für den professionellen Rückbau der Gartenbrunnen zu übernehmen sowie eine Einmalzahlung für Mehrkosten einer anderweitigen Wasserversorgung vorzunehmen.

9.6 Gesamtbeurteilung und Empfehlung

Mit Kosten zwischen ca. 212.000 Euro und ca. 550.000 Euro bzw. ca. 254.500 Euro und ca. 495.500 Euro pro entferntem kg PFC liegen die Maßnahmen zur hydraulischen An- bzw. Abstomsicherung in etwa der gleichen Größenordnung. Gleiches gilt für die CO₂-Bilanz mit einer Spannweite zwischen 254 t und 533 t bzw. zwischen 359 t und 581 t pro Kilogramm PFC. Auf Grund des höheren Grundwasserförderbedarfs bei der Abstomsicherung sind die absoluten Kosten und CO₂-Ausstöße bei der Abstomsicherung mit 11,65 bis 12,60 Mio. Euro und 13.765 t bis 17.651 t CO₂ ca. 4-fach höher als bei der Anstomsicherung (3,0 bis 3,4 Mio. Euro und CO₂-Ausstoß von 2.988 t bis 3.813 t).

Mit 3,0 bis 3,4 Mio Euro werden die Gesamtkosten für die Anstomsicherung der Seen als moderat eingeschätzt. Allerdings ist der Einfluss der Anstomsicherung auf die PFC-Entwicklung in den Seen, und somit auch in dessen Abstrom, ungewiss und die getroffenen Annahmen demzufolge mit Unsicherheiten behaftet. Unter Annahme eines best case Szenarios für die PFC-Entwicklung in den Seen setzt der Einfluss einer hydraulischen Anstomsicherung im Bereich Rondorf/Hochkirchen nach etwa 9 bis 12 Jahren ein. In diesem Bereich werden die PFOS-Gehalte, die am Ende des Simulationszeitraums ohne Sicherung auftreten, mit der hydraulischen Anstomsicherung im besten Fall etwa 2,6 bis 3,6 Jahre früher erreicht. PFC-Gehalte um die 100 ng/l werden im Bereich Rondorf/Hochkirchen mit Anstomsicherung im besten Fall etwa nach 19,5 Jahren erreicht, ohne Anstomsicherung in etwa 4 Jahre später.

Auf Grund der Tatsache, dass der Einfluss der Anstomsicherung auf die PFC-Entwicklung in den Seen ungewiss, eine PFC-Belastung des Grundwassers von ca. 100 ng/l im Bereich Rondorf/Hochkirchen bestenfalls nach etwa 20 Jahren und damit nur etwa 4 Jahre früher erreicht wird als ohne zusätzliche Förderung und sich die PFC-Situation bis zum Umsetzen der Maßnahme weiter verbessert haben wird, kann eine Anstomsicherung aus gutachterlicher Sicht nicht empfohlen werden. Betrachtet man zudem den Nutzen-Vergleich ist zu erkennen, dass der quantifizierte Nutzen einer Anstomsicherung mit etwa 8 % nur geringfügig höher ist, als beim Szenario des IST-Zustandes. Dieser geringe Nutzenvorteil steht in keinem Verhältnis zu den zu erwartenden Kosten für die Anstomsicherung, was eindeutig gegen diese Maßnahme spricht.

Mit mindestens 11,65 bis 12,6 Mio. Euro werden die Gesamtkosten für die Abstomsicherung der Seen als sehr hoch eingeschätzt. Eine Abstomsicherung der Seen wirkt sich relativ schnell positiv auf die PFC-Entwicklung im Bereich der Messtelle Immendorf F# aus, da sich diese in der Nähe

der Sanierungsbrunnen befindet. Im Bereich Rondorf/Hochkirchen setzt der Einfluss der Abstomsicherung etwa 2 bis 3 Jahre früher ein als bei der best-case Betrachtung der Anstromsicherung. Bei der Abstomsicherung ist zunächst eine stärkere Abnahme PFOS Gehalte im Vergleich zur Anstromsicherung zu erkennen, mit zunehmender Sanierungsdauer nähern sich die Kurven der An- und Abstomsicherung jedoch an. Die PFOS-Gehalte, die in diesem Bereich am Ende des Simulationszeitraums ohne Sicherung auftreten, werden mit der hydraulischen Abstomsicherung in etwa 5,3 bis 5,4 Jahre früher erreicht und somit 2 bis 3 Jahre eher als bei der Anstromsicherung.

Auf Grund der hohen Kosten und der relativ hohen CO₂-Emmision wird eine hydraulische Maßnahme im Abstrom der Seen, auch in Bezug auf die prognostizierten Entwicklungen im weiteren Fahrenverlauf, als unverhältnismäßig angesehen, zumal sich, wie schon oben erwähnt, die PFC-Situation bis zum Umsetzten der Maßnahme weiter verbessert haben wird. Betrachtet man zudem den Nutzen-Vergleich ist zu erkennen, dass der quantifizierte Nutzen einer Abstomsicherung etwa 13 % ebenfalls nur geringfügig höher ist, als beim Szenario des IST-Zustandes. Der geringe Nutzenvorteil steht in keinem Verhältnis zu den zu erwartenden hohen Kosten, was eindeutig gegen diese Maßnahme spricht. Bedenkt man zusätzlich den enormen Aufwand, der zur Entsorgung/Wiedereinleitung des geförderten Grundwassers betrieben werden muss, kann die Umsetzung dieser Maßnahme aus gutachterlicher Sicht keinesfalls empfohlen werden.

In der Betrachtung fand auch Berücksichtigung, dass die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung durch die RheinEnergie sichergestellt wird und im Zusammenspiel der Allgemeinverfügung und des Angebots der Basell Polyolefine GmbH⁶ die negativen Einflüsse der PFC-Belastung sowohl für die Bevölkerung, in Bezug auf die Gesundheitsgefährdung und finanzielle Mehrbelastung, als auch die Böden (Bewässerung mit sauberem Trinkwasser) minimiert wurden.

⁶ Für die Haushalte, die von der durch die Basell Polyolefine GmbH verursachten PFC-Belastung betroffenen sind, werden die Kosten für den professionellen Rückbau der Gartenbrunnen übernommen sowie eine Einmalzahlung für Mehrkosten einer anderweitigen Wasserversorgung vorgenommen.

10 Verwendete Unterlagen

10.1 Übersicht Berichterstattung

- [1] Dr. Stupp Consulting (12.12.2011): Detailuntersuchung der PFT-Verunreinigung im Bereich des Gastanklagers der Basell Polyolefine GmbH in Wesseling. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [2] TAUW GmbH (25.07.2012): Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis zur Grundwasserförderung und Einleitung von gereinigtem Grundwasser in den Rhein im Rahmen der Grundwassersanierung Gastanklager J500 (§ 8WHG) und zum Bau und Betrieb einer Abwasserbehandlungsanlage (§58.2 LWG). Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [3] TAUW GmbH (02.08.2012): Sanierungsuntersuchung der PFT-Verunreinigung im Bereich des Gastanklagers der Basell Polyolefine GmbH in Wesseling. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [4] TAUW GmbH (21.02.2013): Detailuntersuchung der PFT-Verunreinigung in der Fahne nördlich des Gastanklagers. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [5] TAUW GmbH (16.07.2013): Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis zur Grundwasserförderung und Einleitung von gereinigtem Grundwasser in den Rhein im Rahmen der Grundwassersanierung Gastanklager J500 (§ 8WHG). Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [6] TAUW GmbH (14.11.2013): Sanierungskonzept im Bereich Gastanklager der Basell Polyolefine GmbH, Wesseling. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [7] TAUW GmbH (02.07.2014): Abschlussbericht Pilot-Sanierungsanlage. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [8] TAUW GmbH (11.11.2014): Bericht zum potentiellen Eintrag im Bereich des Tanklagers DE-Feld im Süden des Werksgeländes der Basell Polyolefine GmbH in Wesseling. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [9] TAUW GmbH (19.05.2015): Jahresbericht zur Grundwassersanierung März 2014 bis Ende Februar 2015. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [10] TAUW GmbH (24.06.2015): Kurzbericht Bodenuntersuchungen auf einer landwirtschaftlichen Fläche südlich der Seen. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [11] TAUW GmbH (29.09.2015): Monitoringbericht Bereich des Tanklagers DE-Feld im Süden des Werksgeländes der Basell Polyolefine GmbH in Wesseling. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [12] TAUW GmbH (20.10.2015): Nachtrag Monitoringbericht Bereich des Tanklagers DE-Feld im Süden des Werksgeländes der Basell Polyolefine GmbH in Wesseling. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.

- [13] TAUW GmbH (15.04.2016): Monitoringbericht September 2015 bis Februar 2016 Bereich Tanklager DE-Feld im Süden des Werksgeländes der Basell Polyolefine GmbH in Wesseling. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [14] TAUW GmbH (09.08.2016): Jahresbericht zur Grundwassersanierung März 2015 bis Ende Mai 2016. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [15] TAUW GmbH (05.10.2016): Antrag auf Änderung der Untersuchungsintervalle entsprechend der Nebenbestimmungen 12 der wasserrechtlichen Erlaubnis vom 28.03.2014 (AZ: 54.1-1.2-(11.0)-70). Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [16] TAUW GmbH (22.06.2017): Jahresbericht zur Grundwassersanierung Juni 2016 bis Ende April 2017. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [17] TAUW GmbH (17.08.2018): Jahresbericht zur Grundwassersanierung Mai 2017 bis Ende April 2018. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [18] TAUW GmbH (16.05.2019): Zwischenbericht zur Erhöhung der Förderrate am Tankfeld J500. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [19] TAUW GmbH (14.06.2019): Jahresbericht zur Grundwassersanierung Mai 2018 bis Ende April 2019. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.
- [20] TAUW GmbH (03.02.2020): Zwischenbericht zur Erhöhung der Förderrate am Tankfeld J500, Berichtszeitraum August 2019 bis Januar 2020. Auftraggeber: Basell Polyolefine GmbH Werk Wesseling.

10.2 Literatur

- [21] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen LANUV (2000): Arbeitshilfe Anforderungen an eine Sanierungsuntersuchung unter Berücksichtigung von Nutzen-Kosten-Aspekten, Materialien zur Altlastensanierung und zu Bodenschutz MALBO Bd. 11, 261 S.
- [22] LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2012 und 2020): Ermittlung fachtechnischer Grundlagen zur Vorbereitung der Verhältnismäßigkeit von langlaufenden Pump-and-Treat-Maßnahmen und Fortschreibung zur Entwicklung einer standardisierten Vorgehensweise.
- [23] Umweltbundesamt (06/2020): Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen, TEXTE 137/2020
- [24] Züblin (03/2018): PFC-Grundwassersanierungen: Stand der Technik und Kostenvergleich, Sonderdruck aus Handbuch Altlastensanierung und Flächenmanagement (HdA) 83. Aktualisierung, 3. Aufl

10.3 Genehmigungen/Behördenbescheide

- [25] Bezirksregierung Köln (29.10.2013): Genehmigung AZ: 54.2-3.2-(3.10)-1.3-fn zum Bau und Betrieb eine Grundwasserreinigungsanlage im Gastanklager J500.

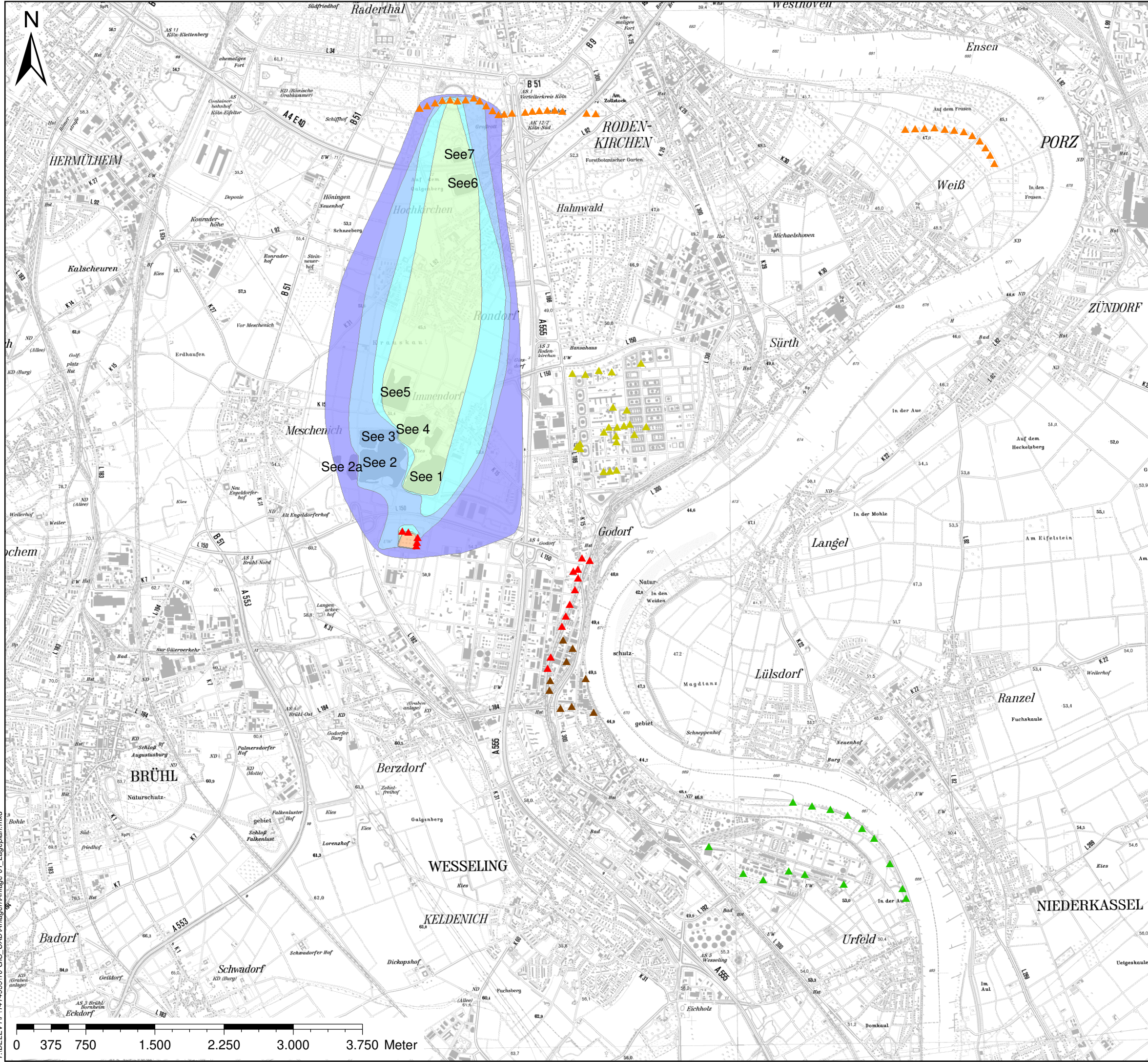
- [26] Bezirksregierung Köln (28.03.2014): Erlaubnisbescheid AZ: 54.1-1.2-(11.0)-70 zur Förderung und Einleitung von maximal 68 m³/h zum Zwecke der Sanierung einer Grundwasserverunreinigung im Rahmen der Grundwassersanierung Gastanklager J500.
- [27] Bezirksregierung Köln (17.11.2014): Änderungsbescheid zum Erlaubnisbescheid AZ: 54.1-1.2-(11.0)-70.
- [28] Bezirksregierung Köln (26.01.2017): AZ: 52.04-5(11.0) PFT Immendorf Grundwassersanierung des PFT-Schadens am Gastanklager J500, Anpassung des Monitoringprogramms.
- [29] Bezirksregierung Köln (21.06.2017): Änderungsbescheid zum Erlaubnisbescheid AZ: 54.1-1.2-(11.0)-70 Änderung der Untersuchungsintervalle.
- [30] Bezirksregierung Köln (15 + 19.11.2018): AZ: 52.04-5(11.0) PFT Immendorf Grundwassersanierung des PFT-Schadens am Gastanklager J500, Anpassung des Monitoringprogramms.
- [31] Bezirksregierung Köln (14.12.2018): AZ: 52.04-5(11.0) PFT Immendorf Grundwassersanierung des PFT-Schadens am Gastanklager J500, Erhöhung der Förderrate an den Sanierungsbrunnen am Tankfeld J500, Ordnungsverfügung
- [32] Bezirksregierung Köln (18.07.2019): Grundwassersanierung des PFT-Schadens am Gastanklager J500, Erhöhung der Förderrate an den Sanierungsbrunnen am Tankfeld J500, Ordnungsverfügung



Unser Zeichen R001-1414959SWG-V04

Anlage 1

Lageplan



Legende

Brunnen (generalisiert)

Betreiber

- Basell, Wesseling
- SDO, RRS
- Evonik, Wesseling
- Rheinergie AG, Koeln
- SDO, RRN

PFT-Konzentration Nov. 2020 [ng/l]

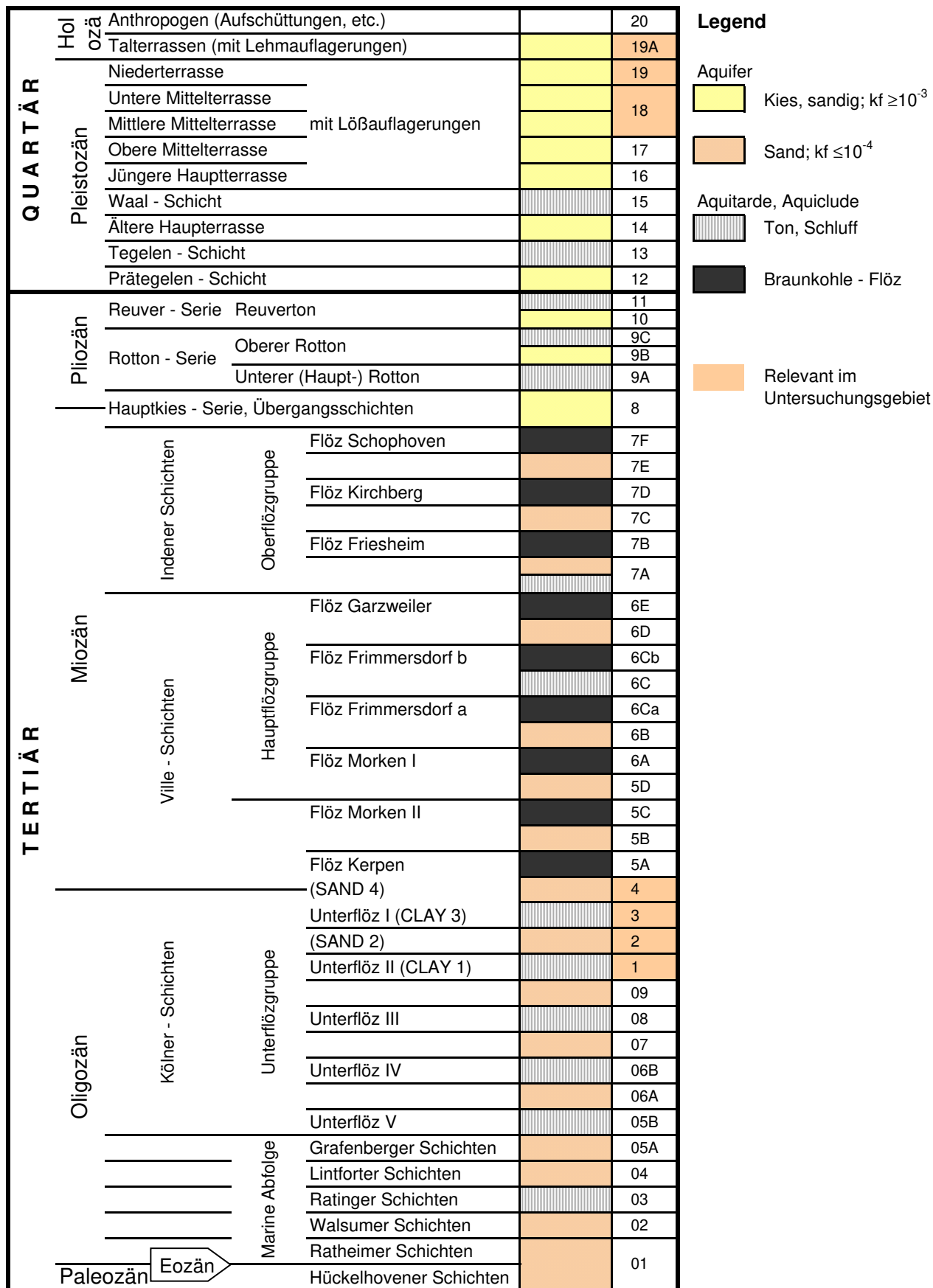
- 0-100
- 101-500
- 501-1000
- 1001-5000
- 5001-10000
- 10001-20000
- > 20000

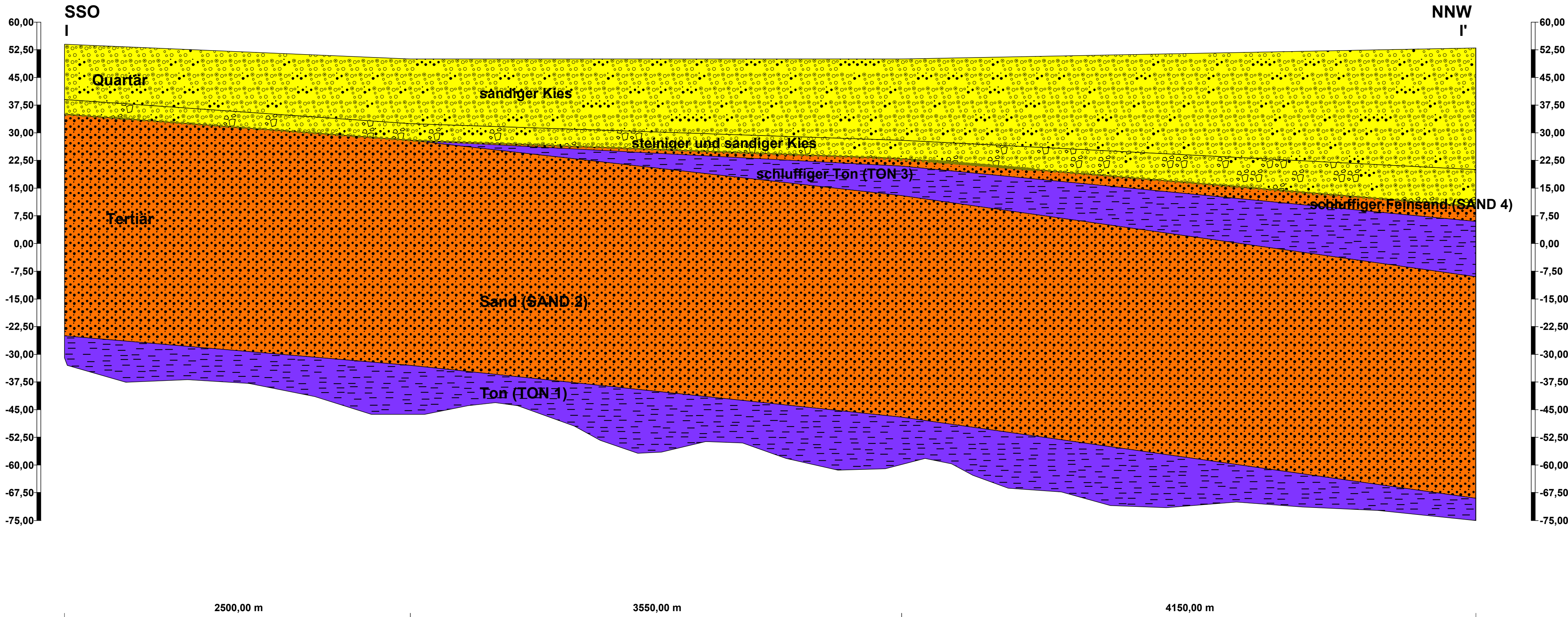
	Datum:	Name:
Bearbeitung:	04.05.2021	SWG
Geprüft:	17.05.2021	DOM
Auftraggeber: Stadt Köln		
 TAUW GmbH www.tauw.de info@tauw.de		
Koordinatensystem:	Gauß Krüger	
Grundlage:	TK25, Vermessungsamt NRW	
Maßstab:	1:40.000	Blattgröße: 420 x 297 mm (A3)
Projekt:	Kosten-/Nutzenanalyse	
Bericht:	Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden	
Anlagentitel:	Lageplan	
Proj.-Nr.: 1414959	Version: 01	Anlage 1

Anlage 2 Geologie (schematisch)

Geologisches Standardprofil der Niederrheinischen Bucht

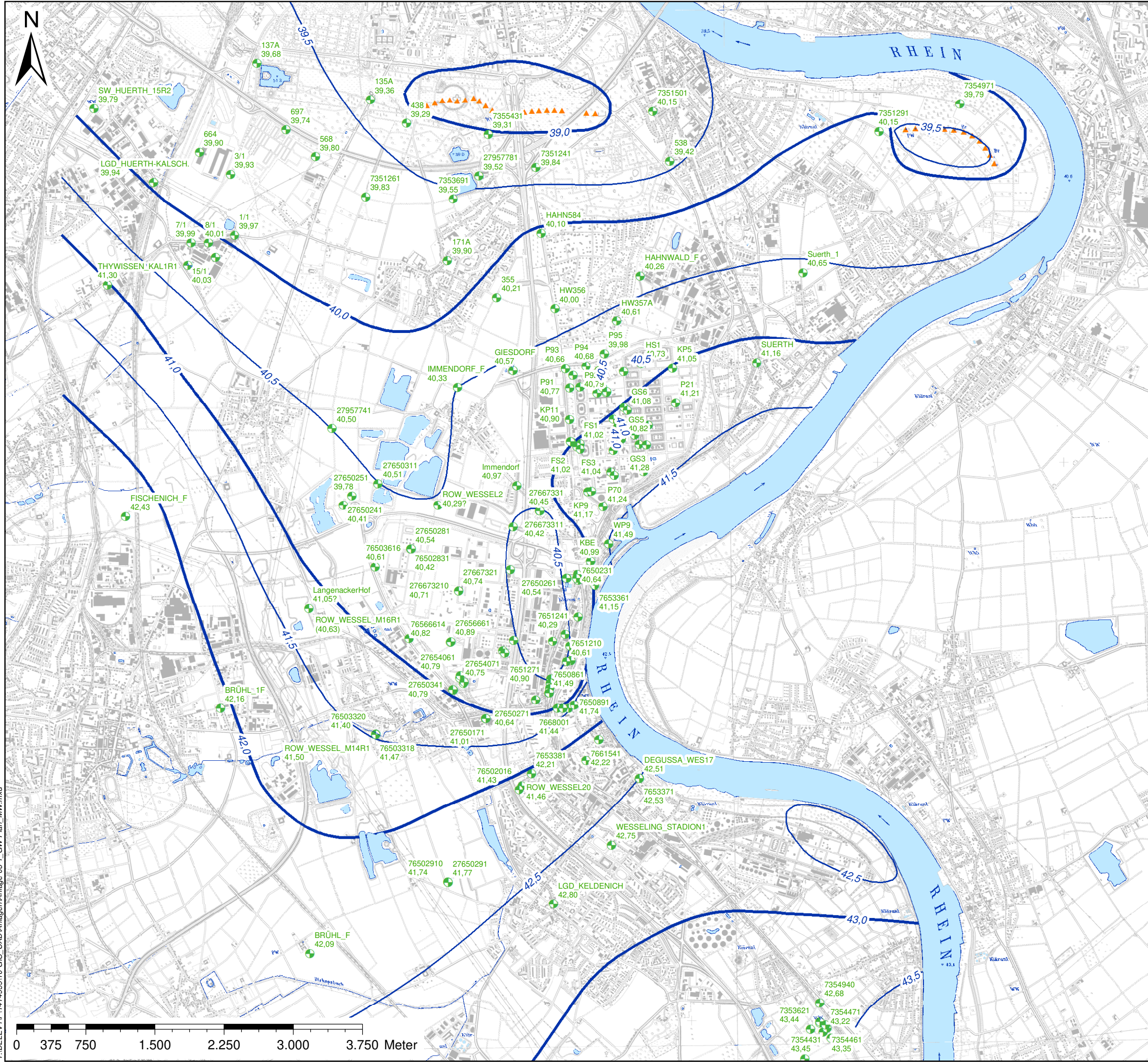
(Quelle: Rheinbraun AG, 1986)





Anlage 3

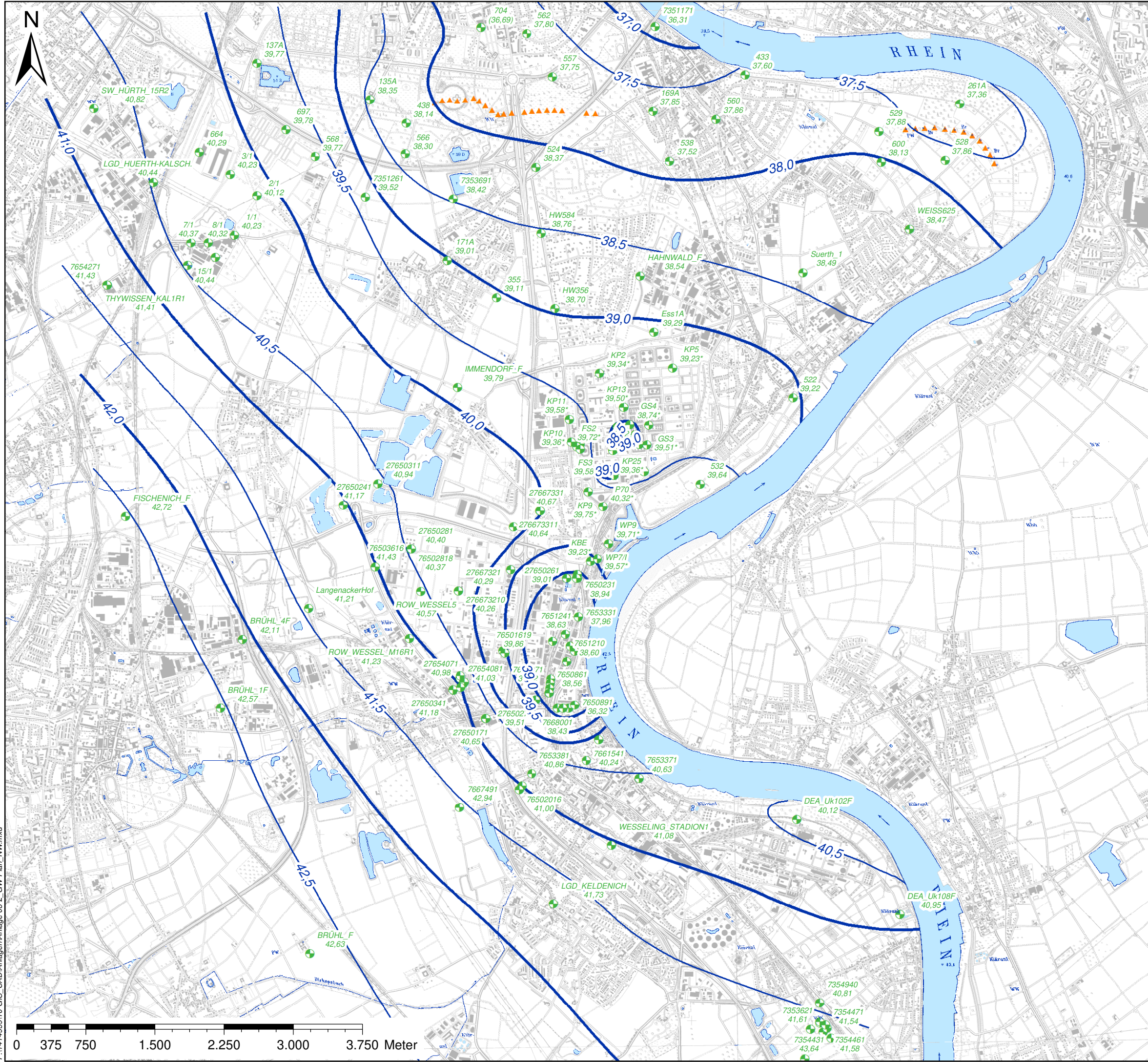
Grundwassergleichenpläne Untersu- chungsgebiet



Legende

- GW-Messstelle
- Linien gleicher GW-Stände [m+NN]
 - 1,0 m - Isolinie
 - 0,5 m Isolinie
- Brunner (generalisiert)
 - ▲ Rheinenergie AG, Koeln

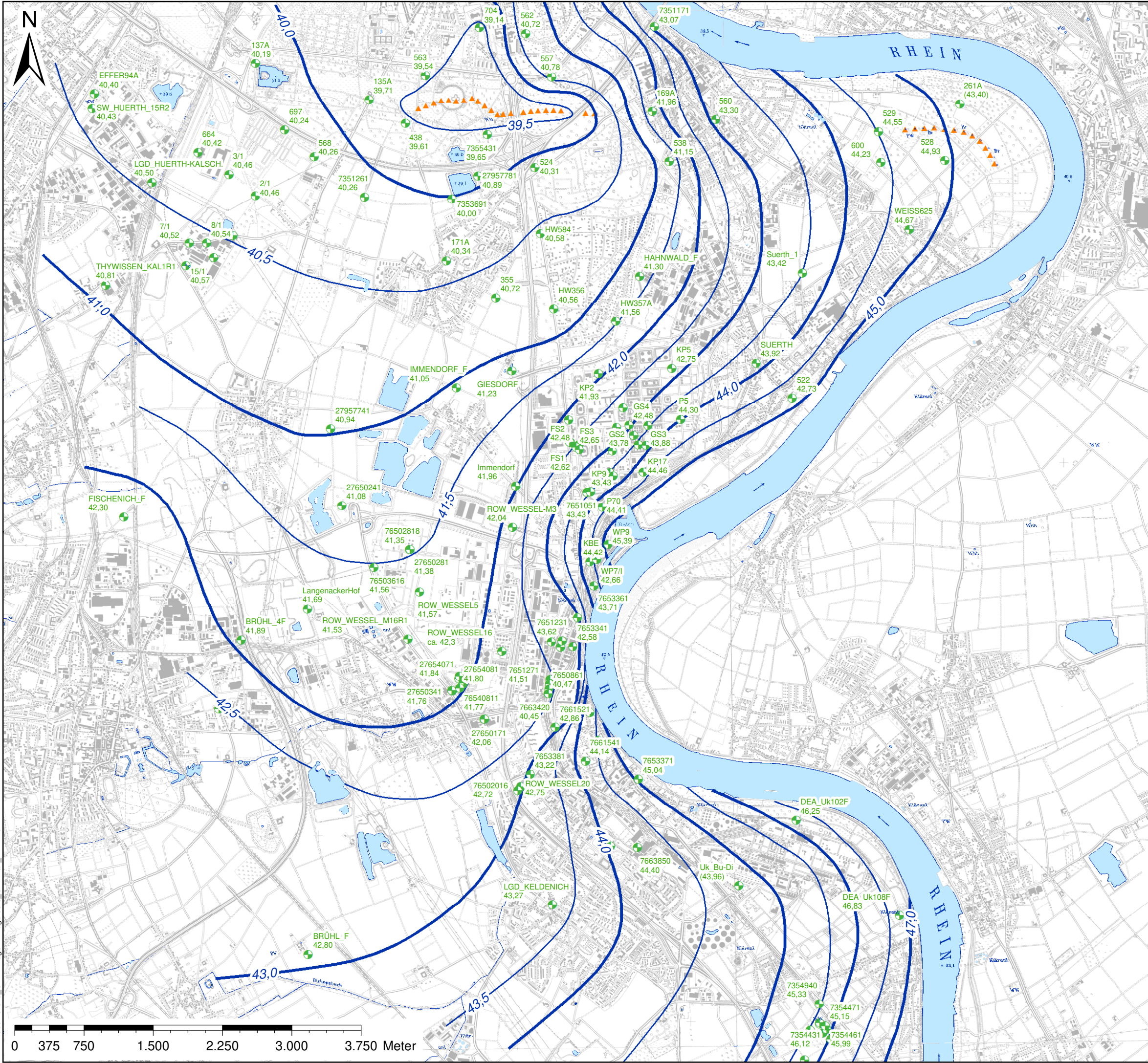
	Datum:	Name:
Bearbeitung:	04.05.2021	SWG
Geprüft:	17.05.2021	DOM
Auftraggeber: Stadt Köln		
TAUW TAUW GmbH www.tauw.de info@tauw.de		
Koordinatensystem:	Gauß Krüger	
Grundlage:	TK25, Vermessungsamt NRW	
Maßstab:	1:40.000	Blattgröße: 420 x 297 mm (A3)
Projekt:	Kosten-/Nutzenanalyse	
Bericht:	Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden	
Anlagentitel:	Grundwassergleichenplan Mittelwasser (Stichtag 28.05.2005)	
Proj.-Nr.: 1414959	Version: 01	Anlage 3/1



Legende

- GWMesstelle
- Linien gleicher GWStände [m+NN]
 - 1,0 m - Isolinie
 - 0,5 m Isolinie
- Brunnen (generalisiert)
- Betreiber
 - Rheinenergie AG, Koeln

	Datum:	Name:
Bearbeitung:	04.05.2021	SWG
Geprüft:	17.05.2021	DOM
Auftraggeber: Stadt Köln		
 TAUW GmbH www.tauw.de info@tauw.de		
Koordinatensystem:	Gauß Krüger	
Grundlage:	TK25, Vermessungsamt NRW	
Maßstab:	1:40.000	Blattgröße: 420 x 297 mm (A3)
Projekt:	Kosten-/Nutzenanalyse	
Bericht:	Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden	
Anlagentitel:	Grundwassergleichenplan Niedrigwasser (Stichtag 24.09.2003)	
Proj.-Nr.: 1414959	Version: 01	Anlage 3/2



Legende

- GW-Messstelle
- Linien gleicher GW-Stände [m+NN]
 - 1,0 m - Isolinie
 - 0,5 m Isolinie
- Brunnen (generalisiert)
- Betreiber
 - Rheinenergie AG, Koeln

	Datum:	Name:
Bearbeitung:	04.05.2021	SWG
Geprüft:	17.05.2021	DOM
Auftraggeber: Stadt Köln		
 TAUW GmbH www.tauw.de info@tauw.de		
Koordinatensystem:	Gauß Krüger	
Grundlage:	TK25, Vermessungsamt NRW	
Maßstab:	1:40.000	Blattgröße: 420 x 297 mm (A3)
Projekt:	Kosten-/Nutzenanalyse	
Bericht:	Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden	
Anlagentitel:	Grundwassergleichenplan Hochwasser (Stichtag 29.03.2001)	
Proj.-Nr.: 1414959	Version: 01	Anlage 3/3

Anlage 4 Grundwassergleichenpläne Bereich Gastanklager



Legende

- ▲ Förderbrunnen
 - Grundwassermessstelle
 - ▲ Sanierungsbrunnen
 - ▬ Oberflächengewässer
 - Brunnen Basell
- Linien gleicher GW-Stände [mNN]**
- ~ 1,0 m Isolinie
 - ~ 0,5 m Isolinie
 - ~ 0,1 m Isolinie

	Datum:	Name:	Maßstab:	1:15.000	Blattgröße: 297 x 420 mm (A3)
Bearbeitung:	04.05.2021	SWG	Projekt:	Kosten-/Nutzenanalyse	
Geprüft:	17.05.2021	DOM			
Auftraggeber: Stadt Köln			Bericht:	Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden	
 TAUW GmbH www.tauw.de info@tauw.de			Anlagentitel:	Grundwassergleichenplan Stichtag 24.11.2020	
Koordinatensystem:	Gauß-Krüger				
Grundlage:	TK25, Vermessungsamt NRW		Proj.-Nr.: 1414959	Version: 01	Anlage 4/1



Legende

- ▲ Förderbrunnen
 - Grundwassermessstelle
 - ▲ Sanierungsbrunnen
 - ▬ Oberflächengewässer
 - Brunnen Basell
- Linien gleicher GW-Stände [mNN]**
- ~ 1,0 m Isolinie
 - ~ 0,5 m Isolinie
 - ~ 0,1 m Isolinie

	Datum:	Name:	Maßstab:	Blattgröße:
Bearbeitung:	04.05.2021	SWG	1:15.000	297 x 420 mm (A3)
Geprüft:	17.05.2021	DOM	Projekt:	Kosten-/Nutzenanalyse
Auftraggeber: Stadt Köln			Bericht:	Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden
 TAUW GmbH www.tauw.de info@tauw.de			Anlagentitel:	Grundwassergleichenplan Stichtag 08.02.2021
			Proj.-Nr.:	1414959
Koordinatensystem:	Gauß-Krüger		Version:	01
Grundlage:	TK25, Vermessungsamt NRW		Anlage 4/2	

Anlage 5 Lageplan mit Darstellung des PFC-Mo- nitoring Programms



Legende

Intervall Monitoring PFC

- monatlich
- 3-monatlich
- halbjährlich
- Brunnen Wasserfassung RheinEnergie

Anlagenstil
Behördliche Festlegung Monitoring PFC vom 19.11.2018

Berichtstil
Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden

Projektname
Kosten-/Nutzenanalyse

Auftraggeber
Stadt Köln

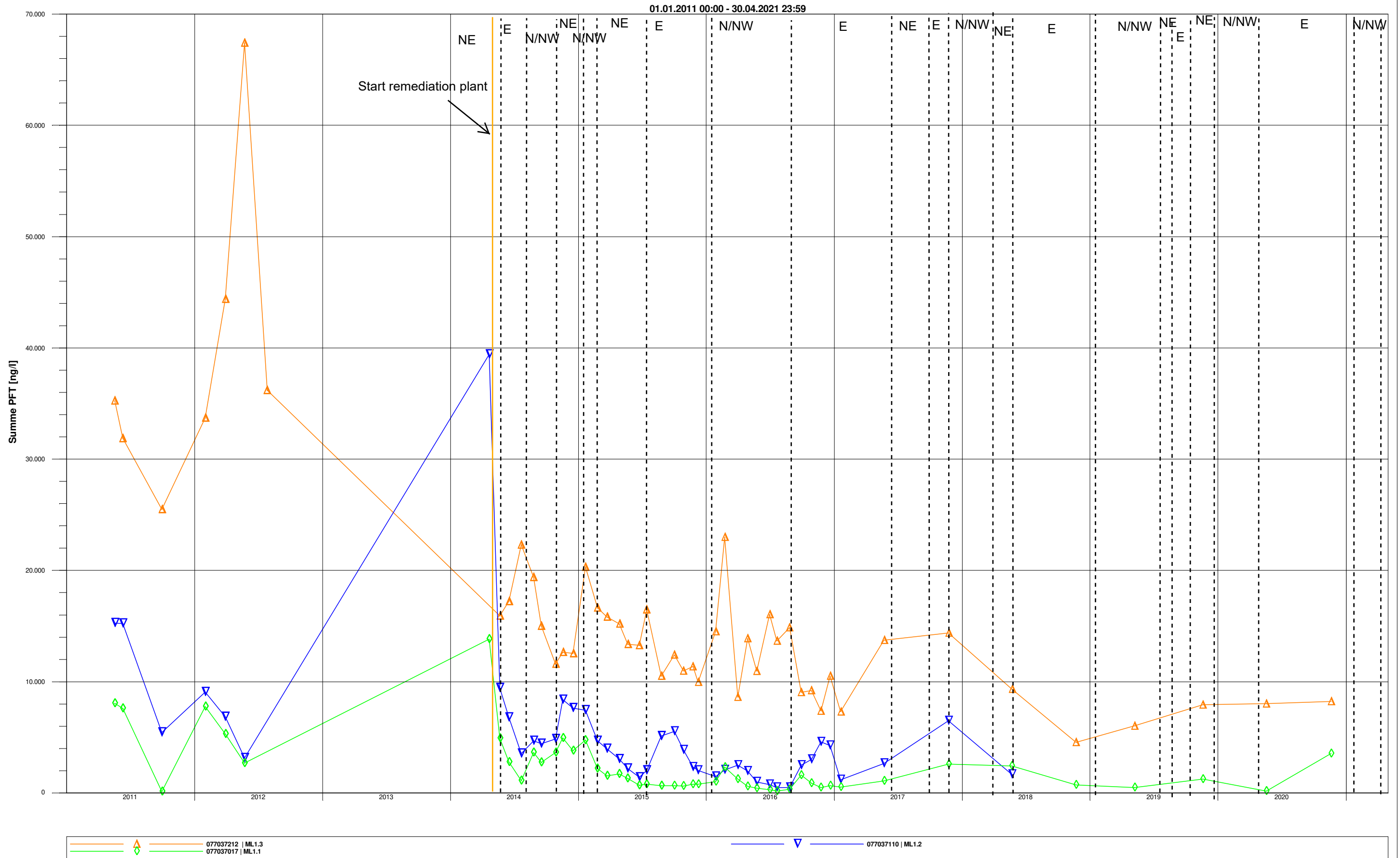
Projekt-Nr 1414959	Zeichen SWG	Datum 31.03.2021
Maßstab 1:10.000	Version	Geprüft

TAUW

Anlage 5

Anlage 6

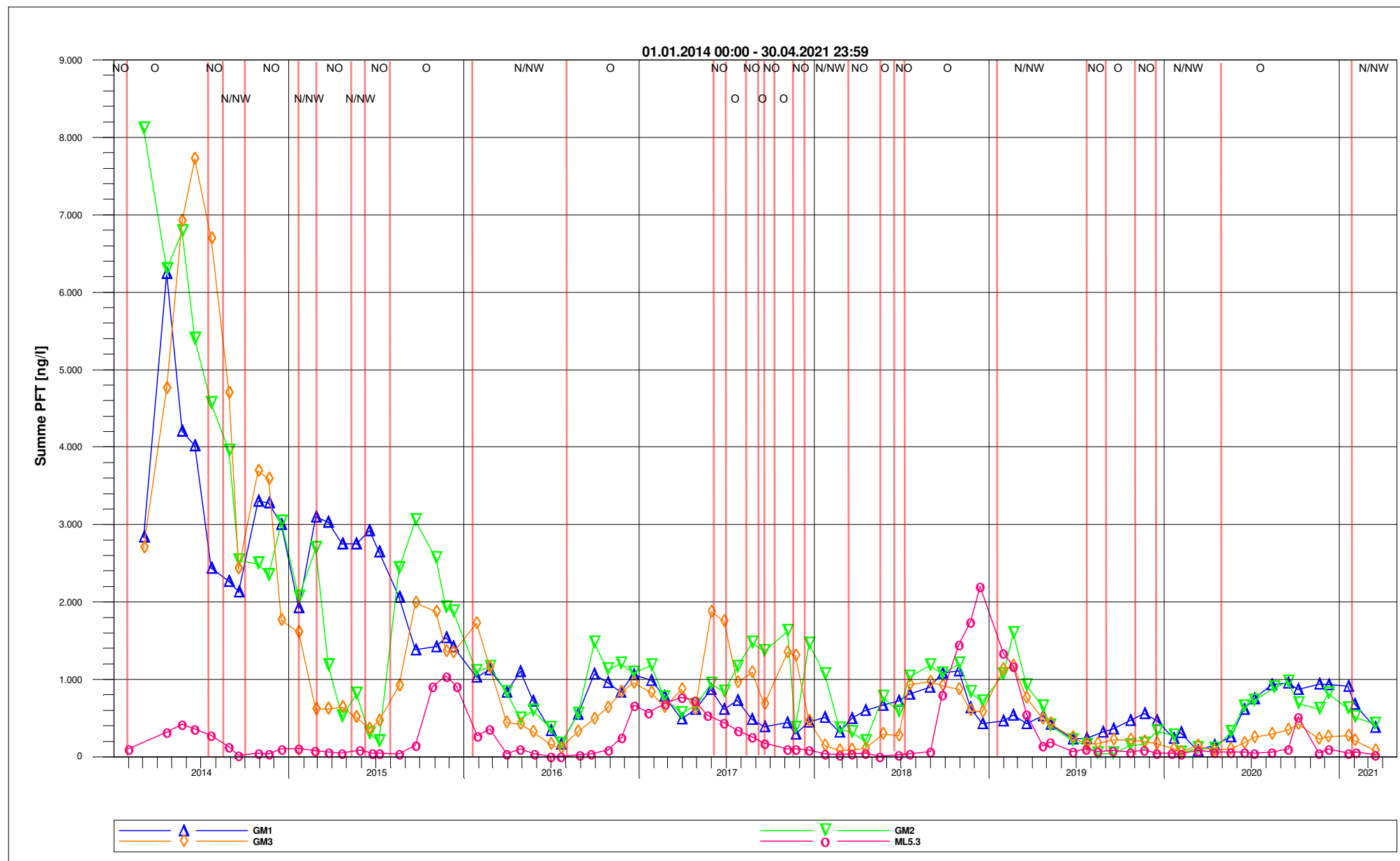
Abbildung der PFC-Ganglinien für ausgewählte Grundwassermessstellen



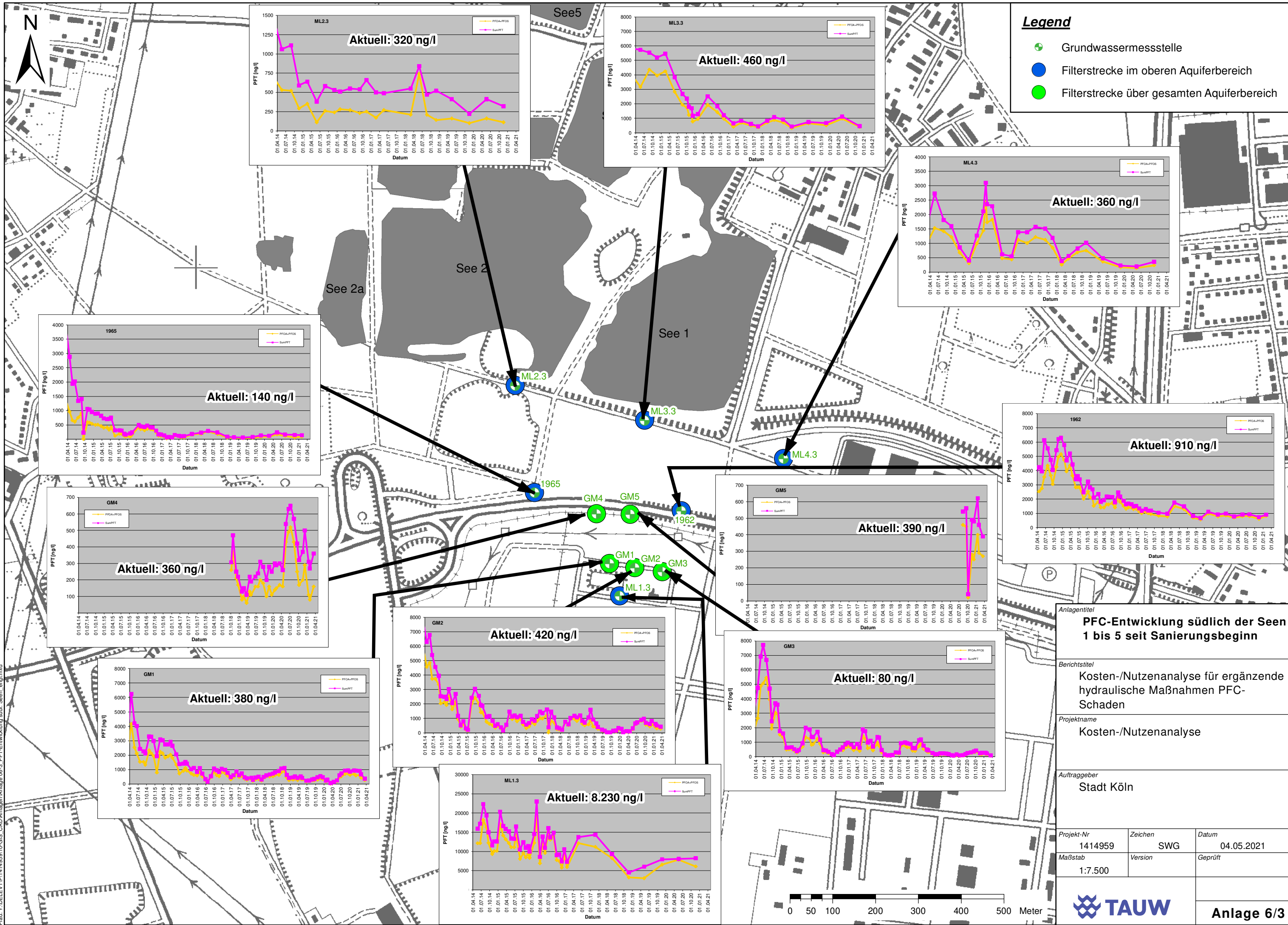
TAUW GmbH
Münsters Gäßchen 14
51375 Leverkusen
www.tauw.de

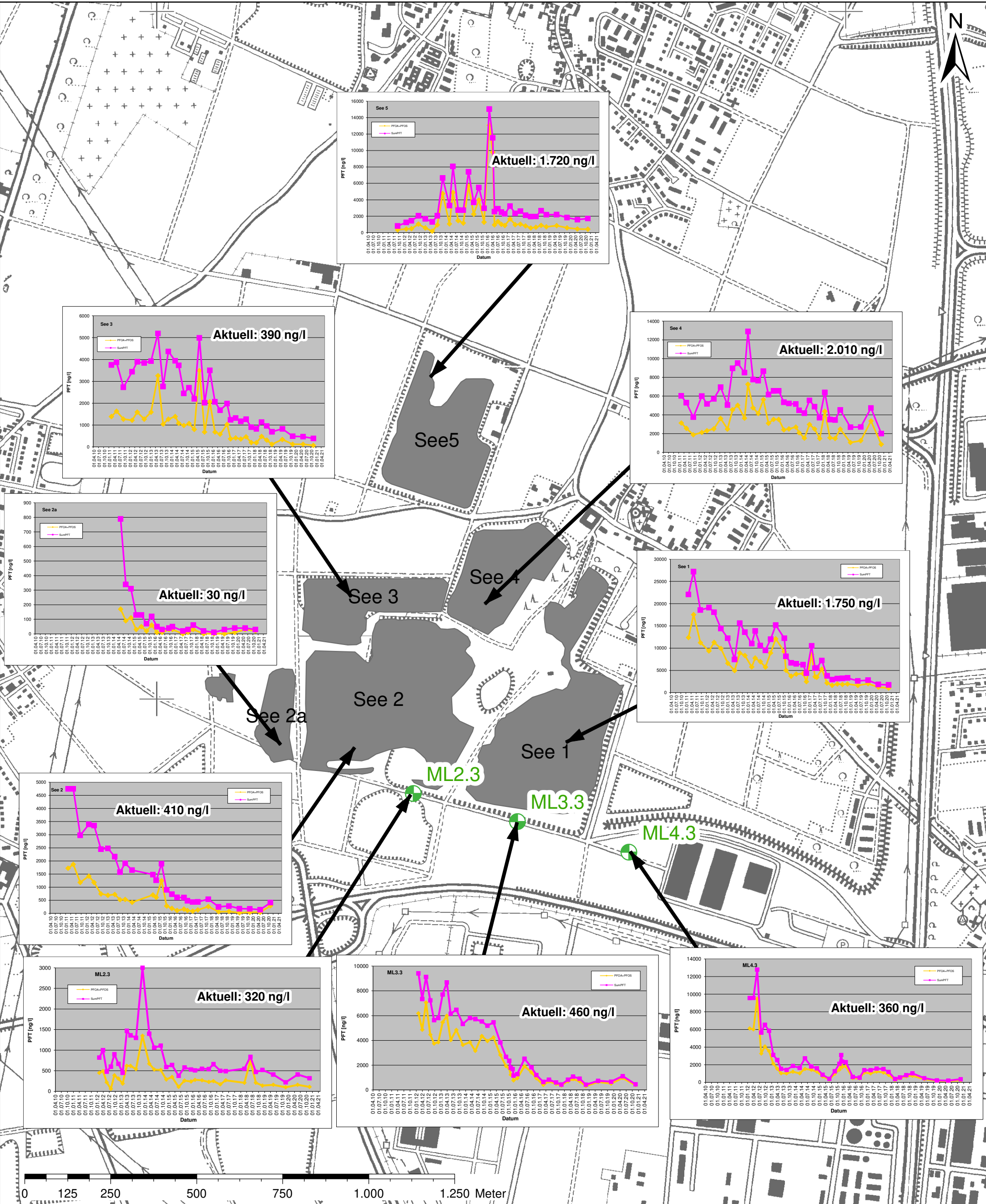
Stadt Köln
Kosten-/Nutzenanalyse
SWG, 14.04.2021

PFC-Entwicklung
ML1



	TAUW GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Stadt Köln	PFC-Entwicklung
		Kosten-/Nutzenanalyse	GM1, GM2, GM3 und ML5.3
		JLG, 19.05.2021	Anlage 06/2

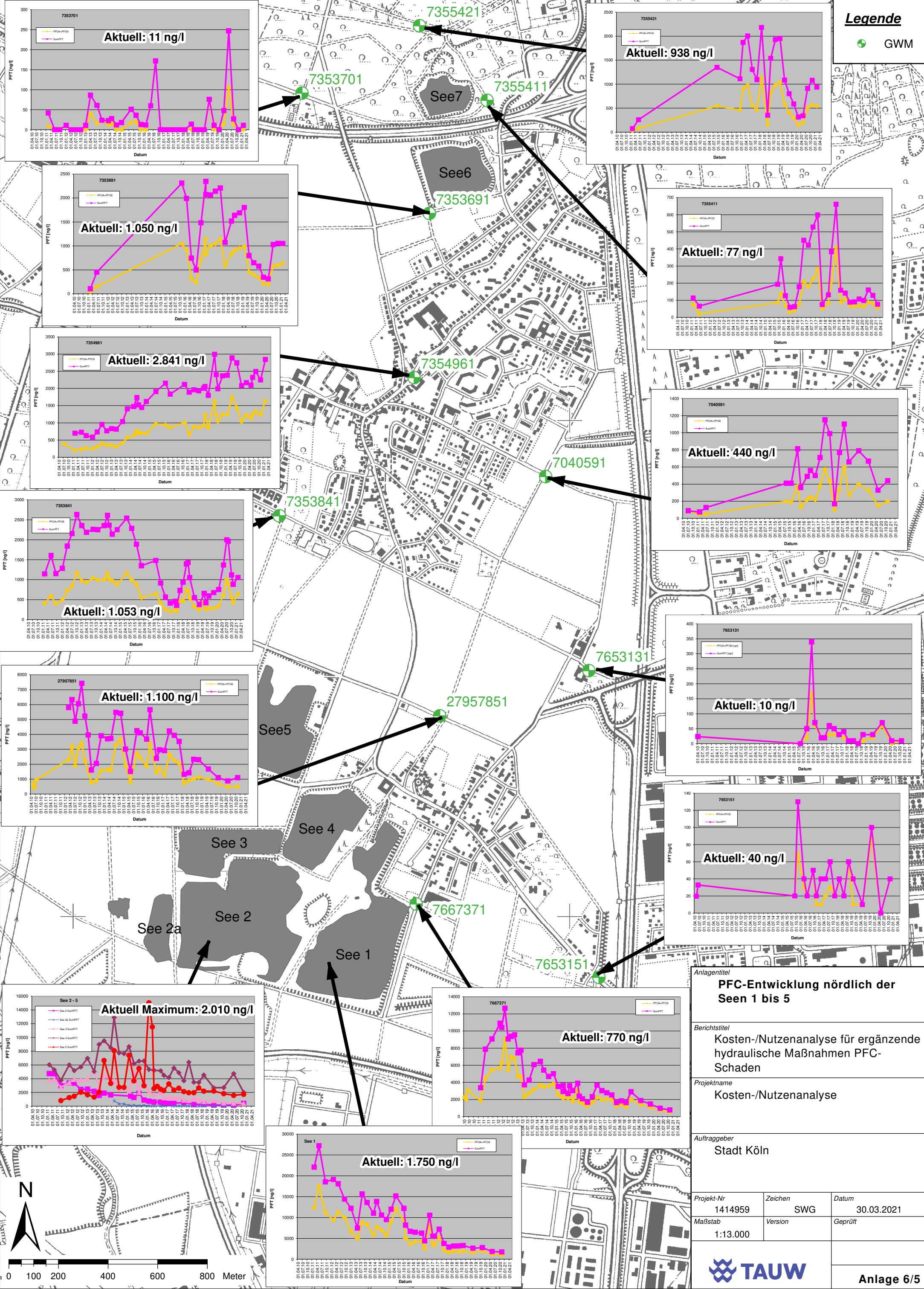


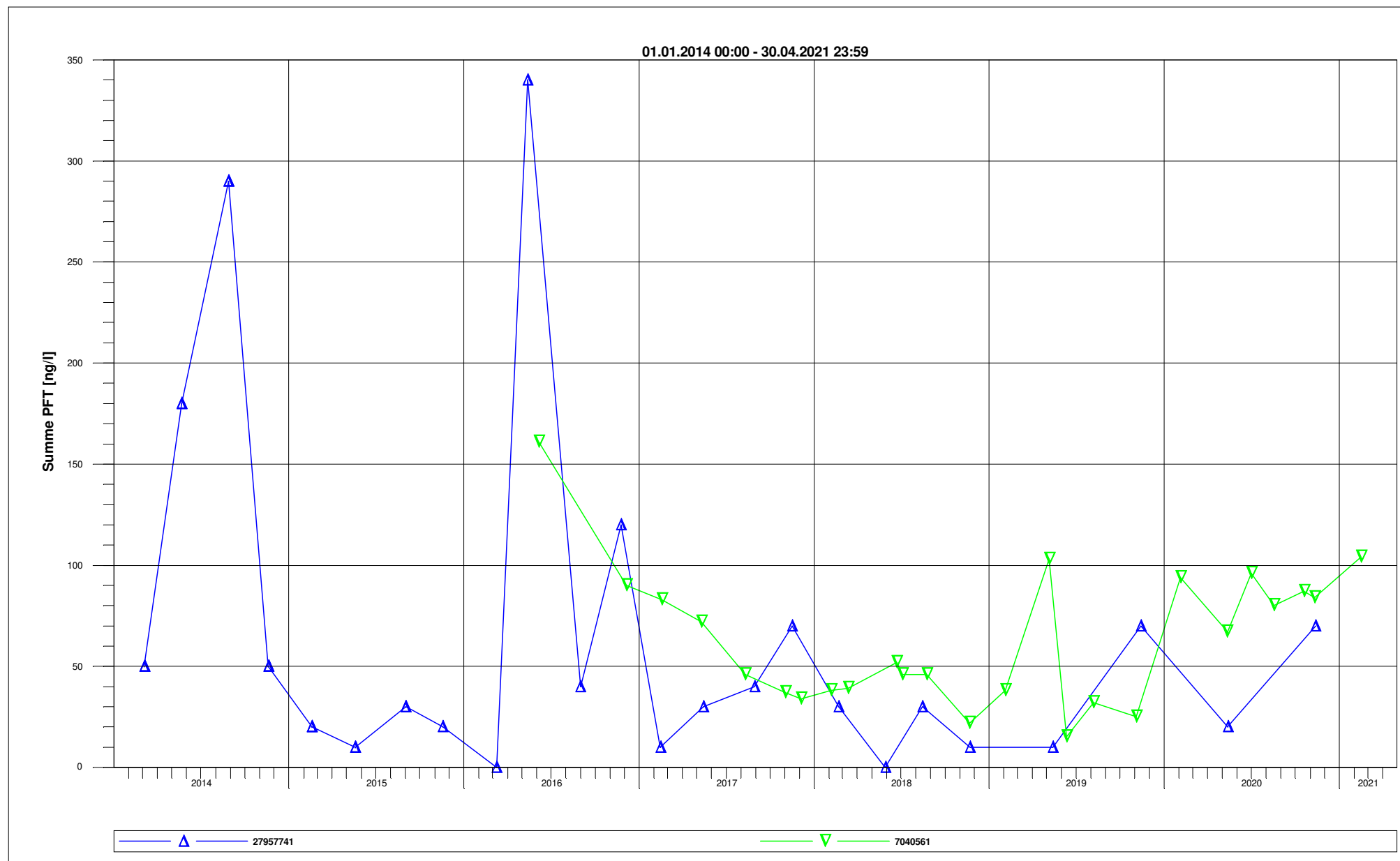


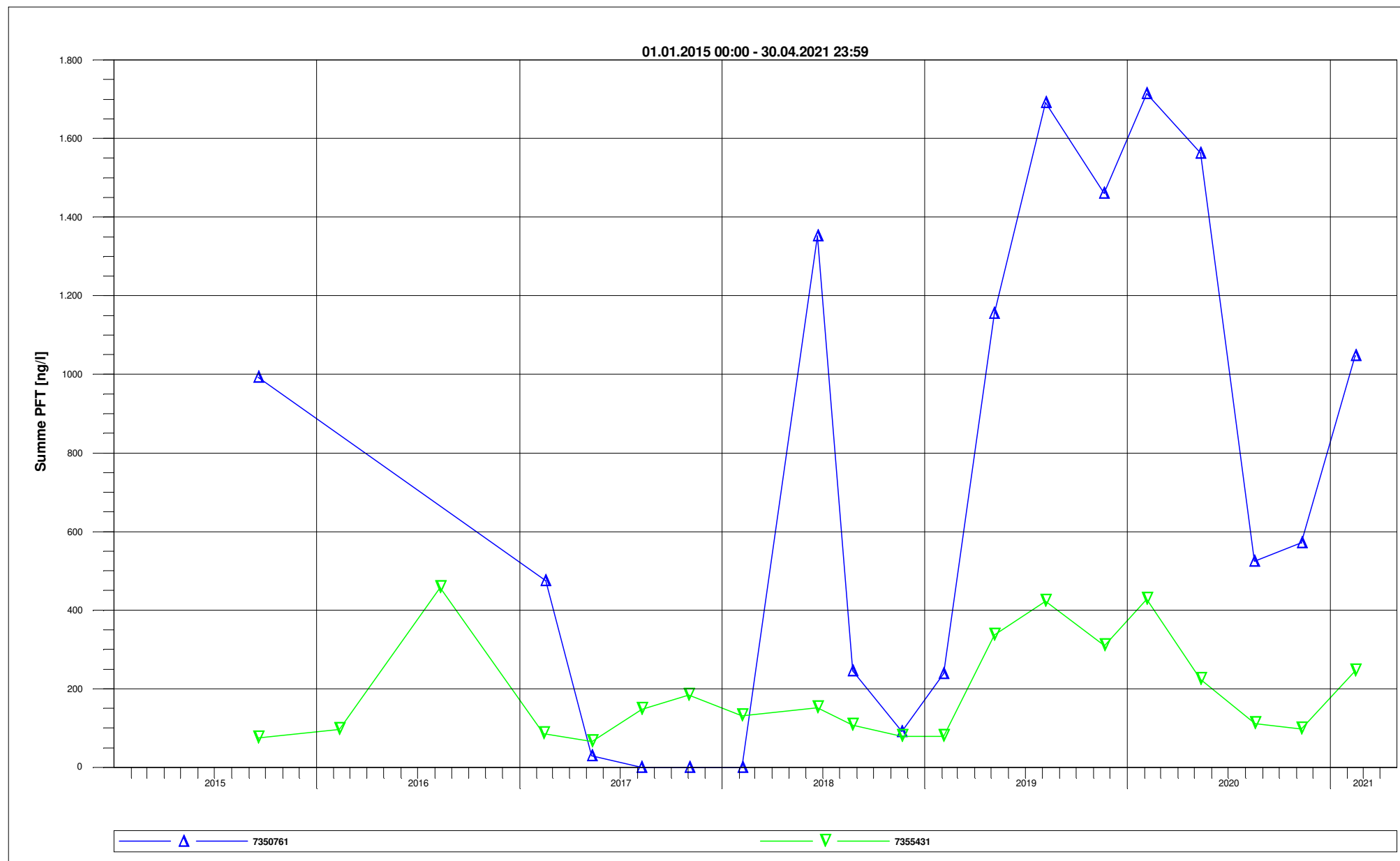
Legende

Grundwassermesssstelle

	Datum:	Name:	Maßstab:	1:10.000	Blattgröße:	297 x 420 mm (A3)
Bearbeitung:	04.05.2021	SWG	Projekt: Kosten-/Nutzenanalyse			
Geprüft:	17.05.2021	DOM				
Auftraggeber: Stadt Köln			Bericht: Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden			
 TAUW GmbH www.tauw.de info@tauw.de			Anlagentitel: PFC-Entwicklung in den Seen			
Koordinatensystem:	Gauß-Krüger					
Grundlage:	TK25, Vermessungsamt NRW		Proj.-Nr.:	1414959	Version:	01
			Anlage 6/4			

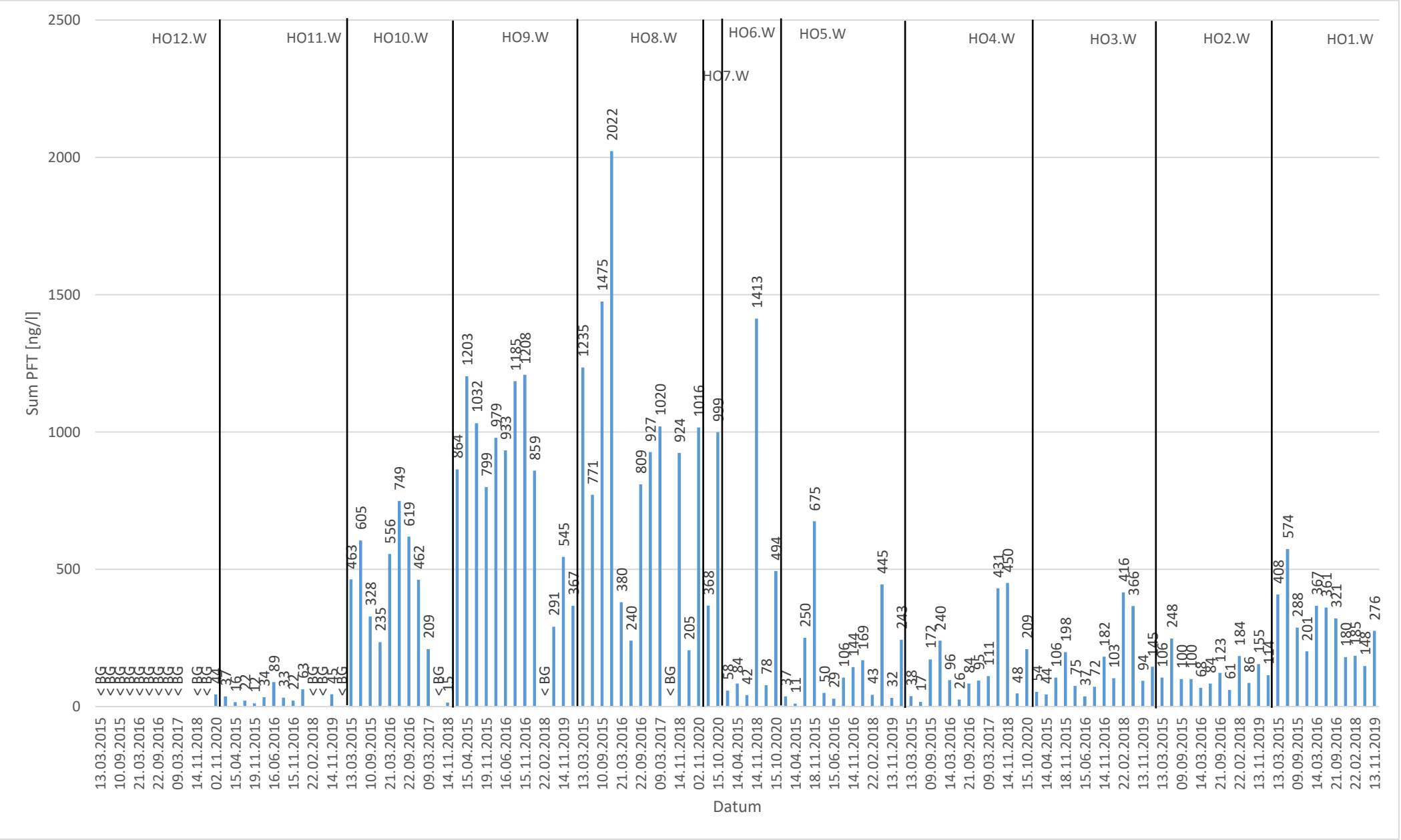


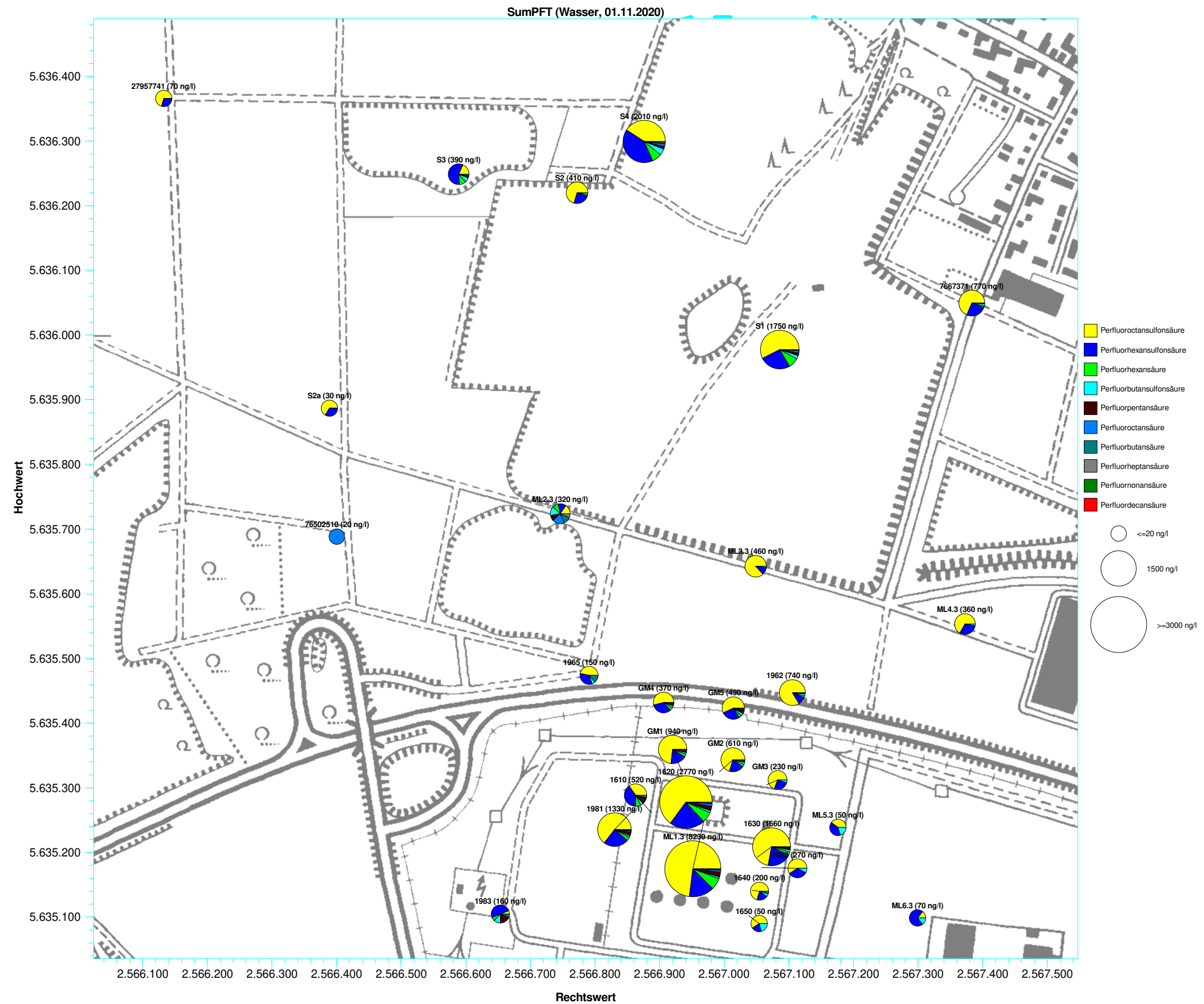




	TAUW GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Stadt Köln	PFT-Entwicklung
		Kosten-/Nutzenanalyse	7350761 und 7355431
		SWG, 01.04.2021	Anlage 6/7

PFC-Entwicklung in der Wasserfassung Hochkirchen- West



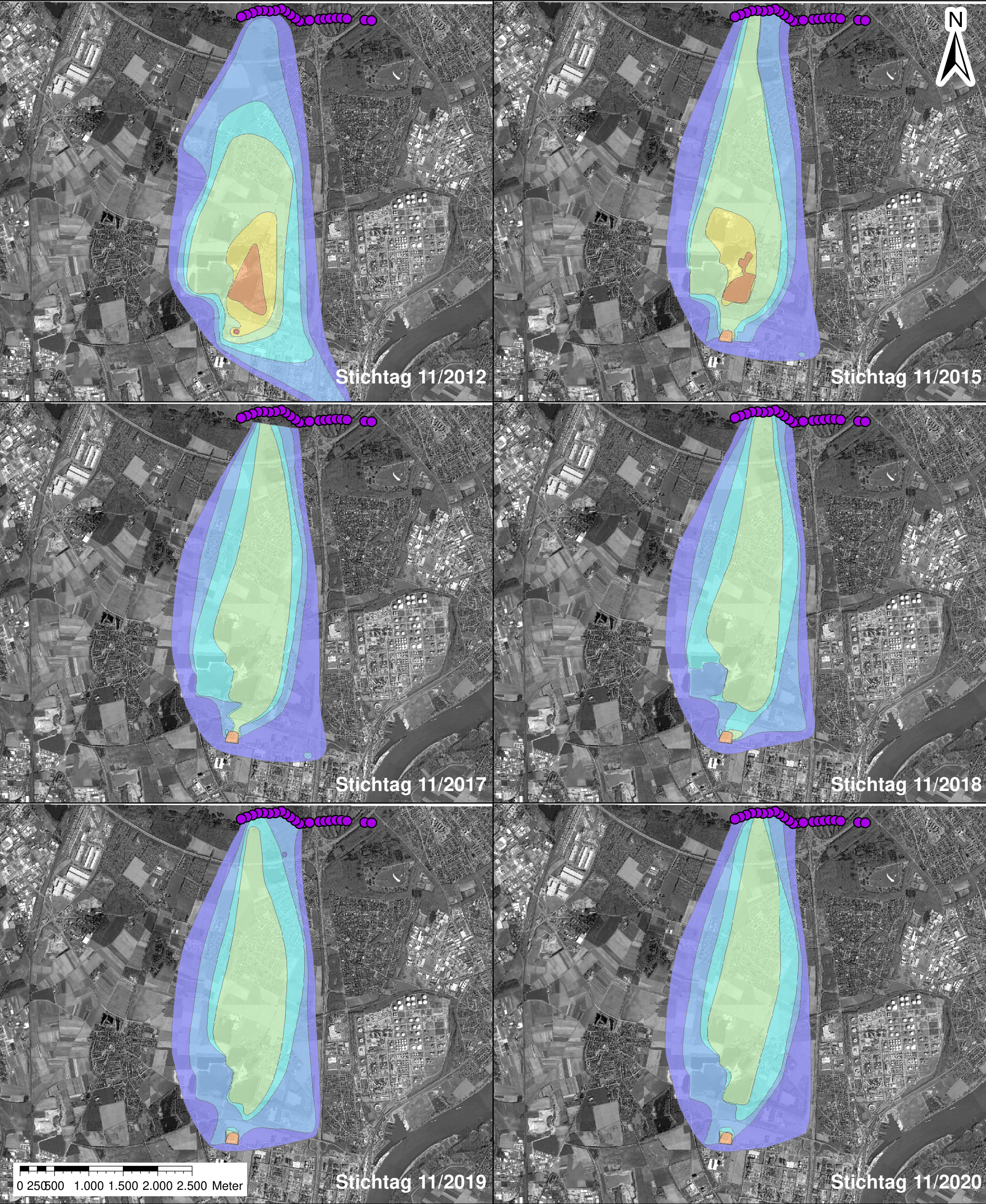


TAUW GmbH
Münsters Gäßchen 14
51375 Leverkusen
www.tauw.de

Stadt Köln
Kosten-/Nutzenanalyse
SWG, 25.05.2021

Verteilung PFC-Einzelsubstanzen

Anlage 7 PFC-Verteilung im Grundwasser



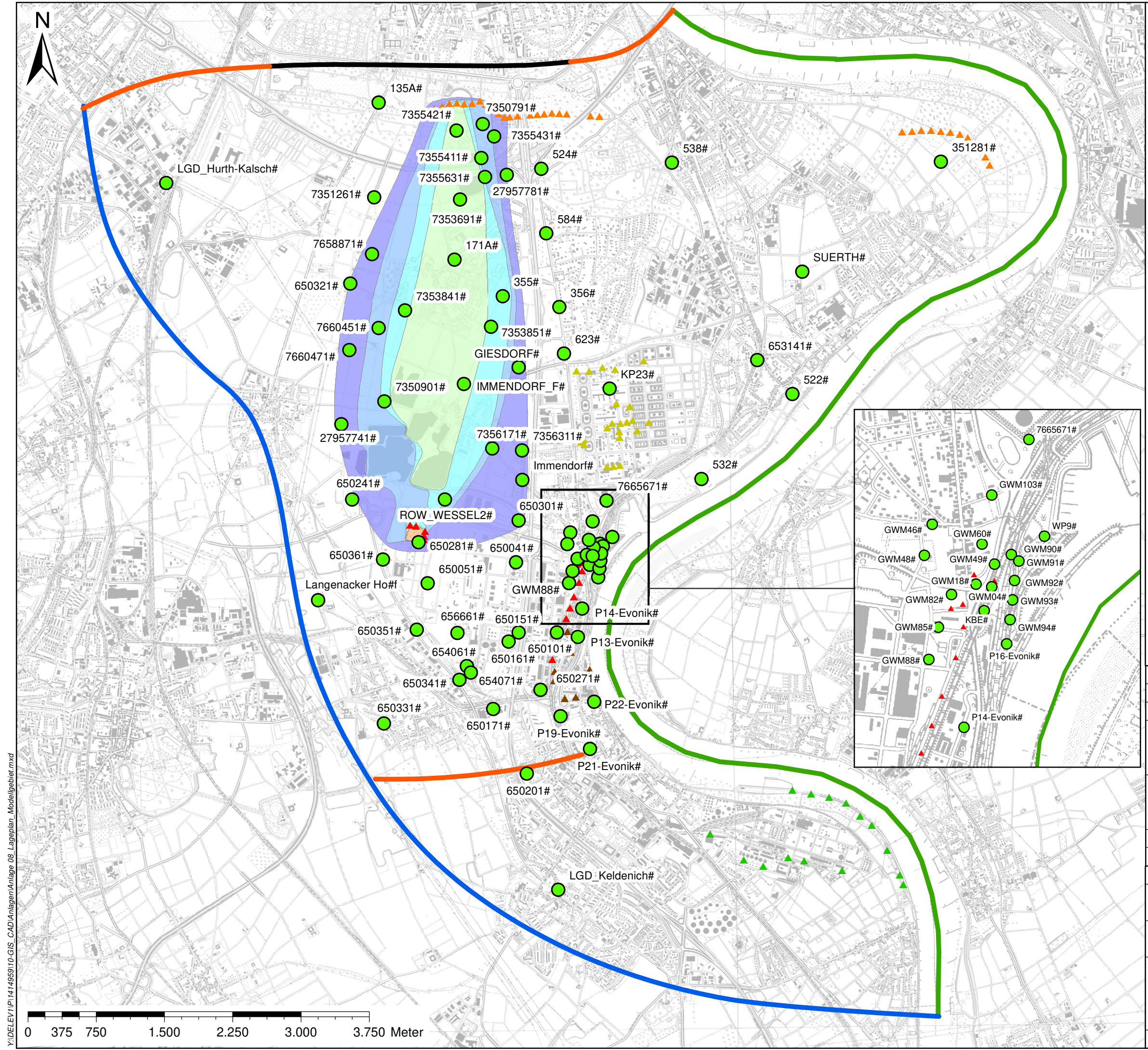
Legende

PFC-Konzentration		• Brunnen
0-100	1001-5000	
101-500	5001-10000	
501-1000	10001-20000	
	> 20000	

	Datum:	Name:	Maßstab:	1:50.000	Blattgröße: 297 x 420 mm (A3)	
Bearbeitung:	04.05.2021	SWG	Projekt:	Kosten-/Nutzenanalyse		
Geprüft:	17.05.2021	DOM				
Auftraggeber: Stadt Köln			Bericht:	Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden		
 Tauw GmbH www.tauw.de info@tauw.de			Anlagentitel:	Entwicklung der PFC-Fahne		
Koordinatensystem:	Gauß-Krüger					
Grundlage:	Luftbild, Google Earth		Proj.-Nr.: 1414959	Version: 01		Anlage 7/2

Anlage 8

Lageplan Modellgebiet und Observation Points für Grundwasserstände



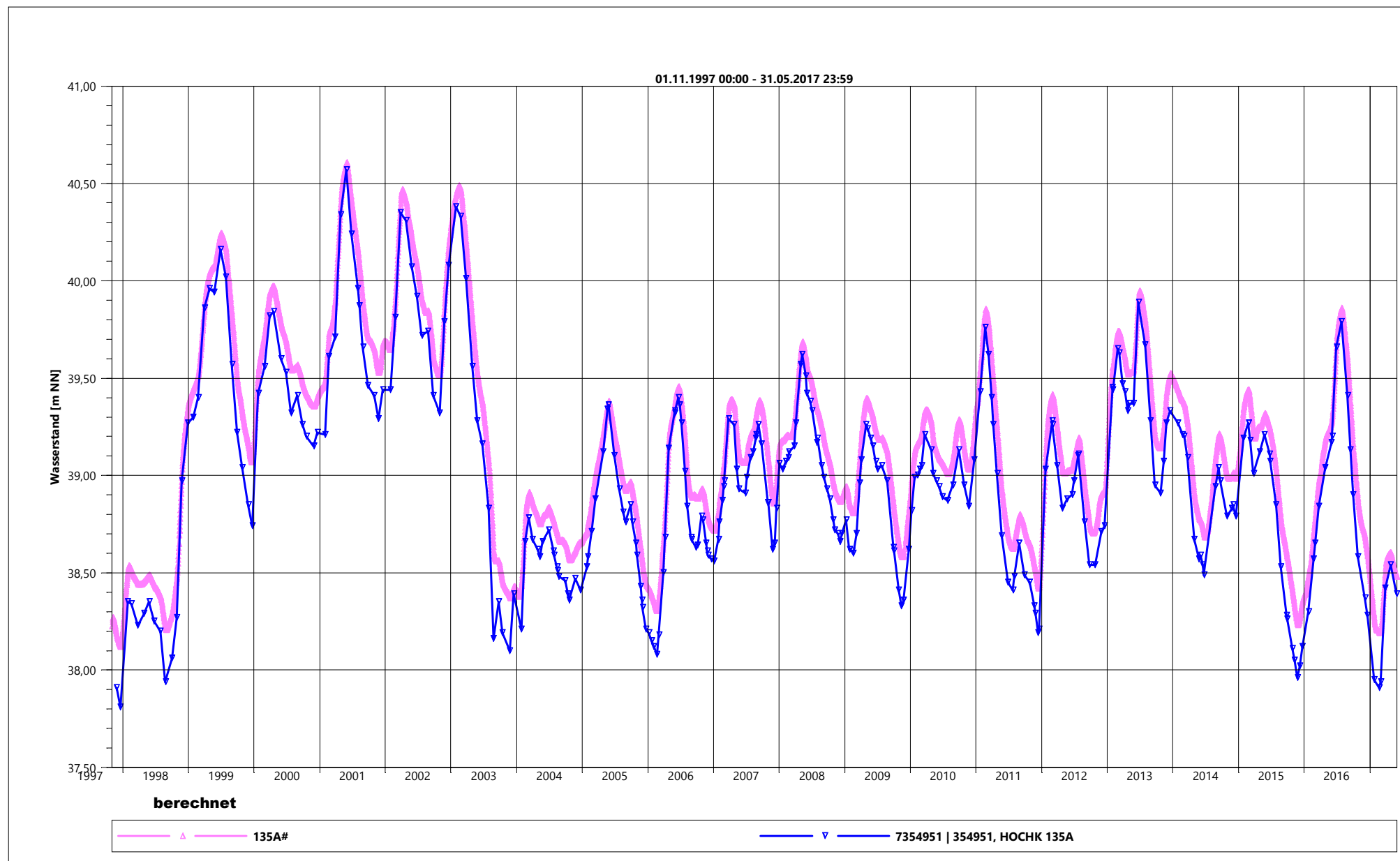
Legende

- Observation Points
- Modellränder Inflow-Outflow**
- Grenzen des Modellgebietes**
- ~ In-/Exfiltration Rhein (3. Art)
- ~ Zustrom (1. Art)
- ~ strömungslos
- ~ Abfluss (1. bzw. 2.Art)
- Brunnen (generalisiert)**
- Betreiber**
- ▲ Basell, Wesseling
- ▲ SDO, RRS
- ▲ Evonik, Wesseling
- ▲ Rheinergie AG, Koeln
- ▲ SDO, RRN
- PFT-Konzentration Nov. 2020 [ng/l]**
- 0-100
- 101-500
- 501-1000
- 1001-5000
- 5001-10000
- 10001-20000
- > 20000

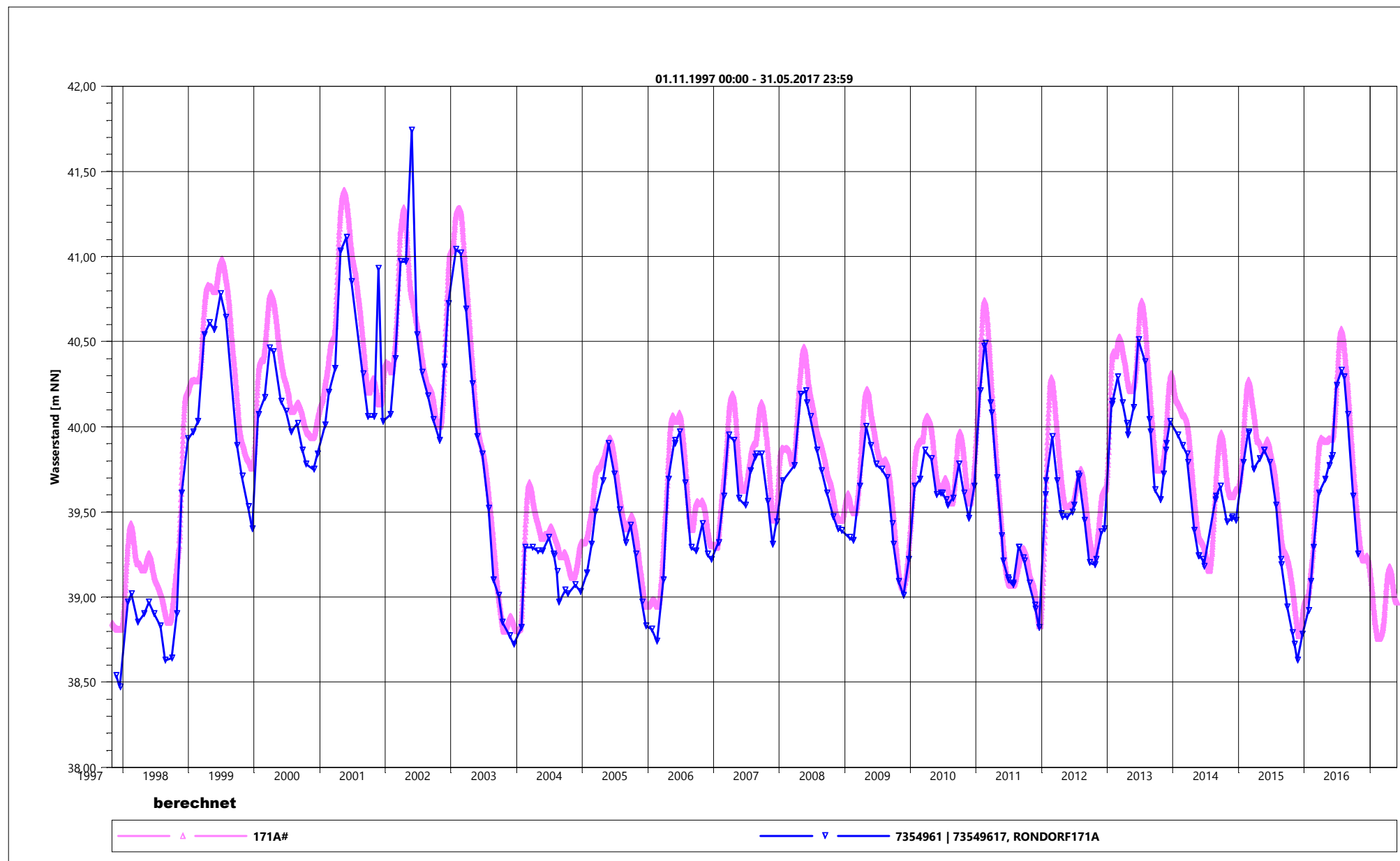
	Datum:	Name:
Bearbeitung:	11.05.2021	SWG
Geprüft:	17.05.2021	DOM
Auftraggeber: Stadt Köln		
 TAUW GmbH www.tauw.de info@tauw.de		
Koordinatensystem:	Gauß Krüger	
Grundlage:	TK25, Vermessungsamt NRW	
Maßstab:	1:40.000	Blattgröße: 420 x 297 mm (A3)
Projekt:	Kosten-/Nutzenanalyse	
Bericht:	Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden	
Anlagentitel:	Lageplan Modellgebiet und Observation Points für Grundwasserstände	
Proj.-Nr.:	1414959	Version: 01
		Anlage 8

Anlage 9

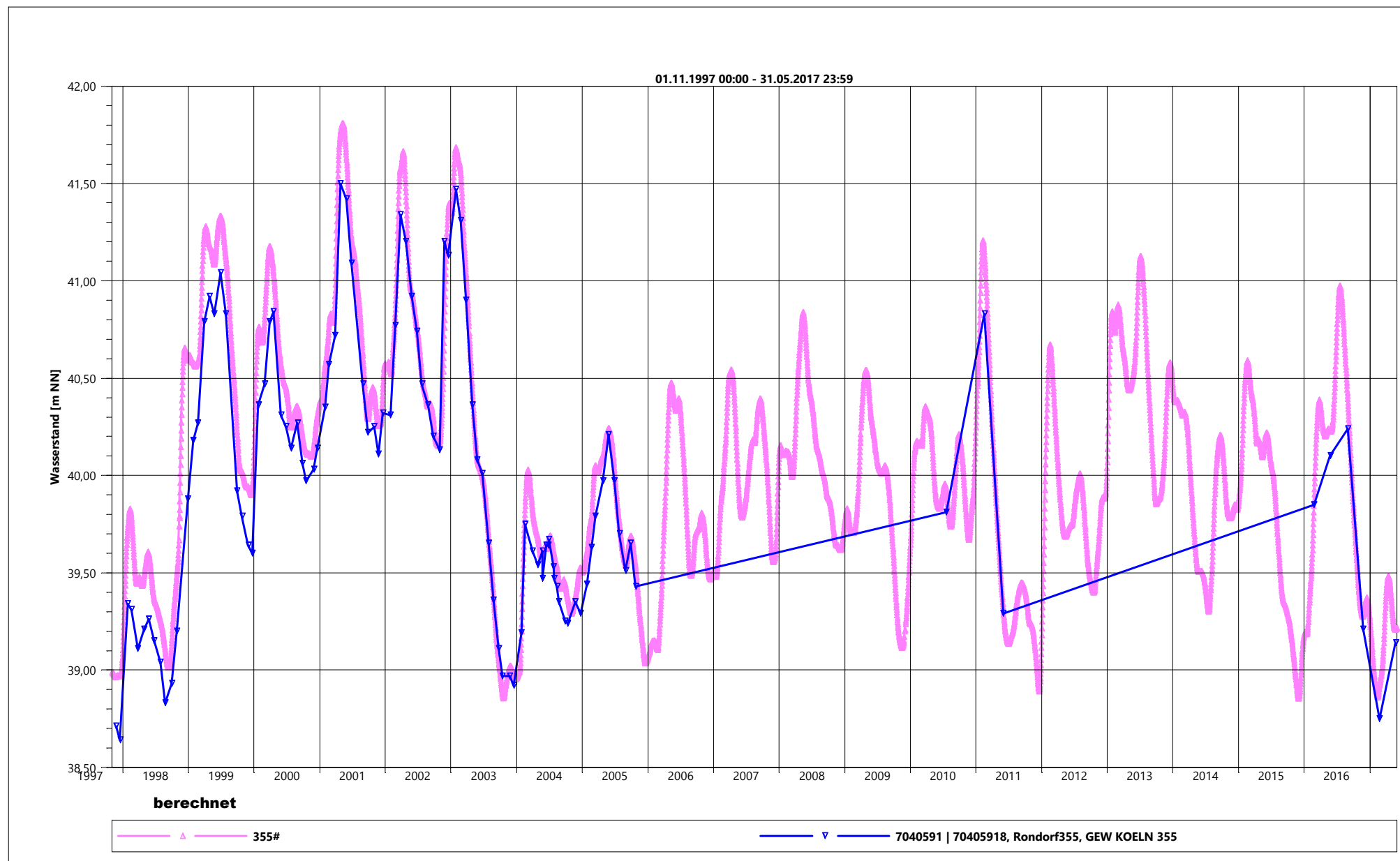
Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand



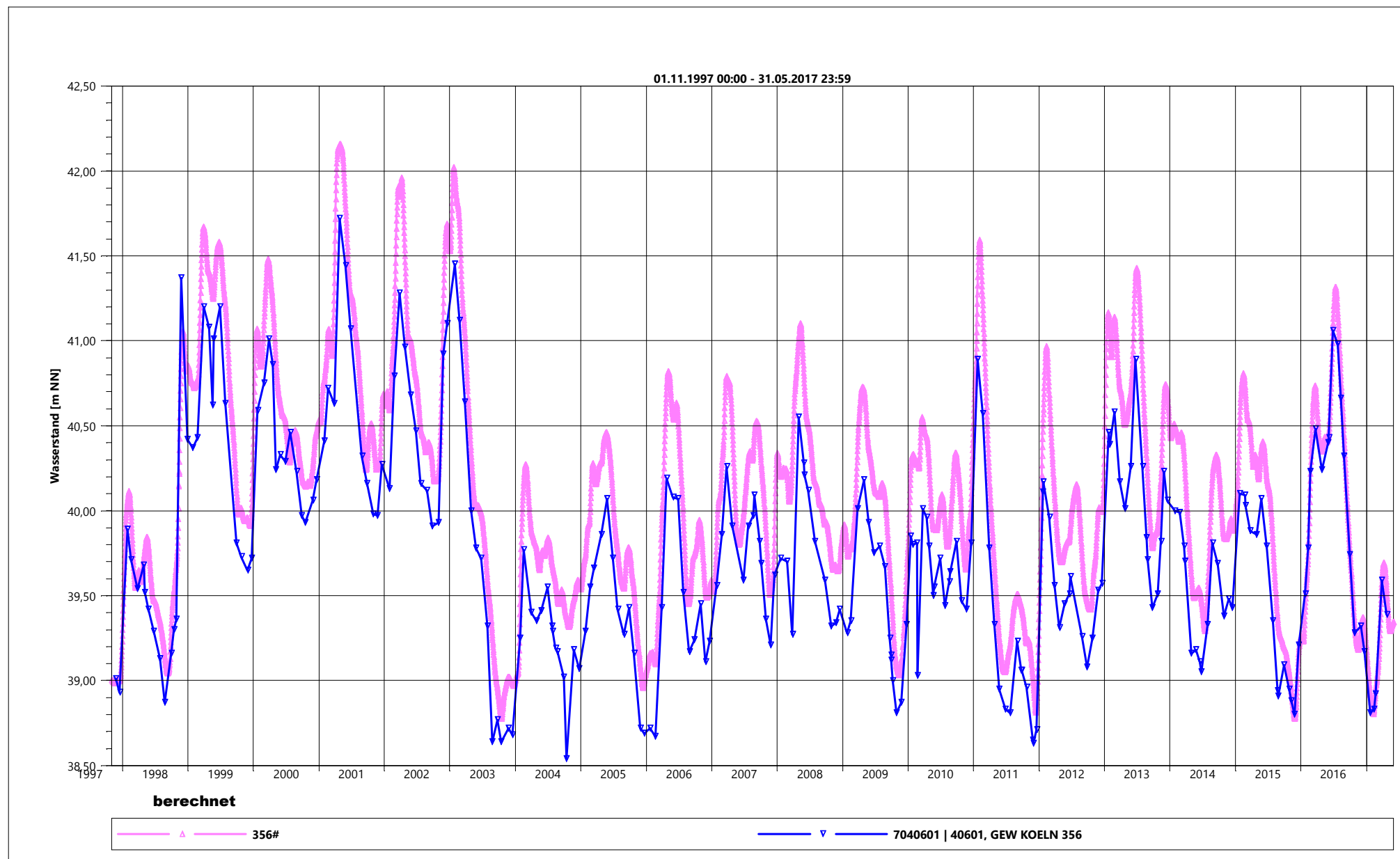
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



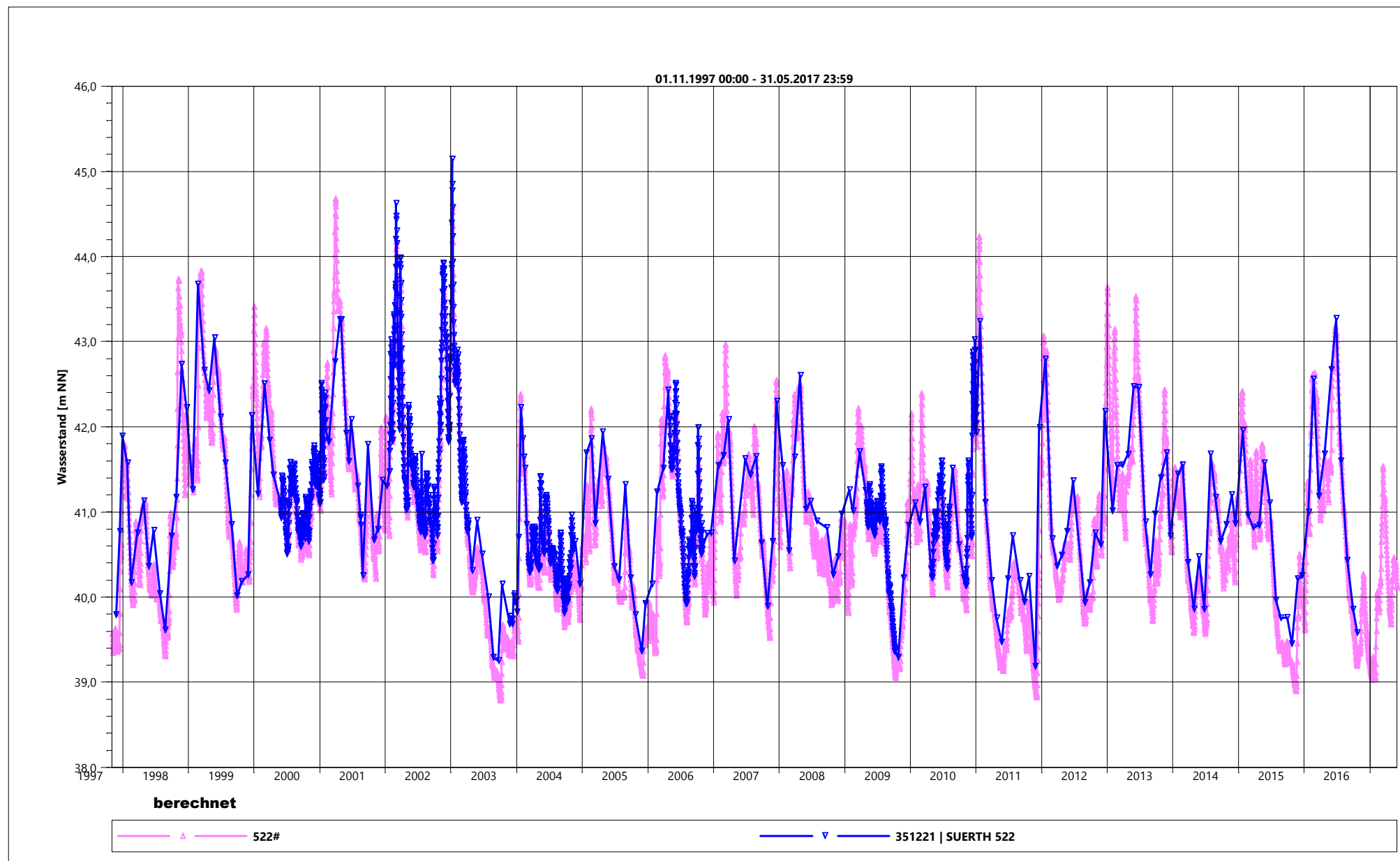
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



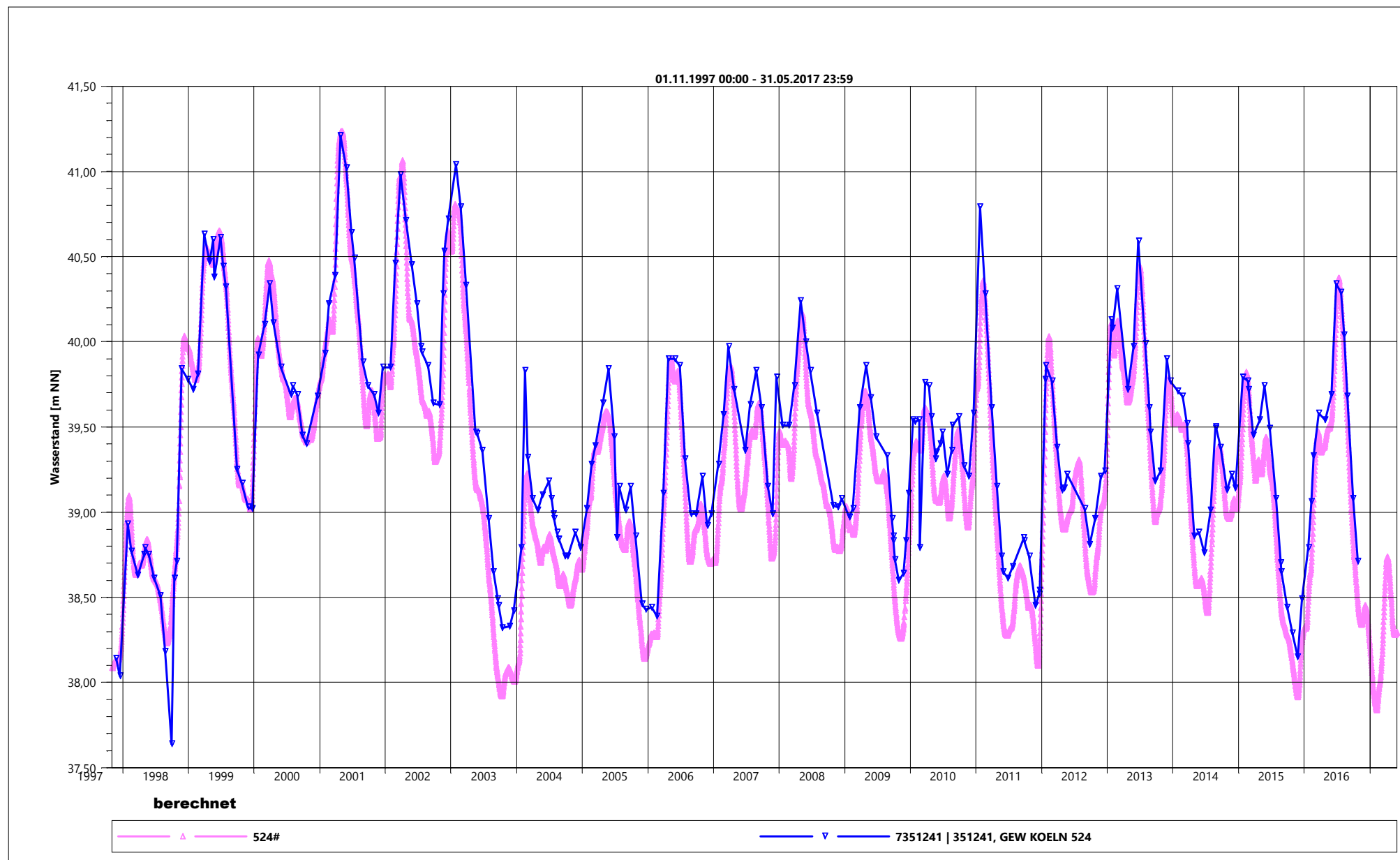
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



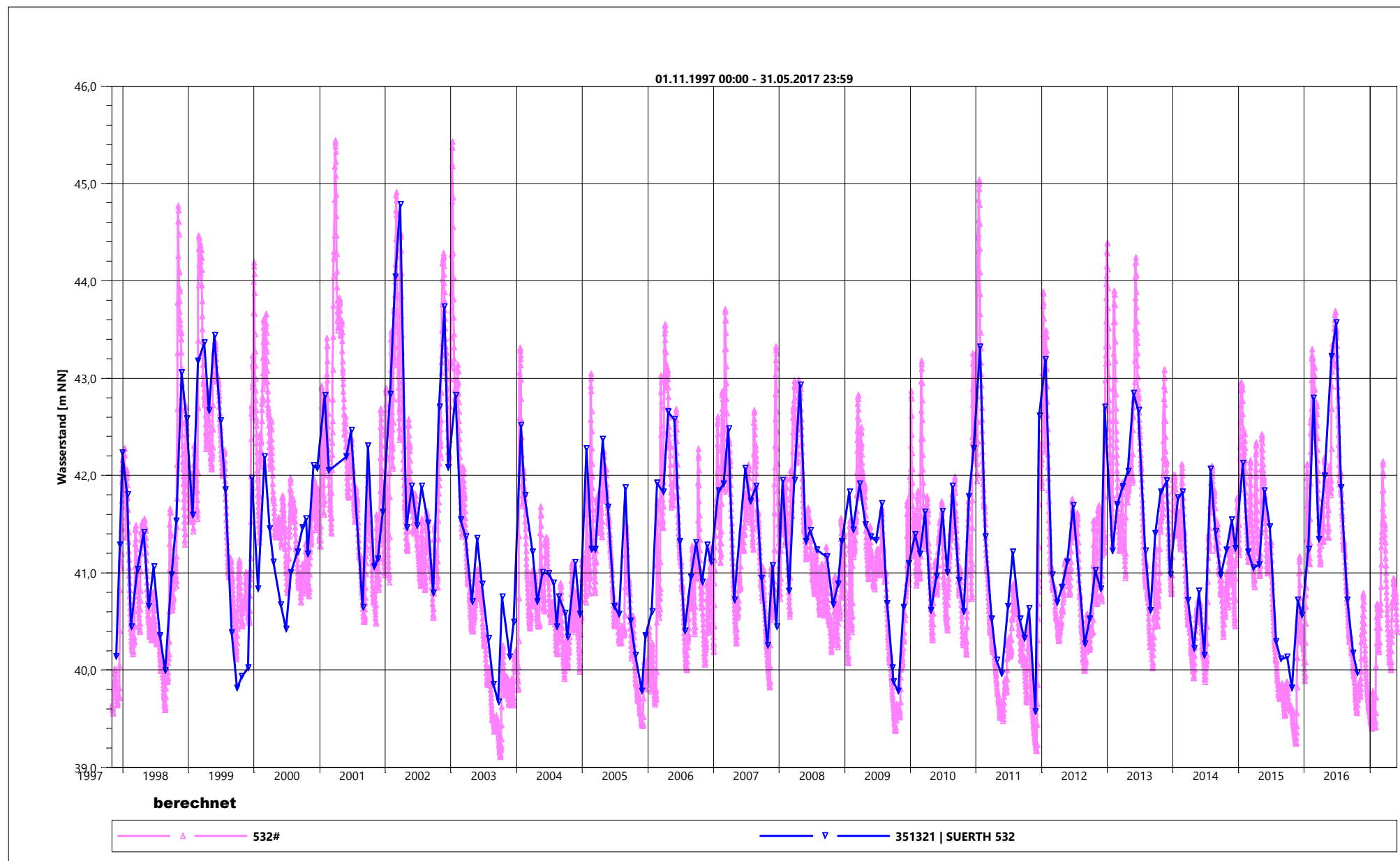
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



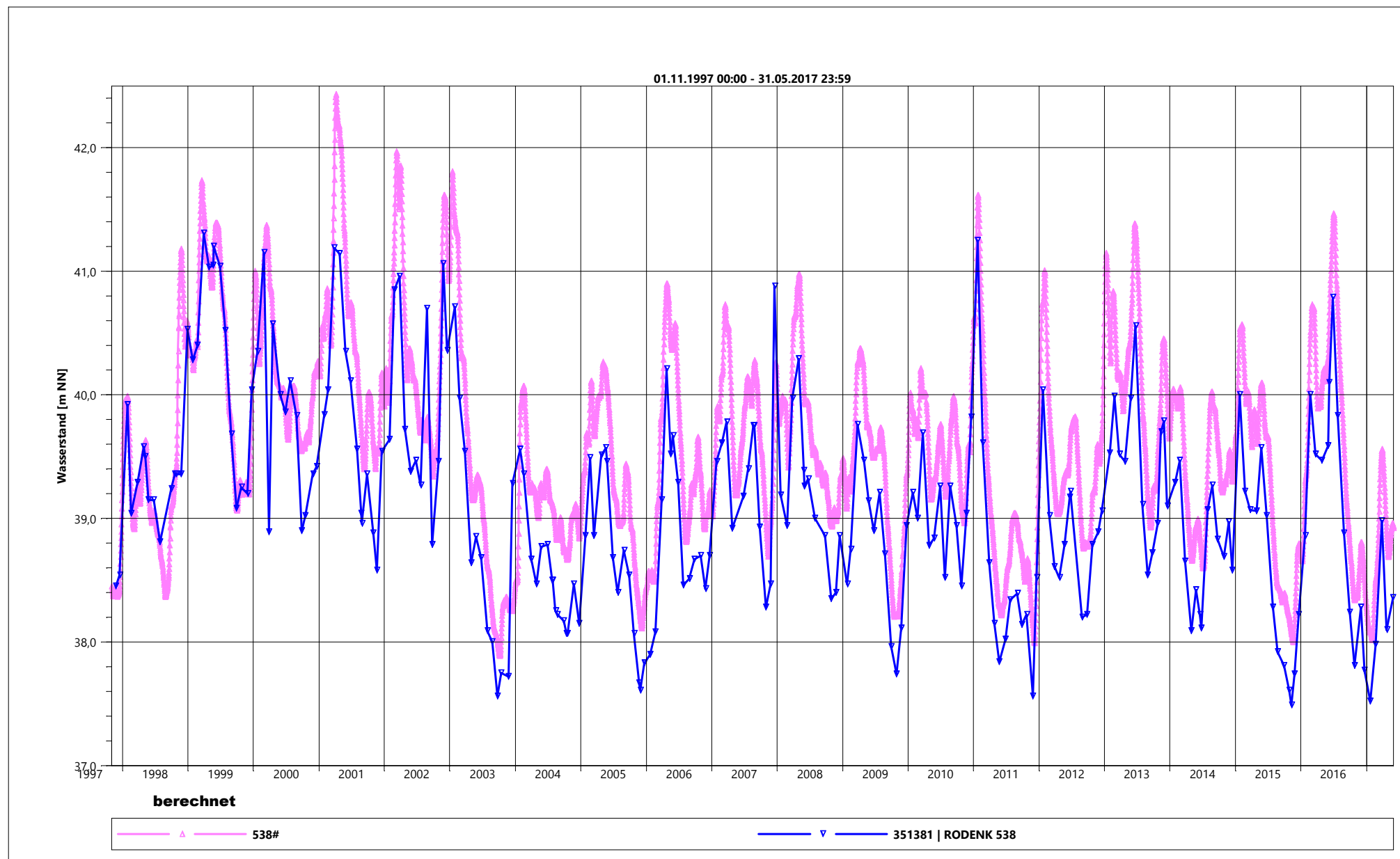
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener
		SWG, 13.09.2017	Grundwasserstand
			Anlage 9



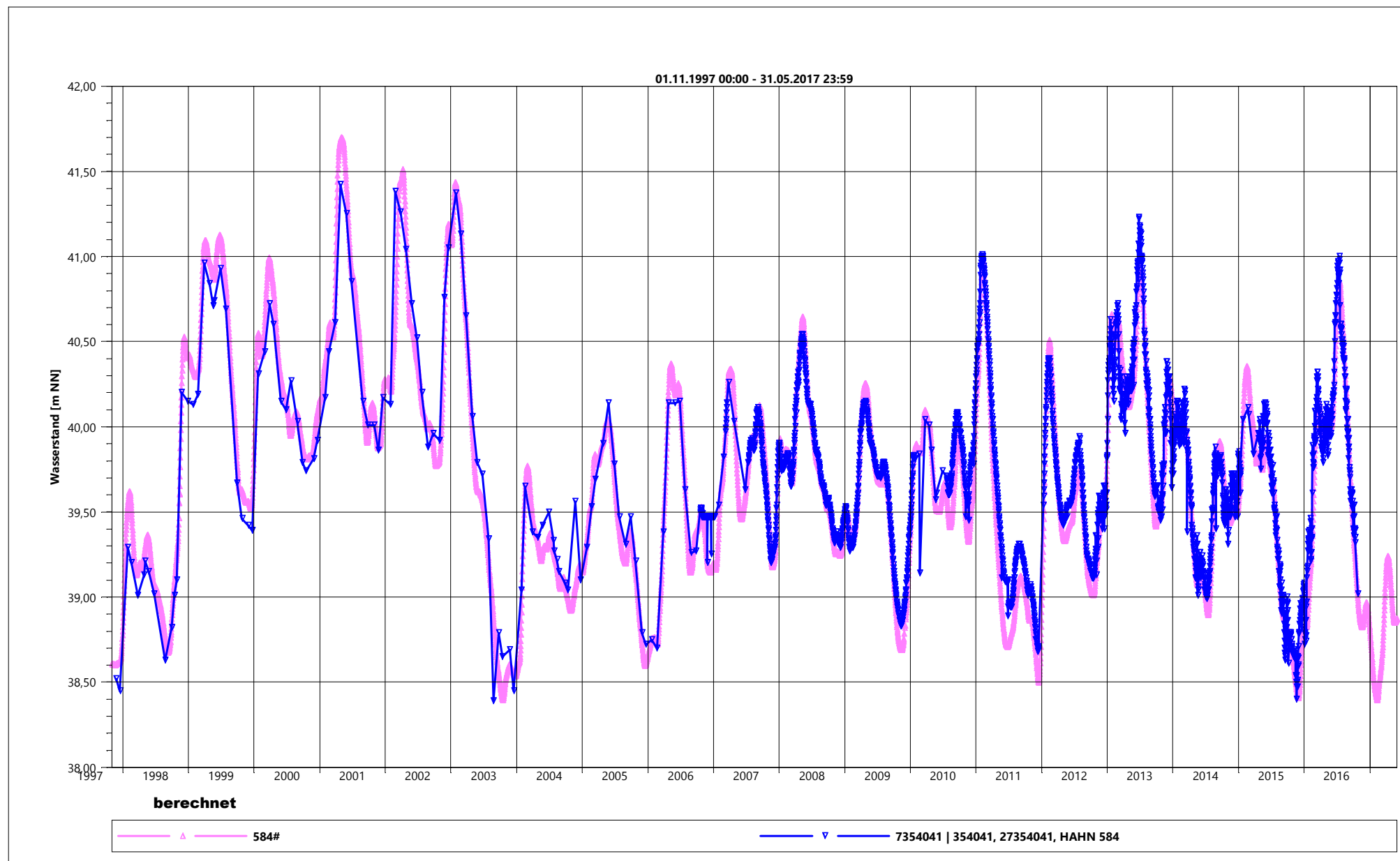
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



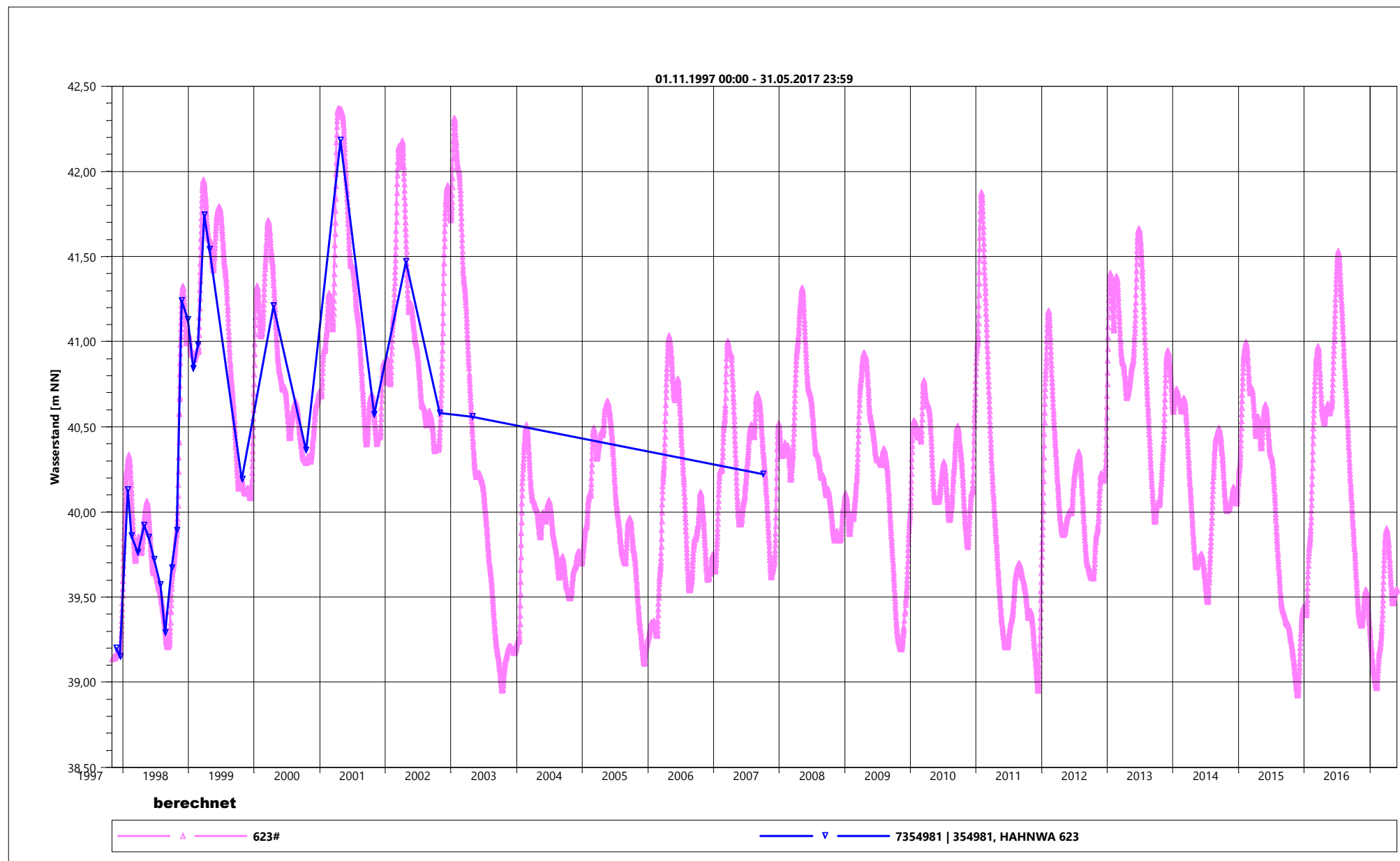
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener
		SWG, 13.09.2017	Grundwasserstand
			Anlage 9



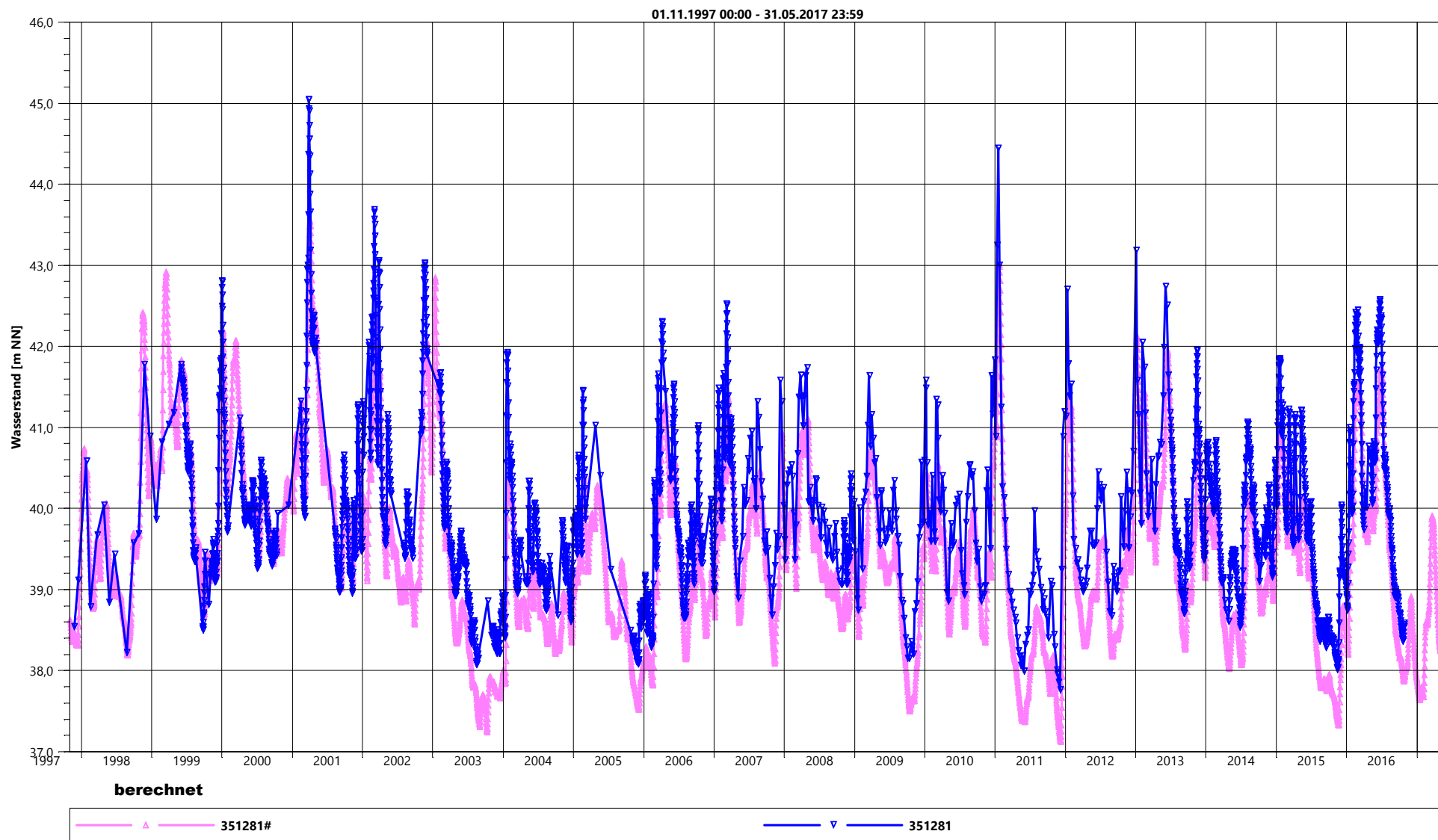
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener
		SWG, 13.09.2017	Grundwasserstand
			Anlage 9



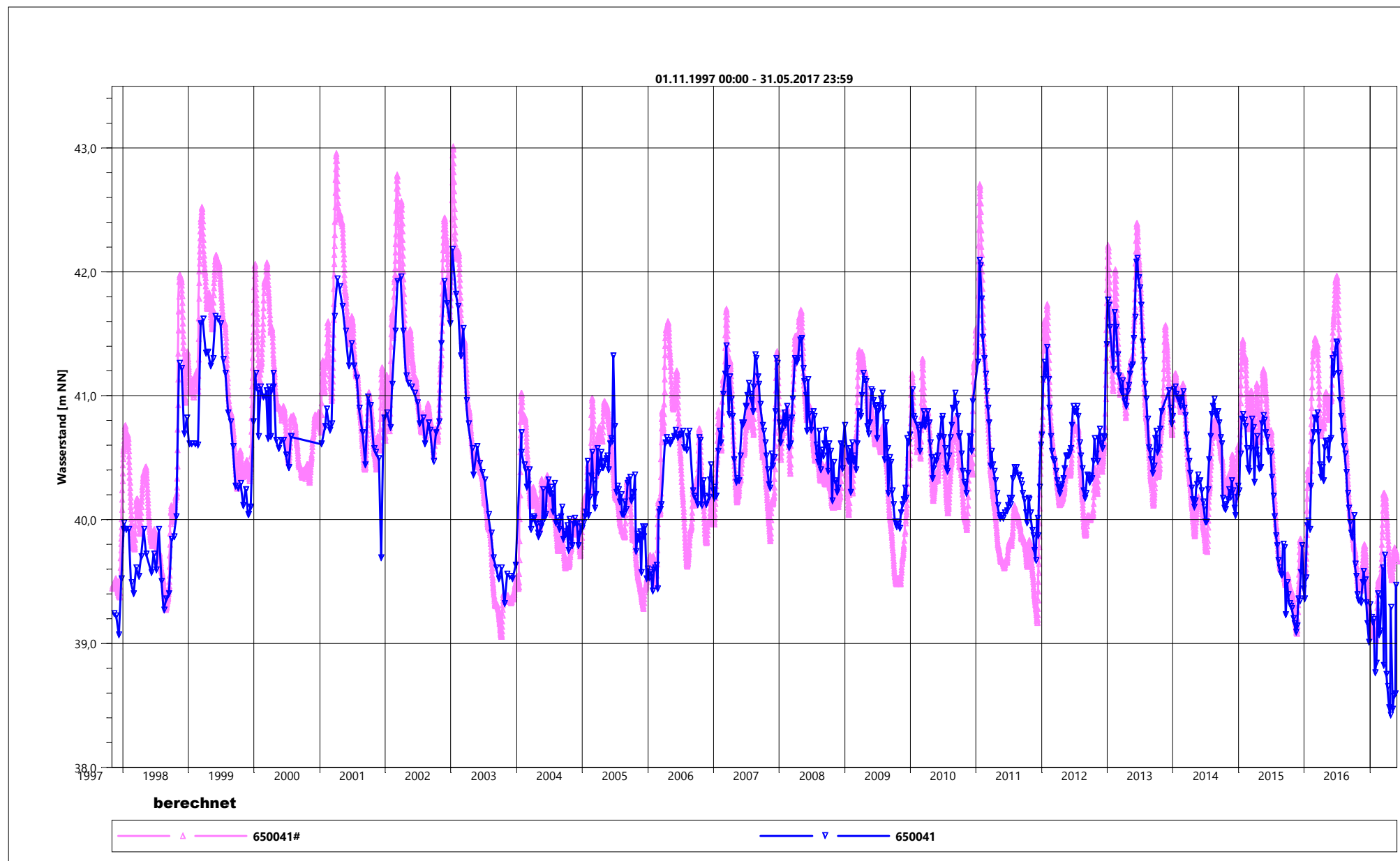
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



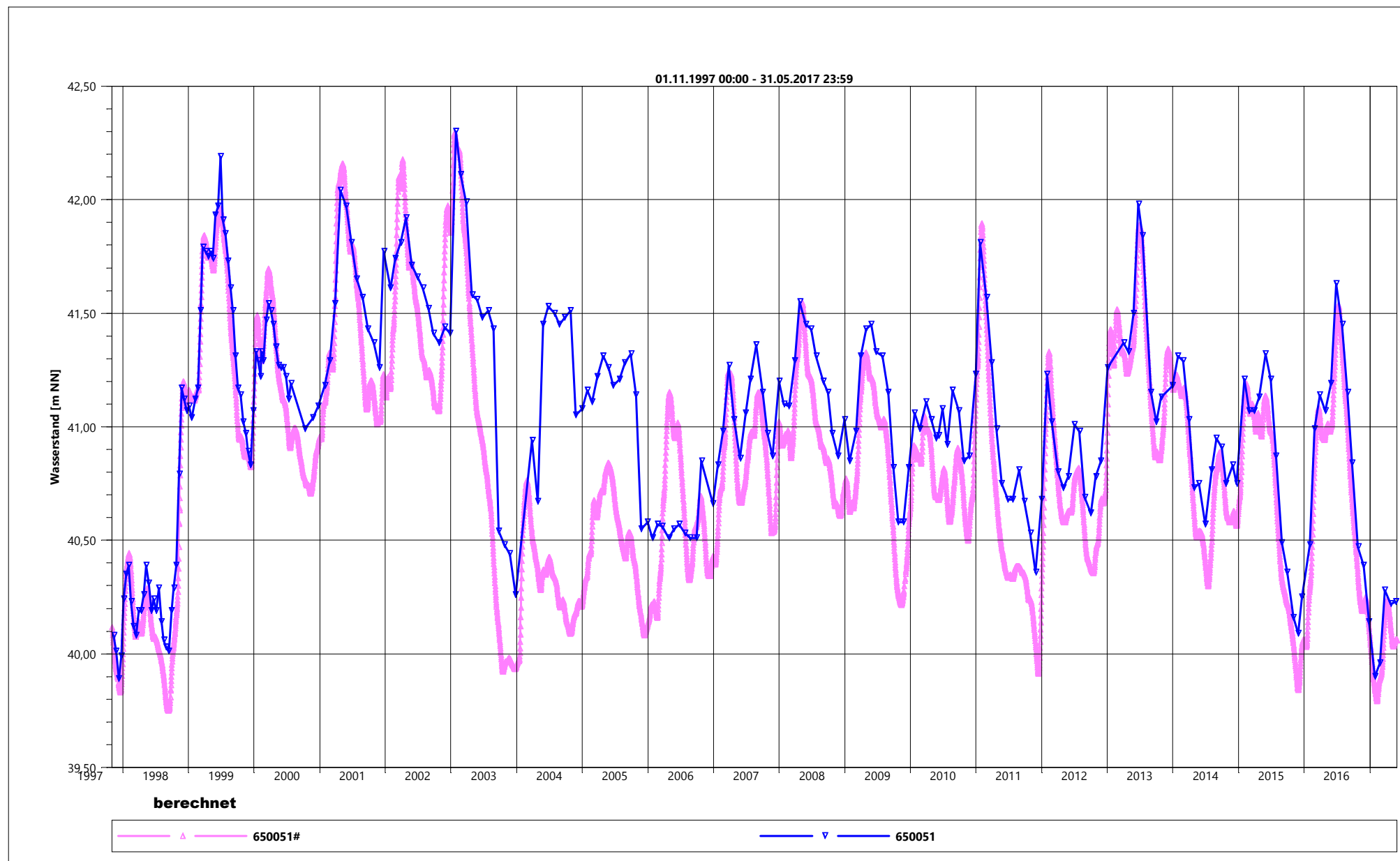
Tauw GmbH
 Münsters Gäßchen 14
 51375 Leverkusen
www.tauw.de

Grundwassermodell
 SWG, 13.09.2017

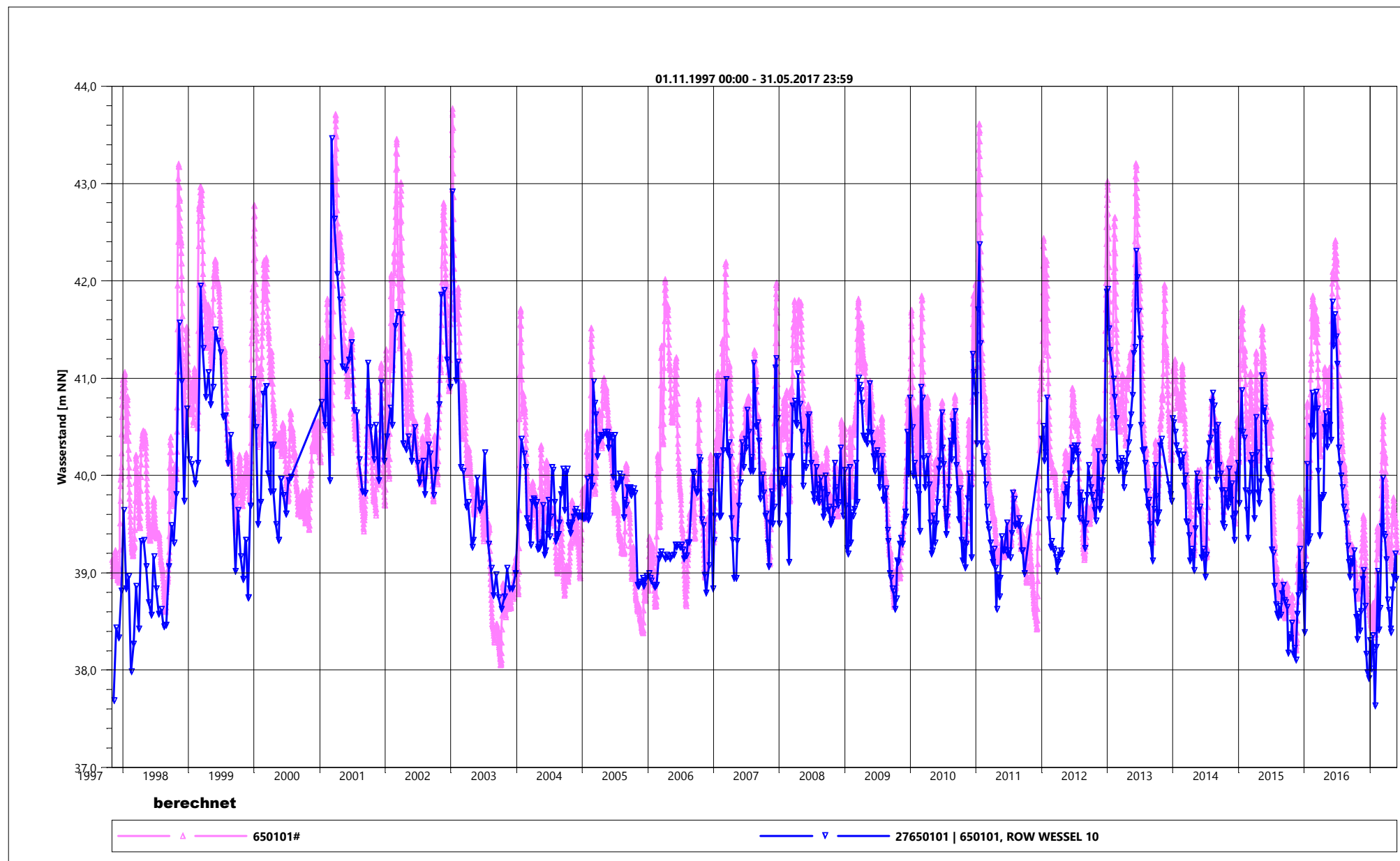
Vergleich berechneter und gemessener
Grundwasserstand
 Anlage 9



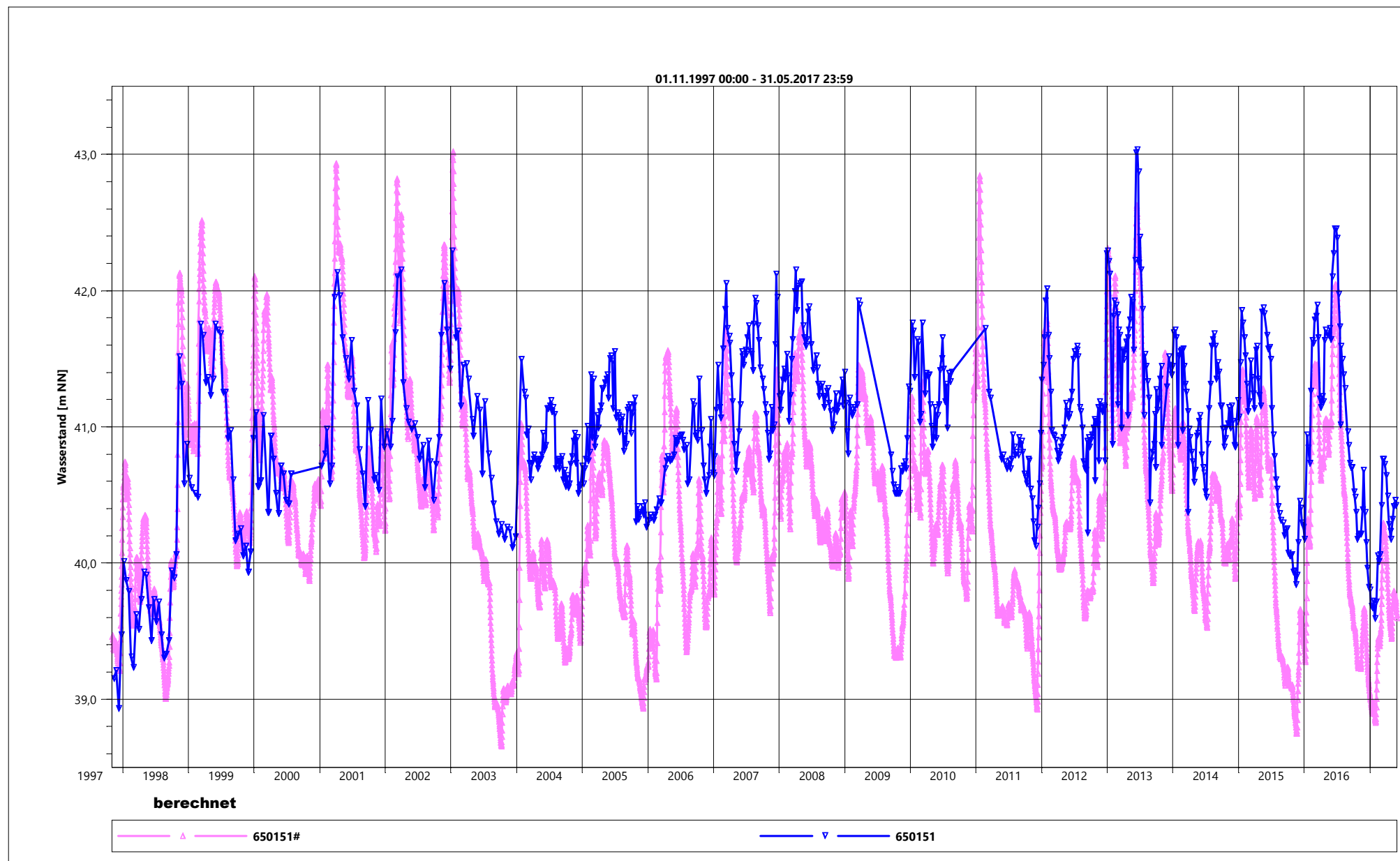
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



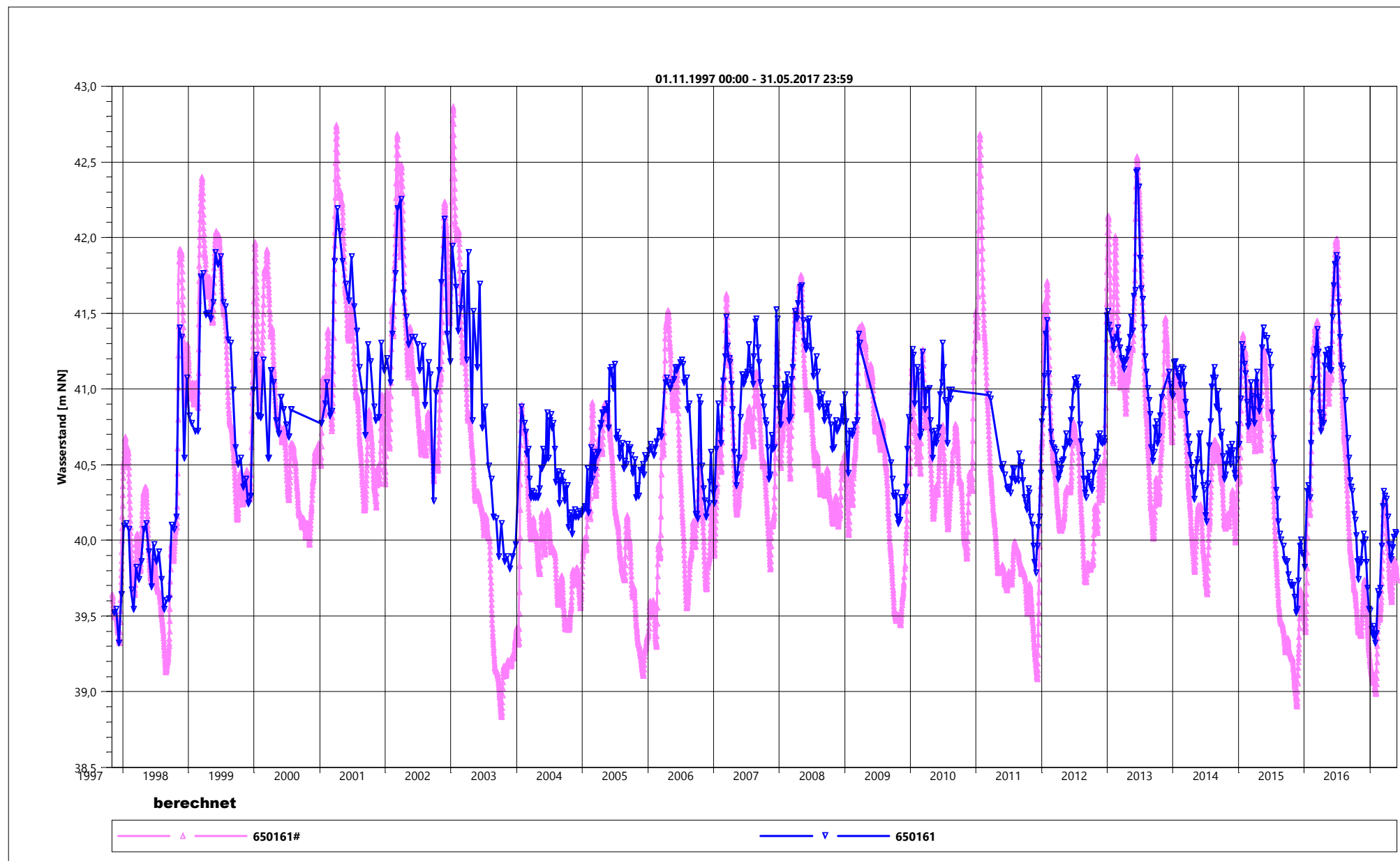
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



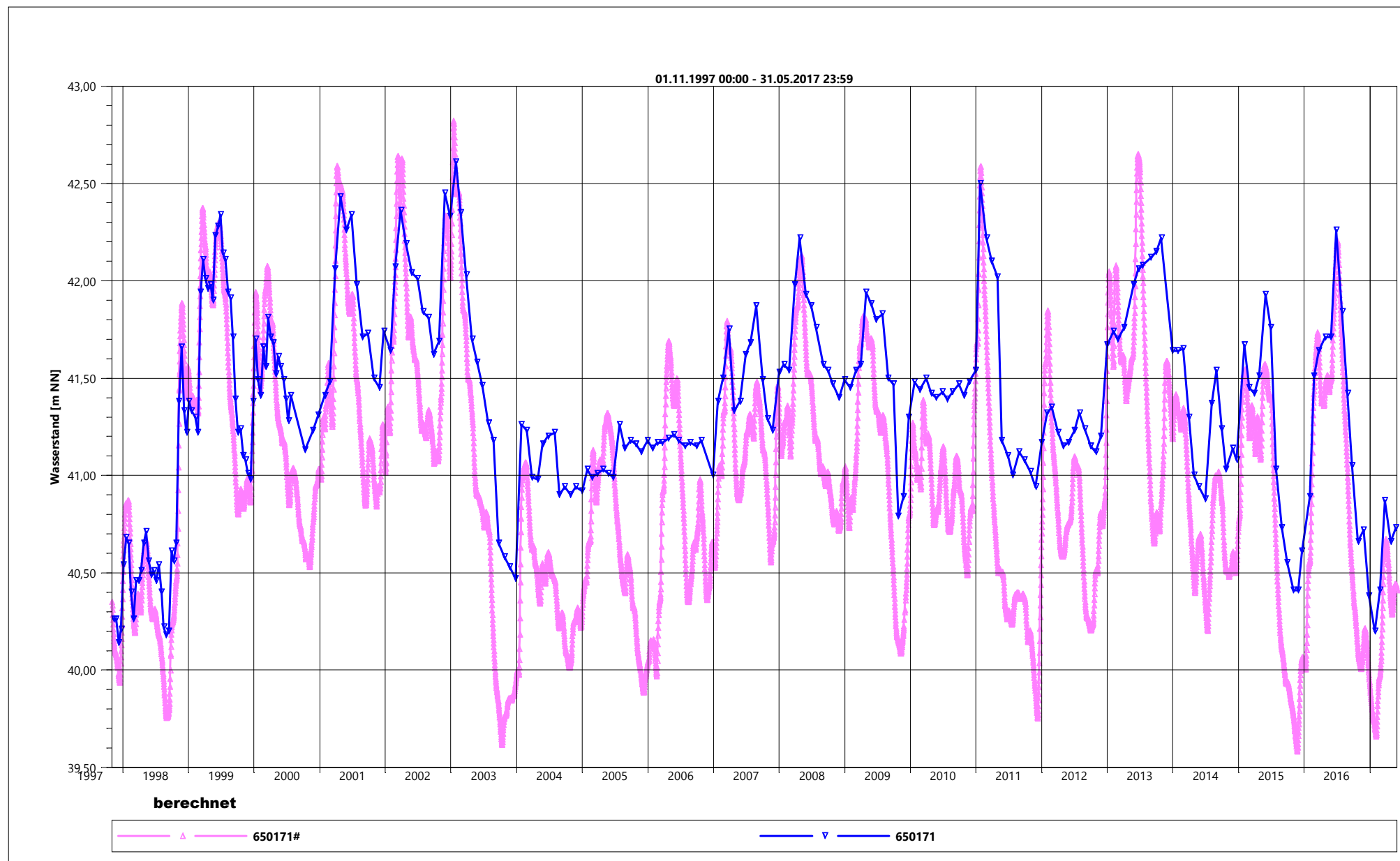
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



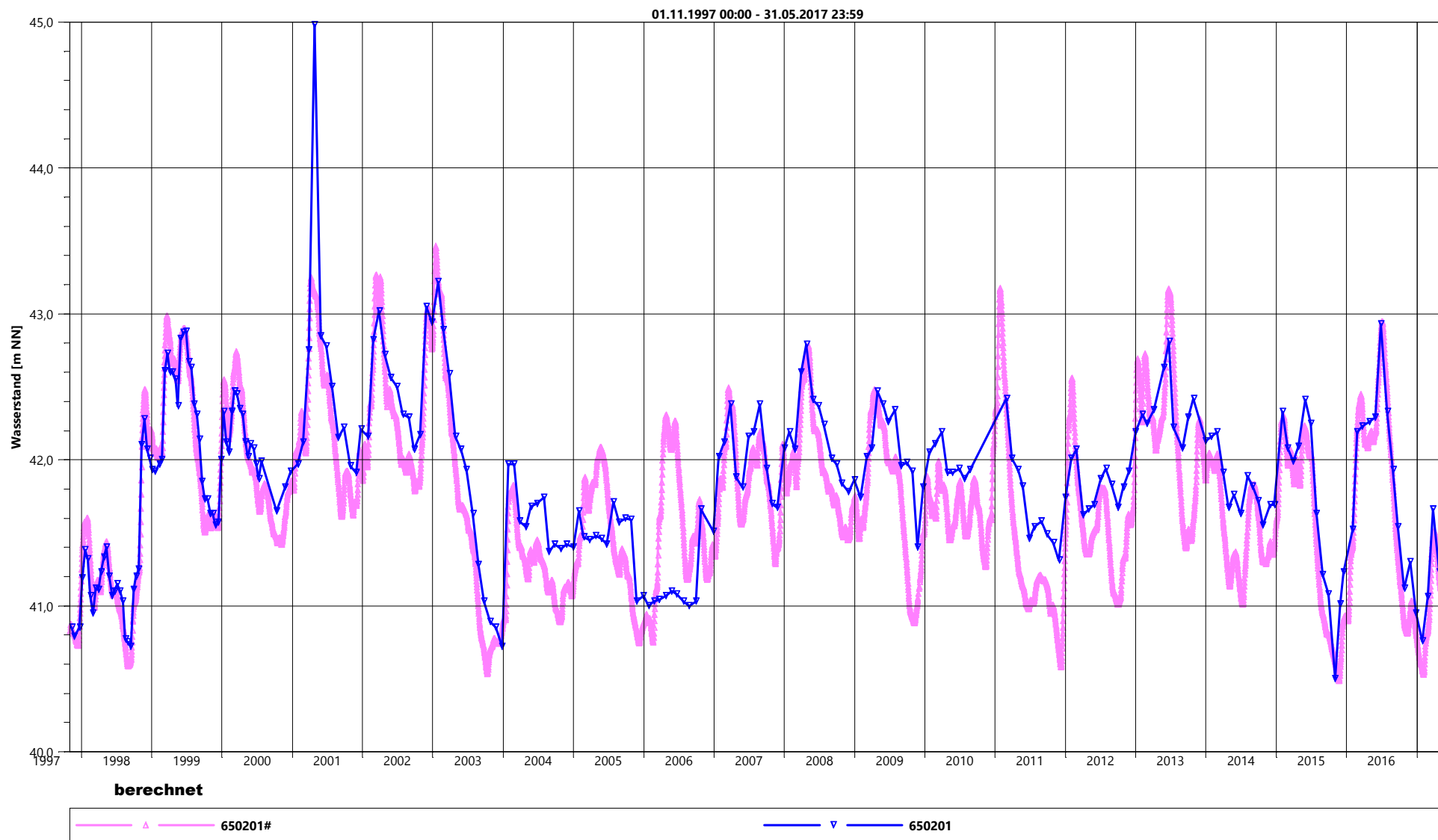
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



 Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener
	SWG, 13.09.2017	Grundwasserstand
		Anlage 9



Tauw GmbH
Münsters Gäßchen 14
51375 Leverkusen
www.tauw.de

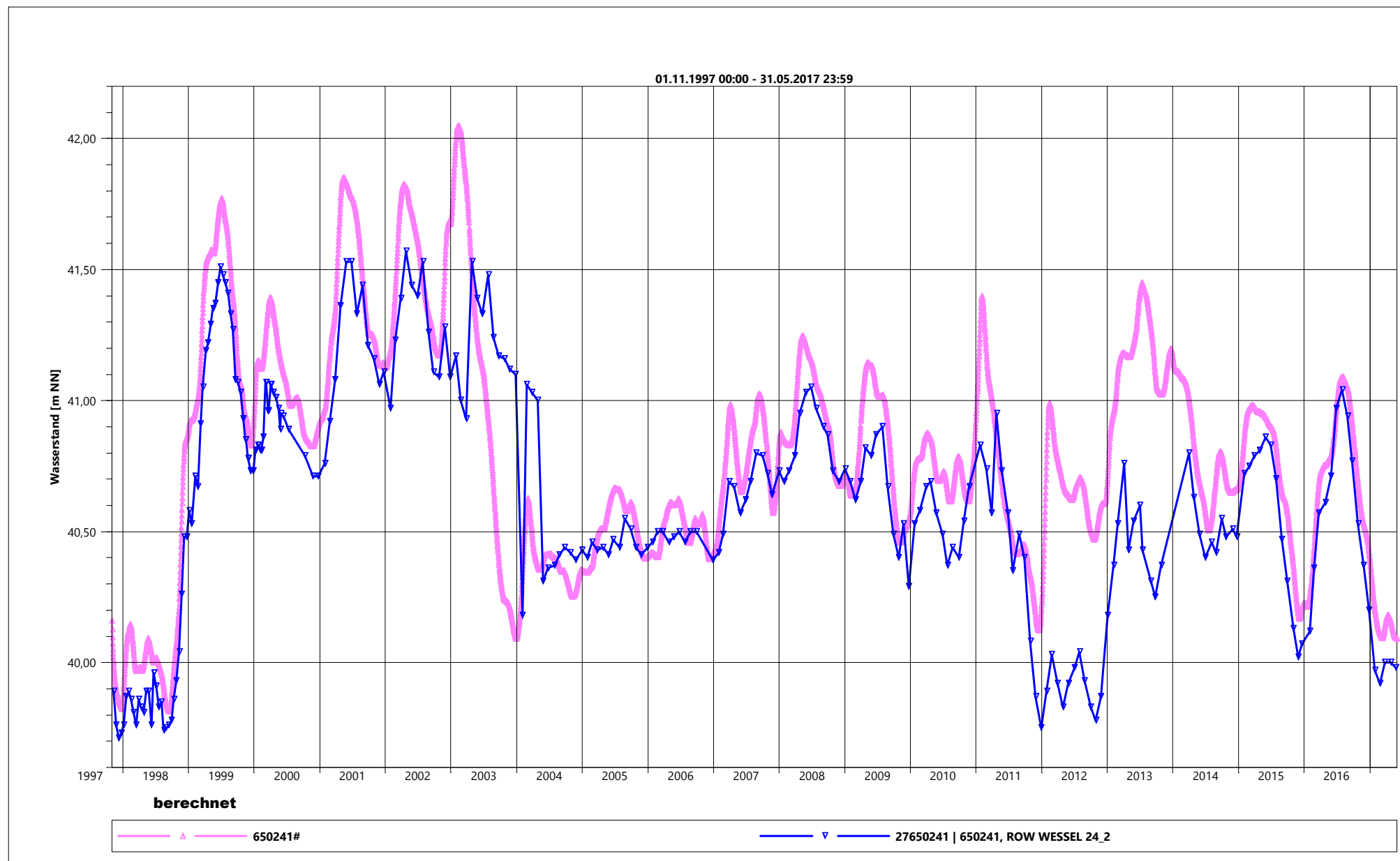
Grundwassermodell

SWG, 13.09.2017

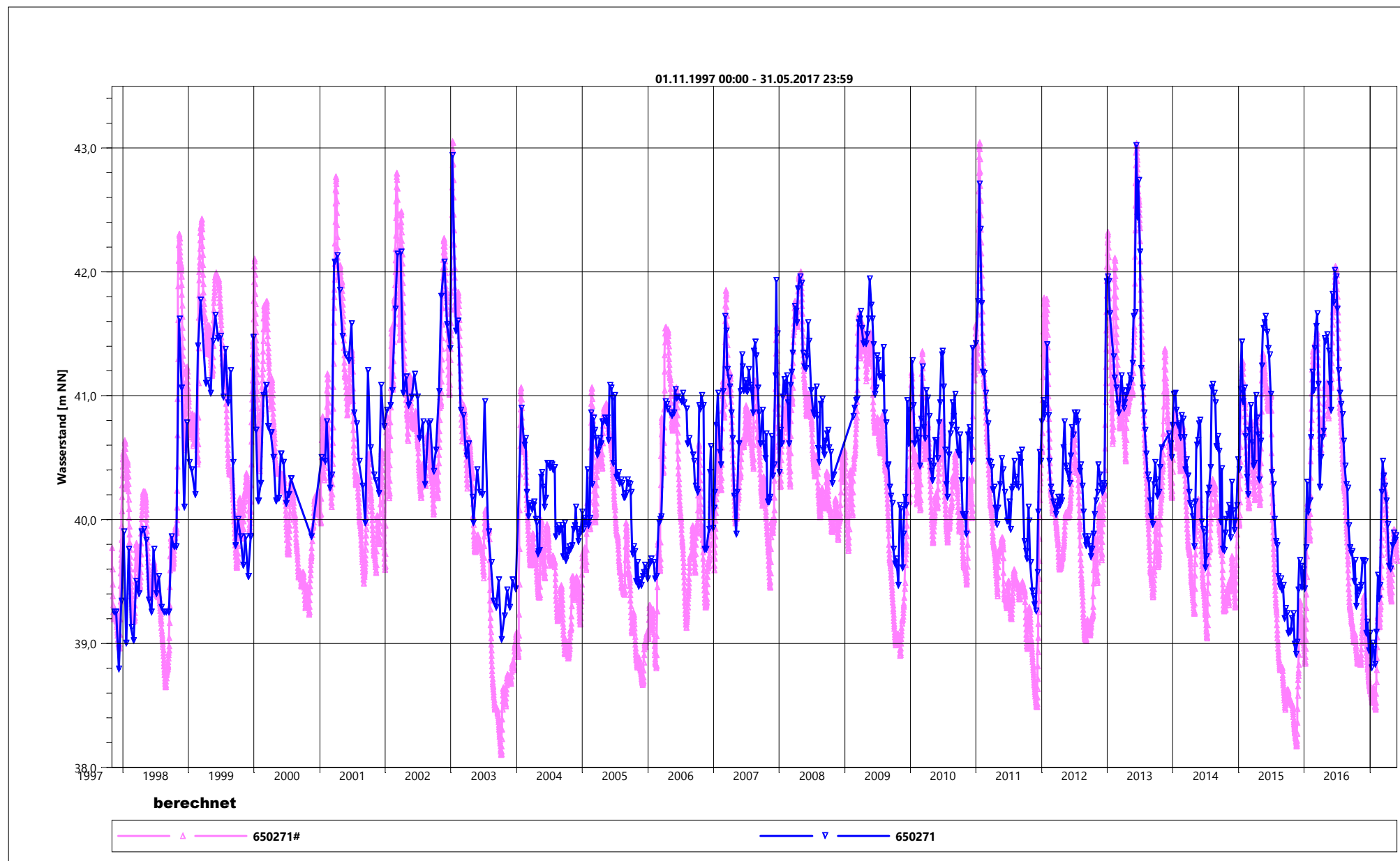
Vergleich berechneter und gemessener

Grundwasserstand

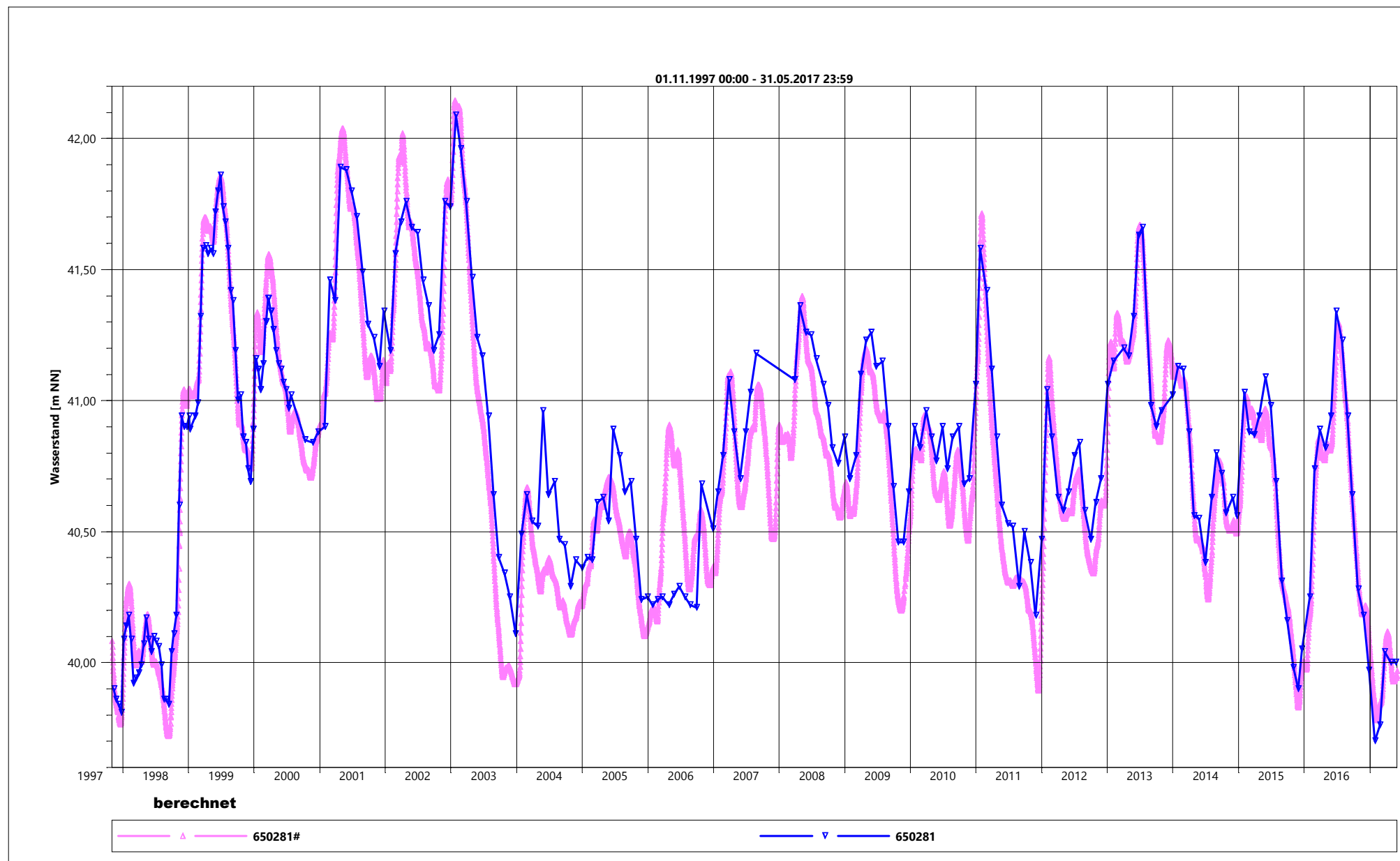
Anlage 9



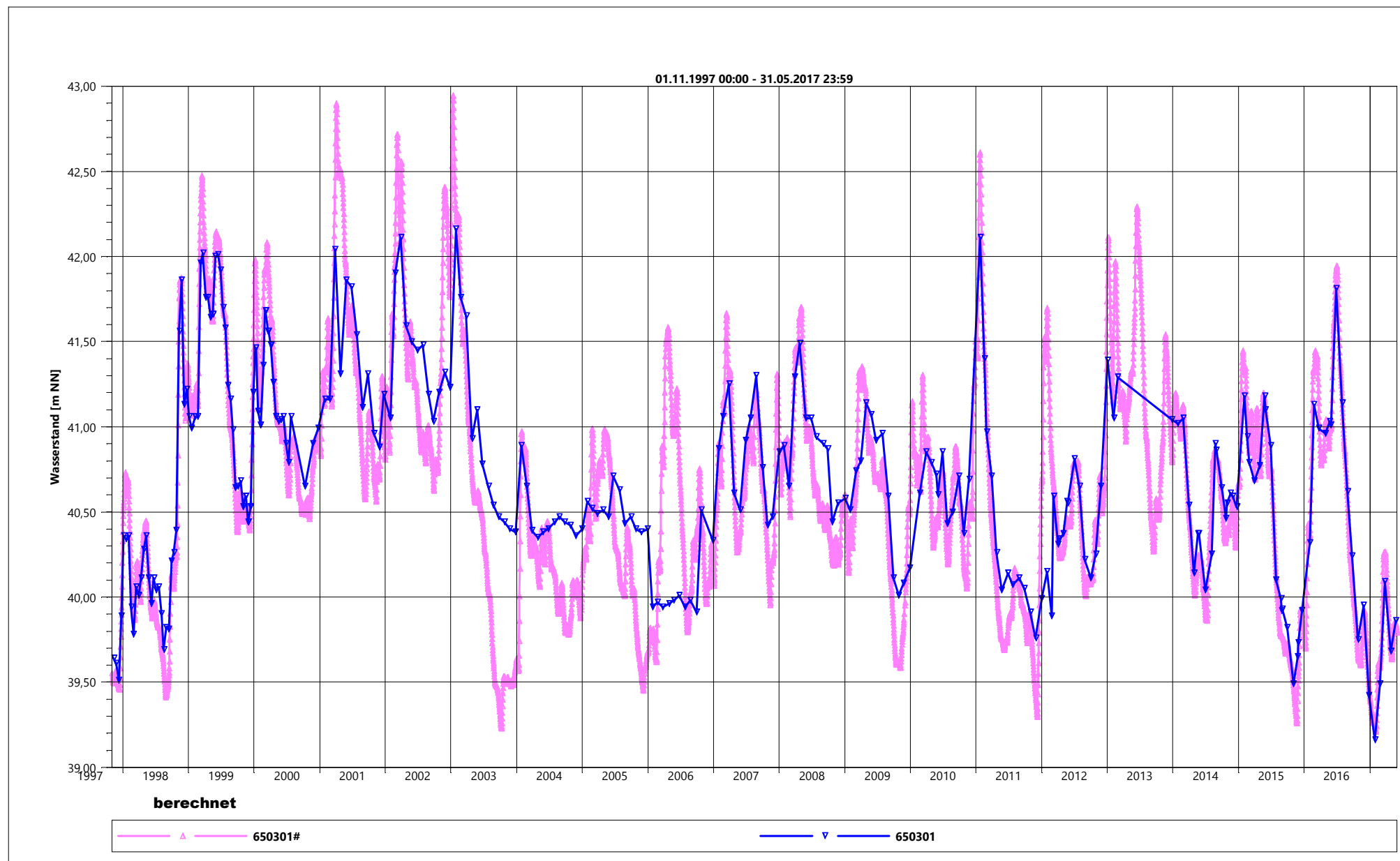
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener
		SWG, 13.09.2017	Grundwasserstand
			Anlage 9



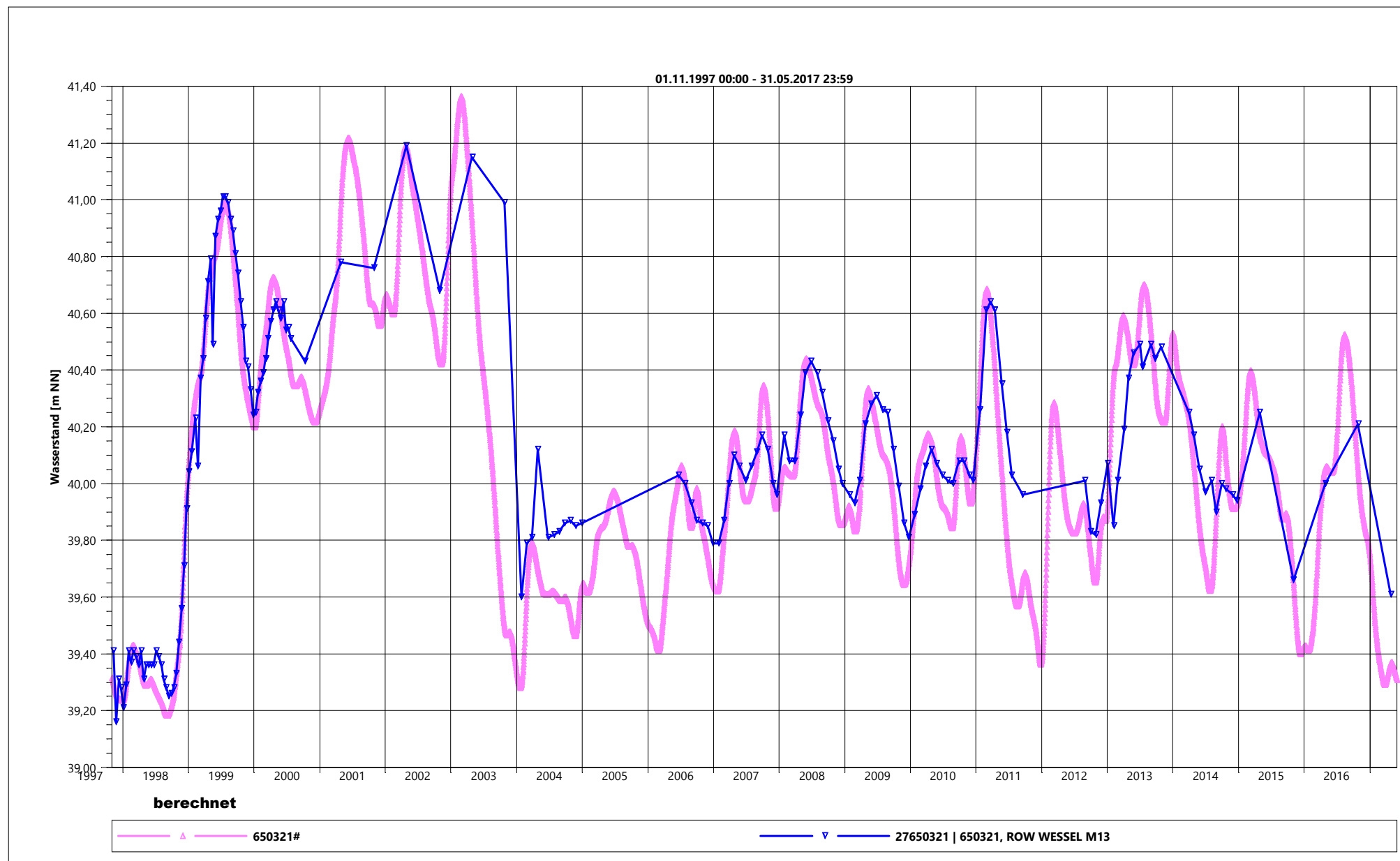
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



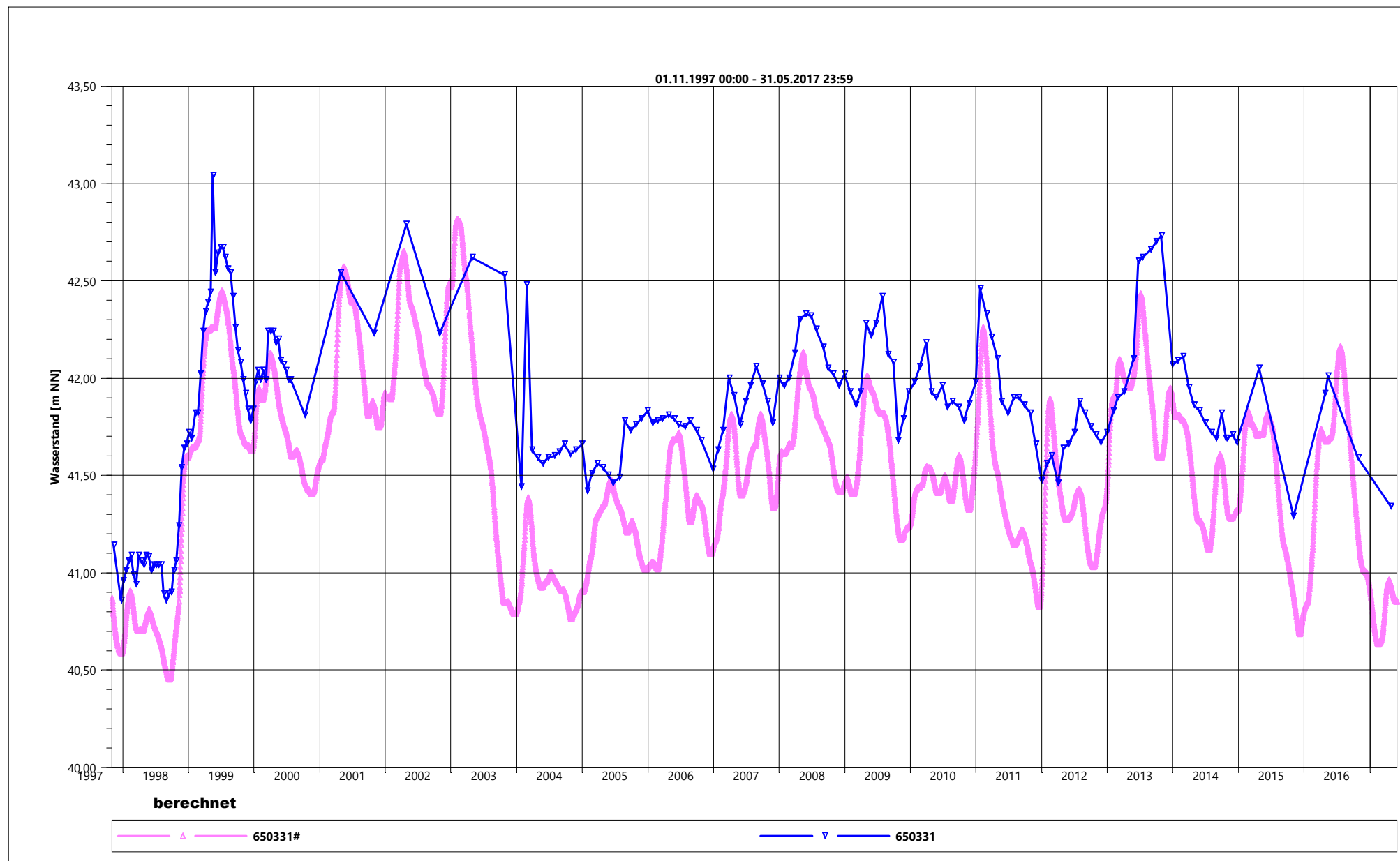
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



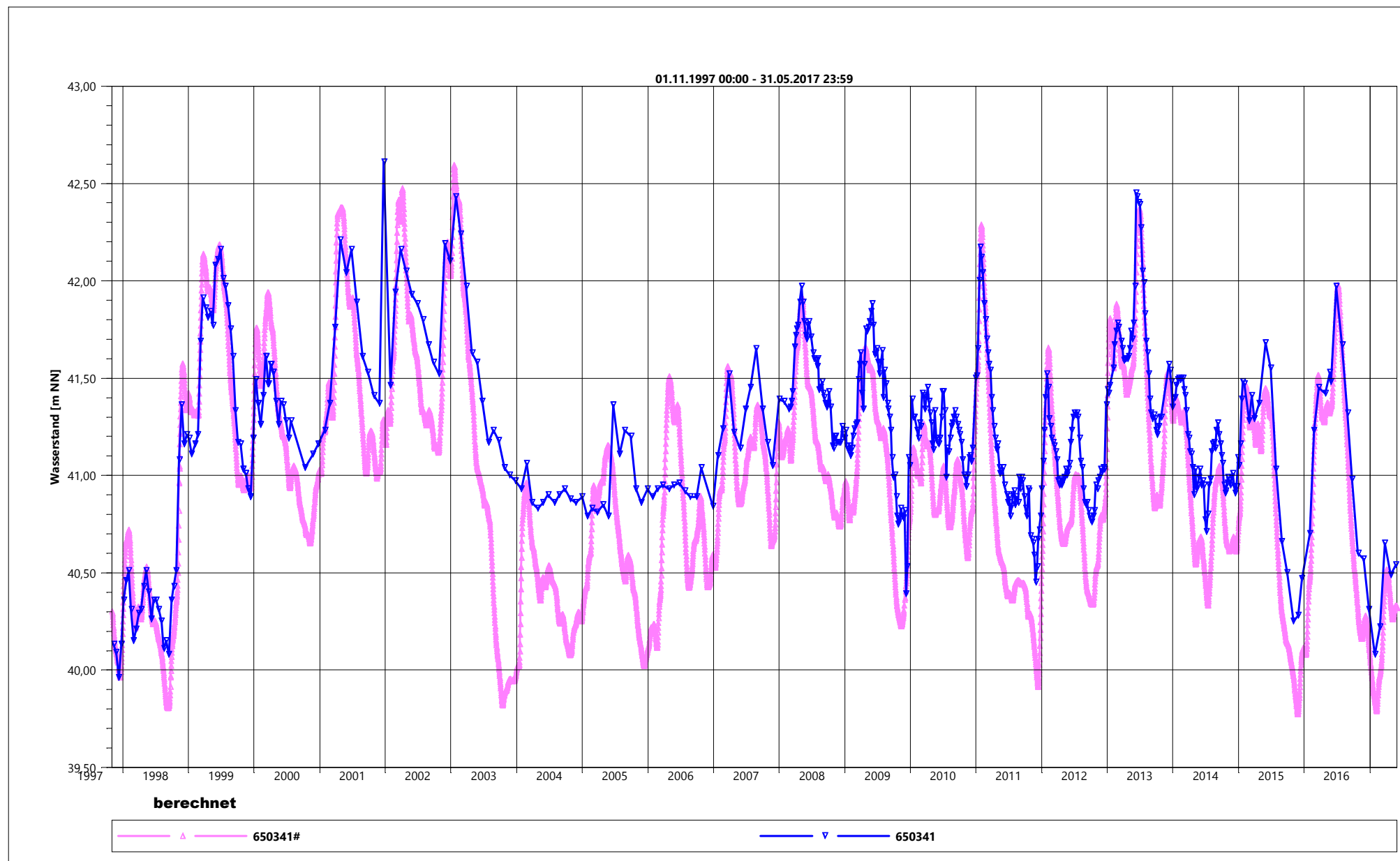
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



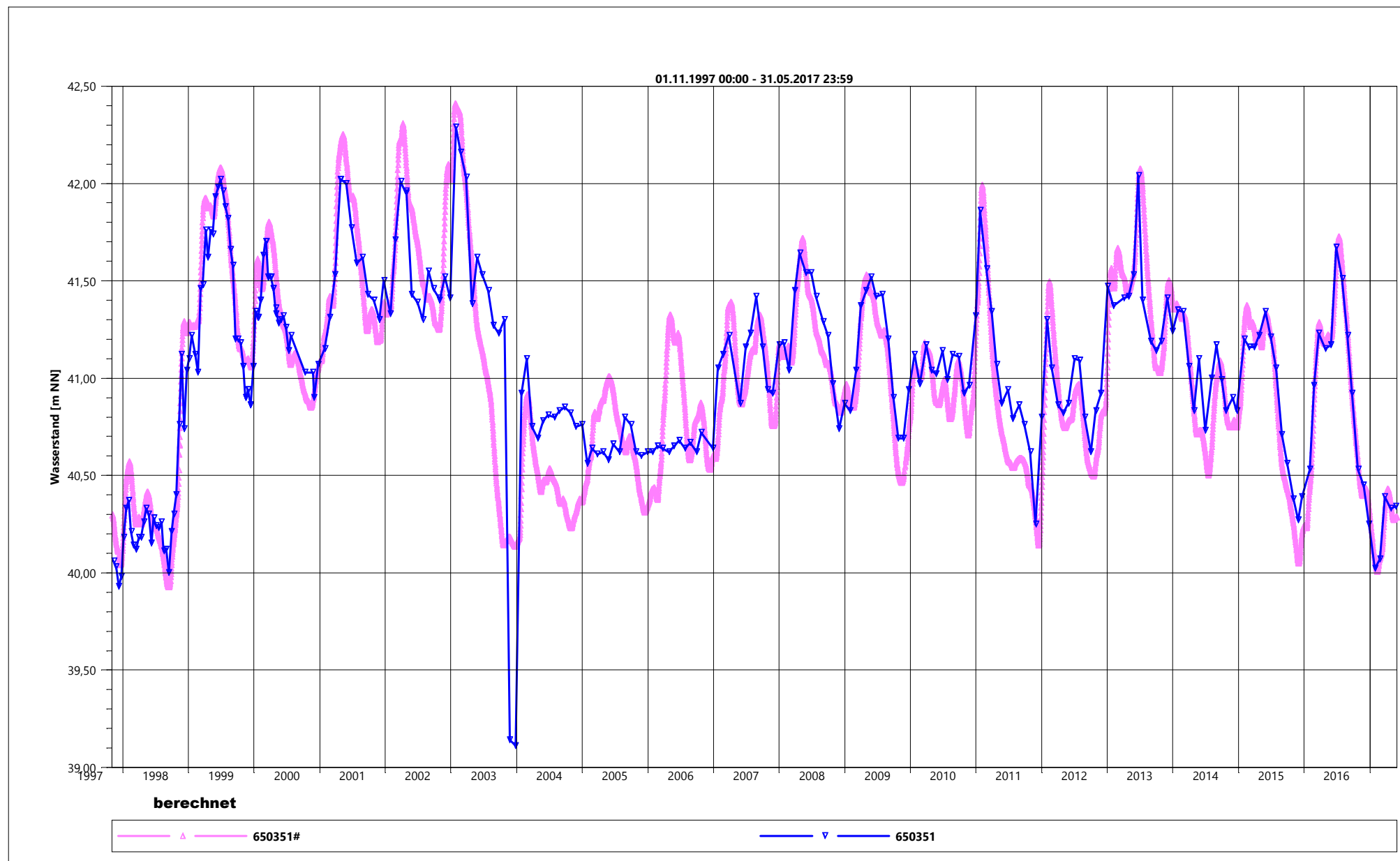
 Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Vergleich berechneter und gemessener	
	Grundwassermodell SWG, 13.09.2017	Grundwasserstand Anlage 9



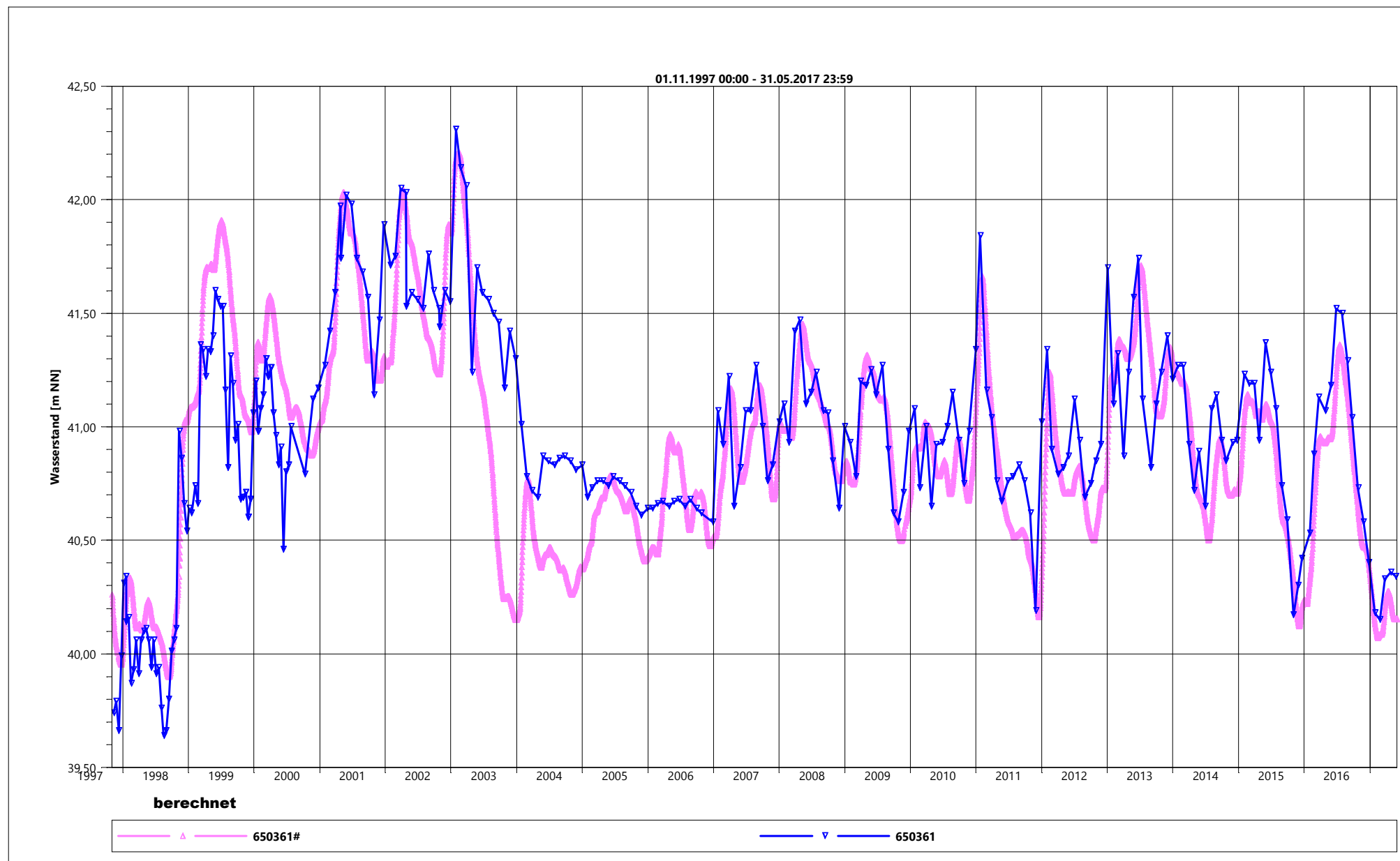
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



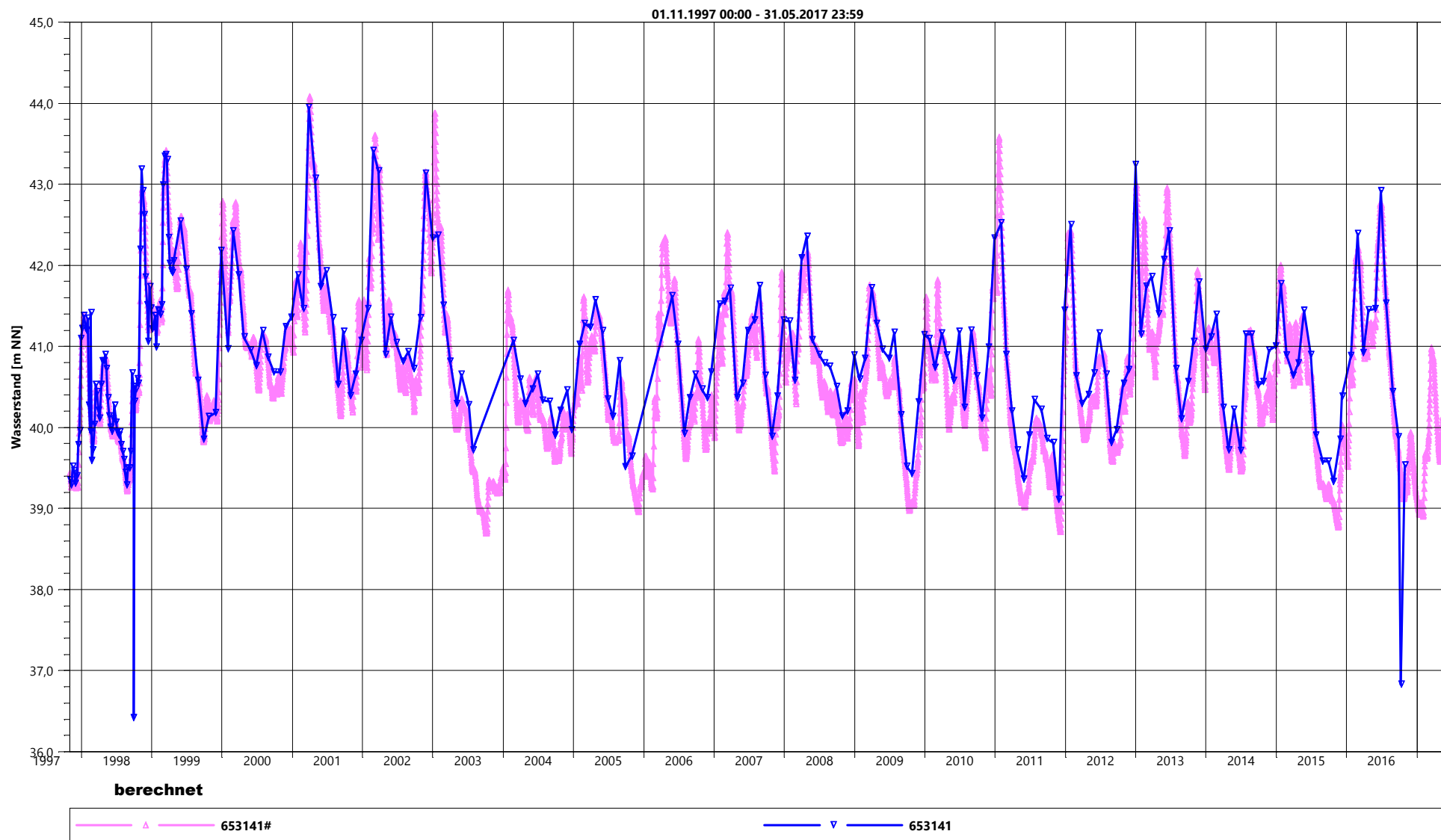
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



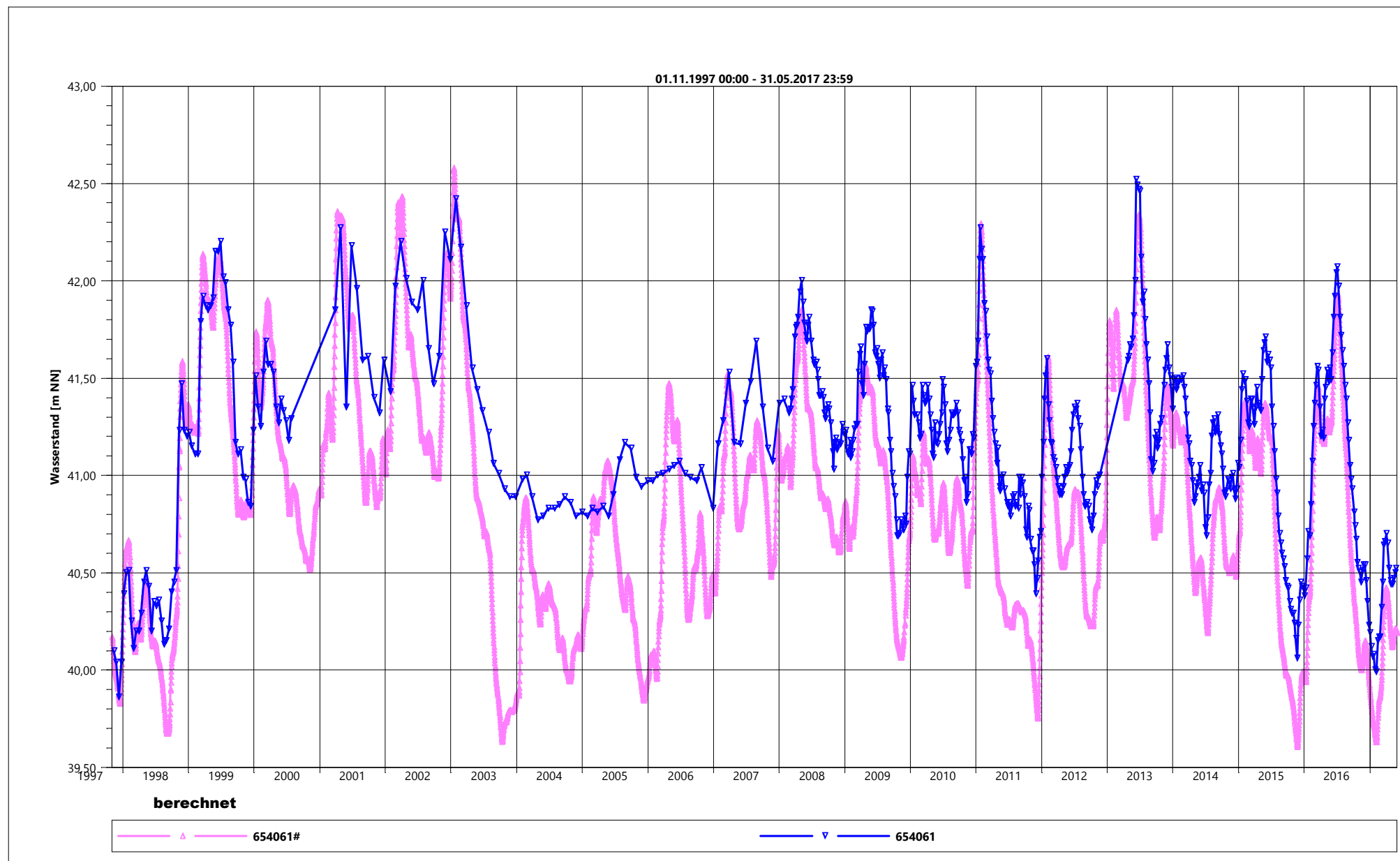
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



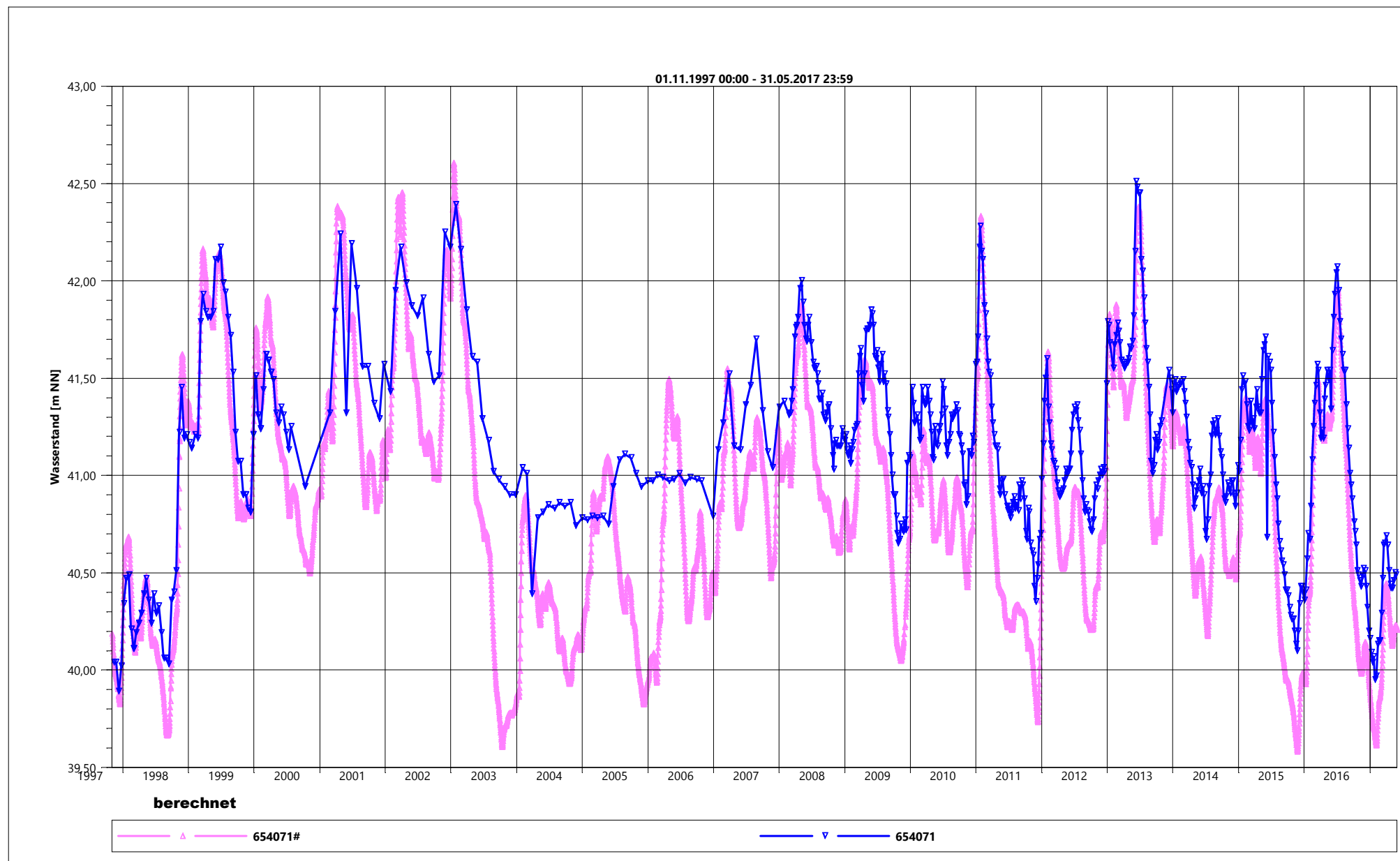
Tauw GmbH
 Münsters Gäßchen 14
 51375 Leverkusen
 www.tauw.de

Grundwassermodell
 SWG, 13.09.2017

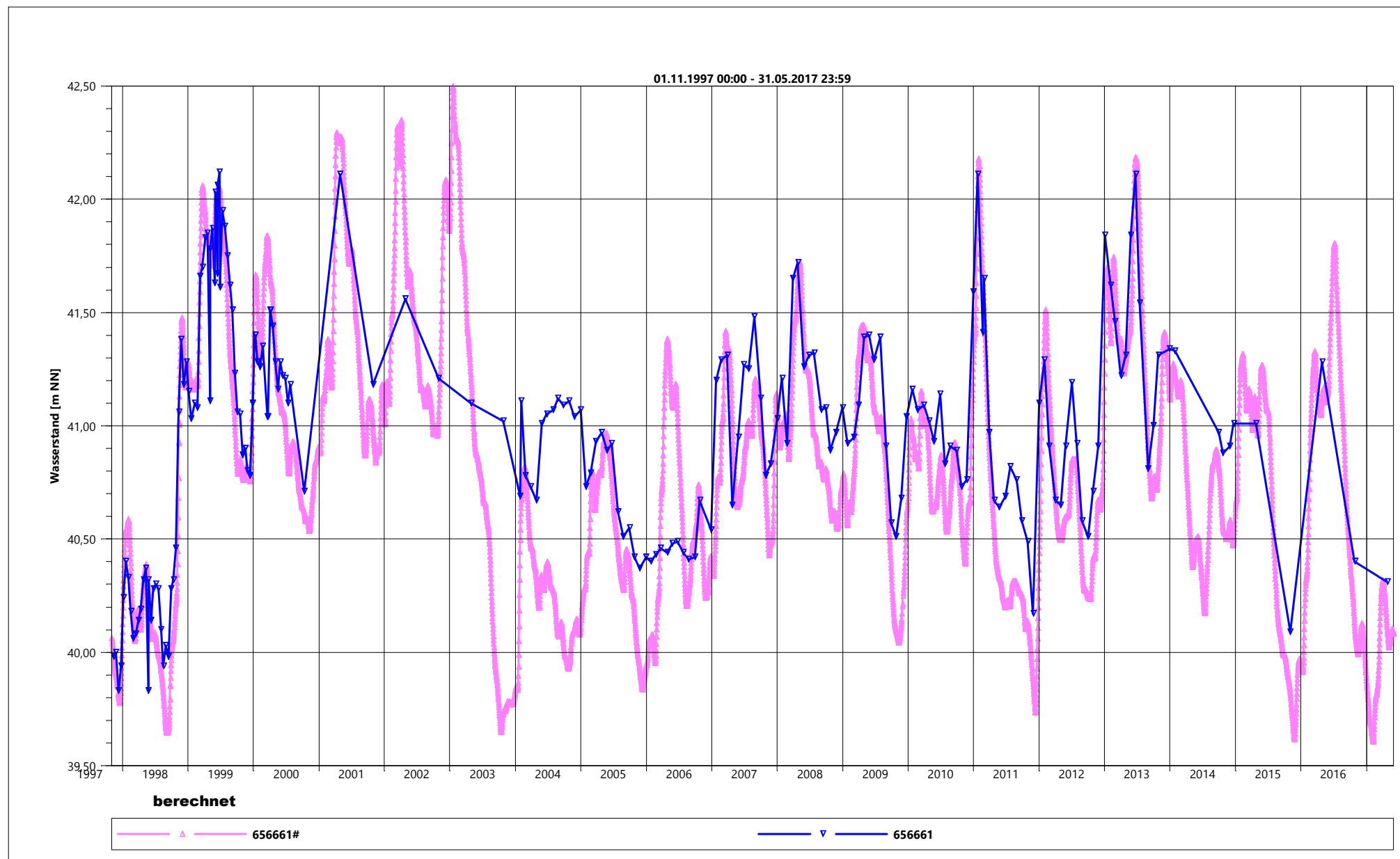
Vergleich berechneter und gemessener
Grundwasserstand
 Anlage 9



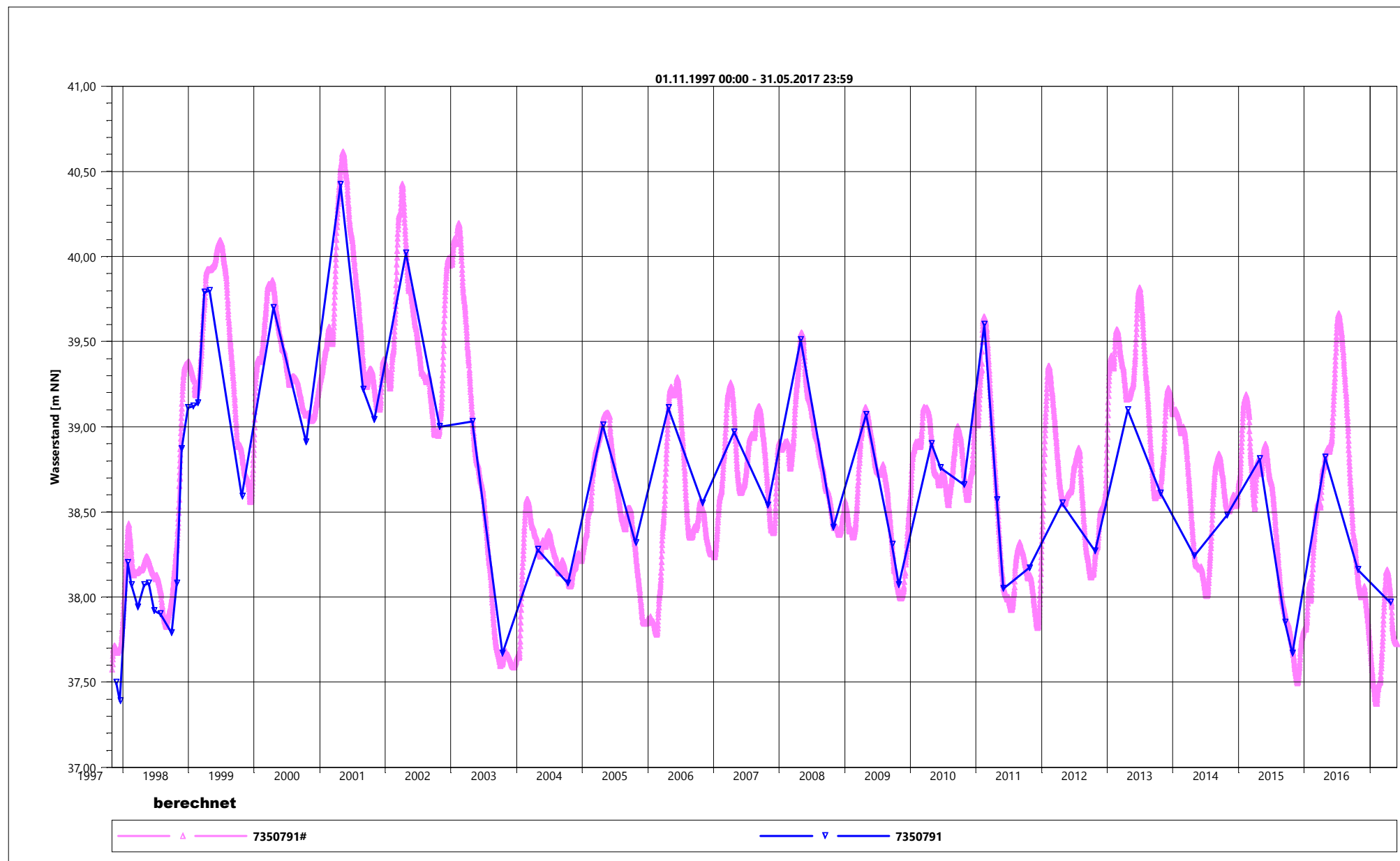
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



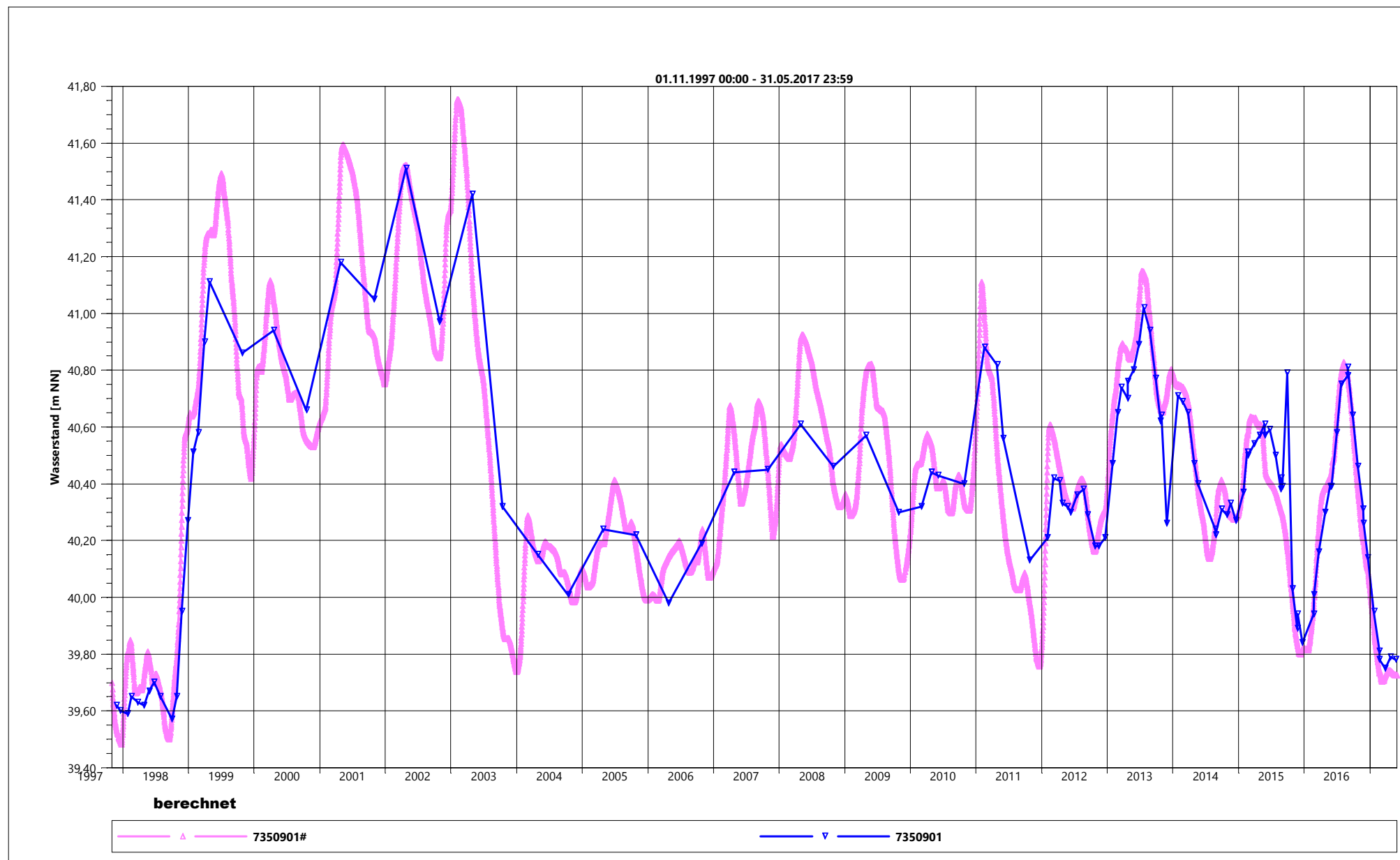
	Tauf GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauf.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



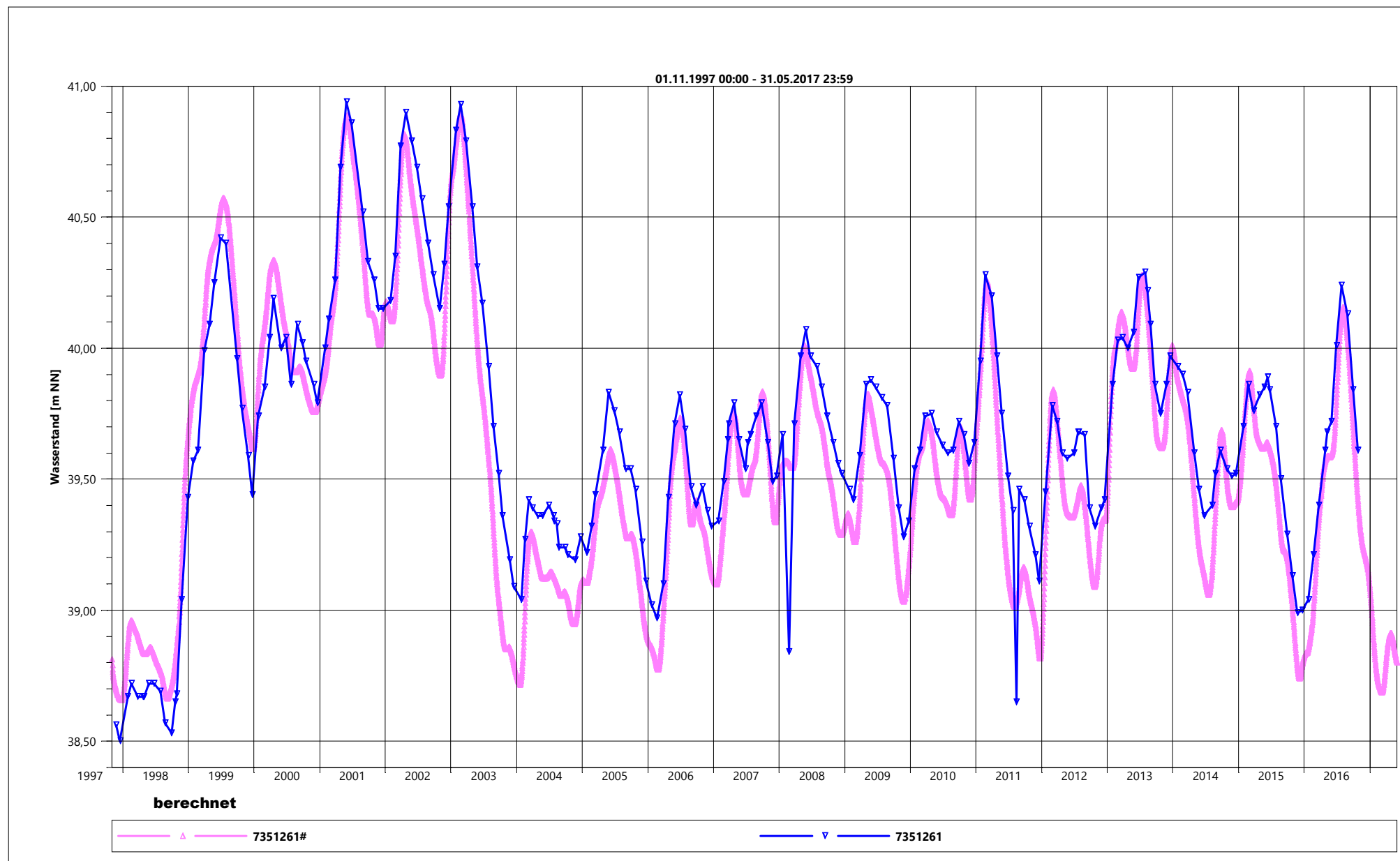
 Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Vergleich berechneter und gemessener	
	Grundwassermodell	Grundwasserstand
	SWG, 13.09.2017	Anlage 9



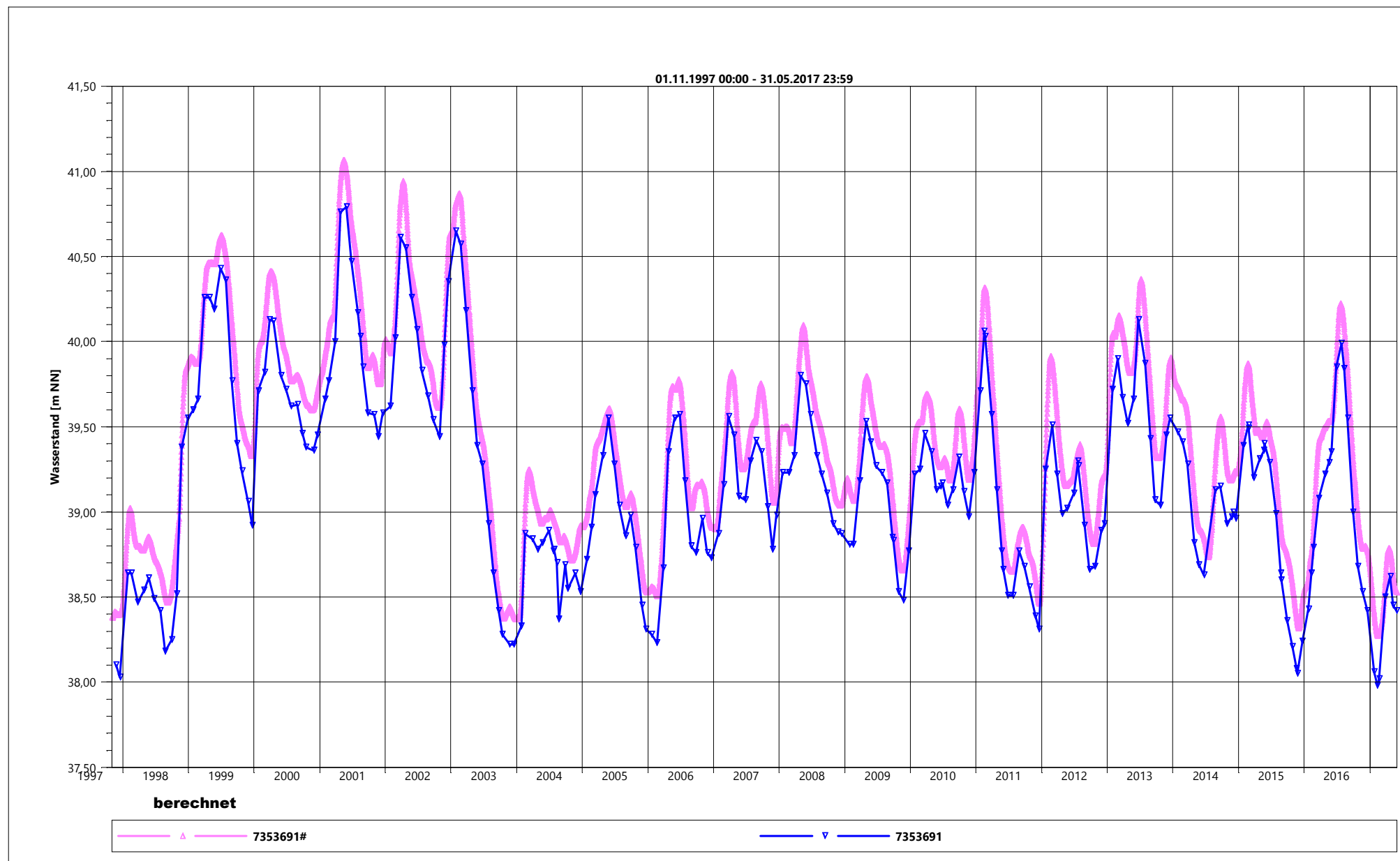
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



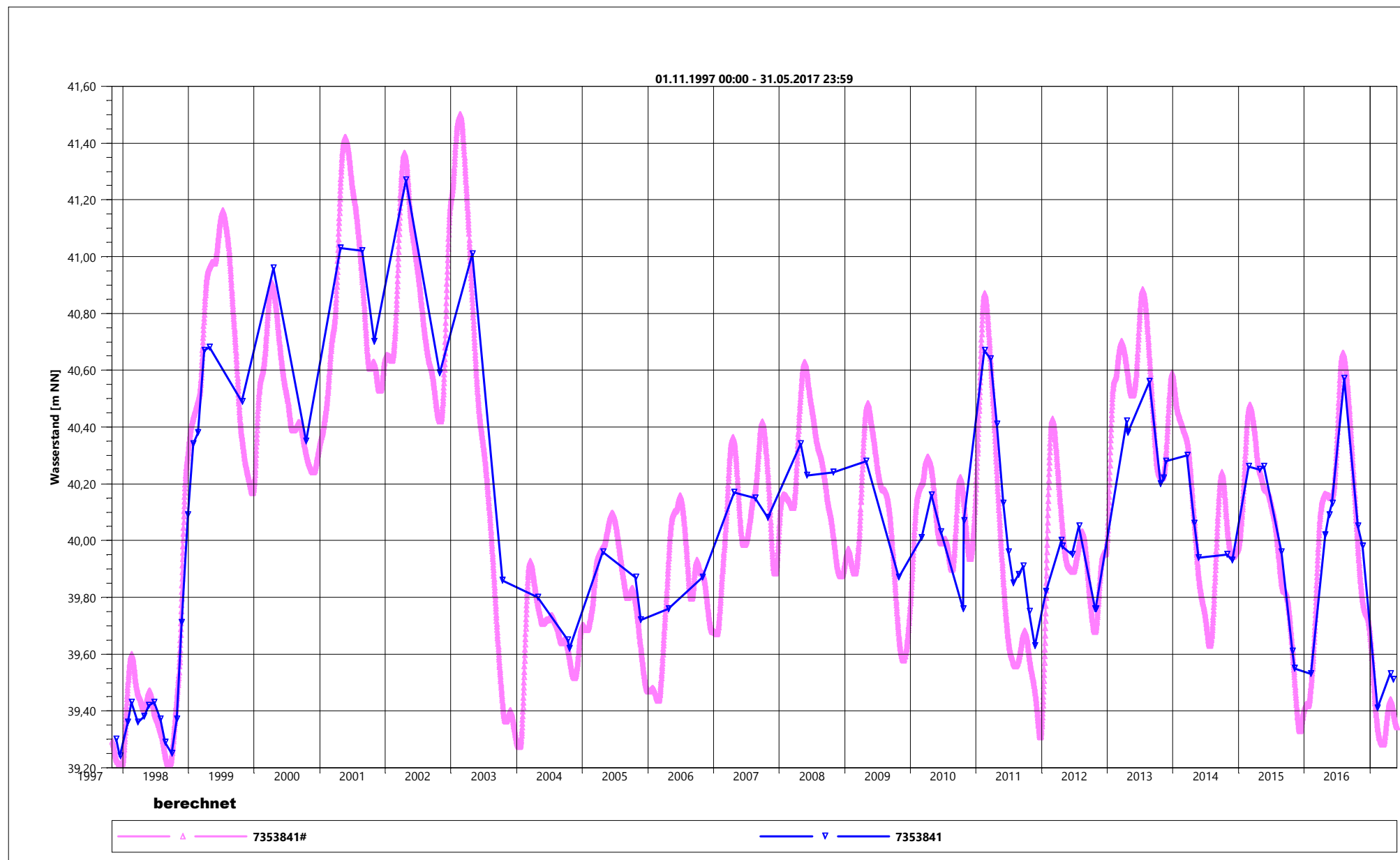
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



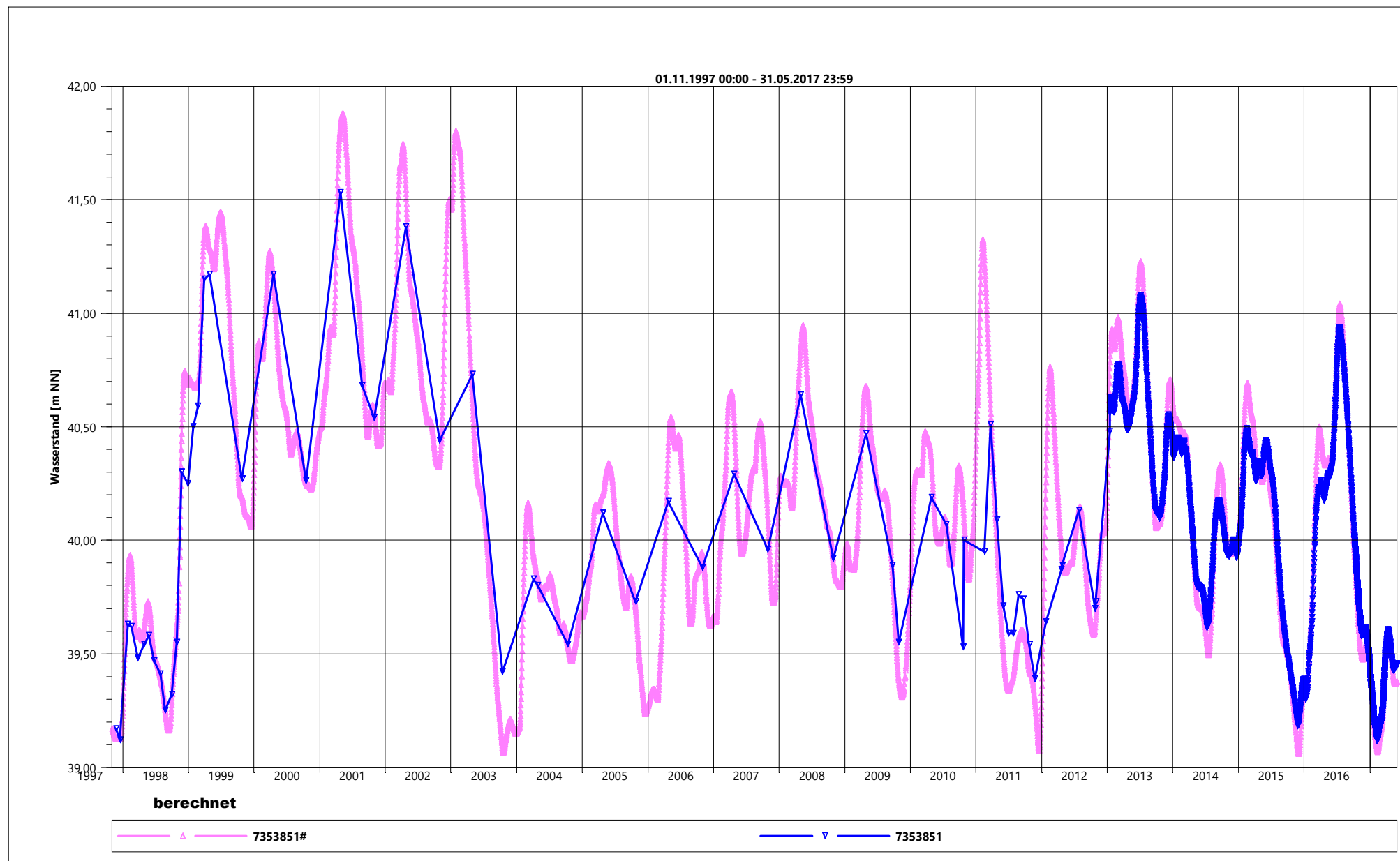
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



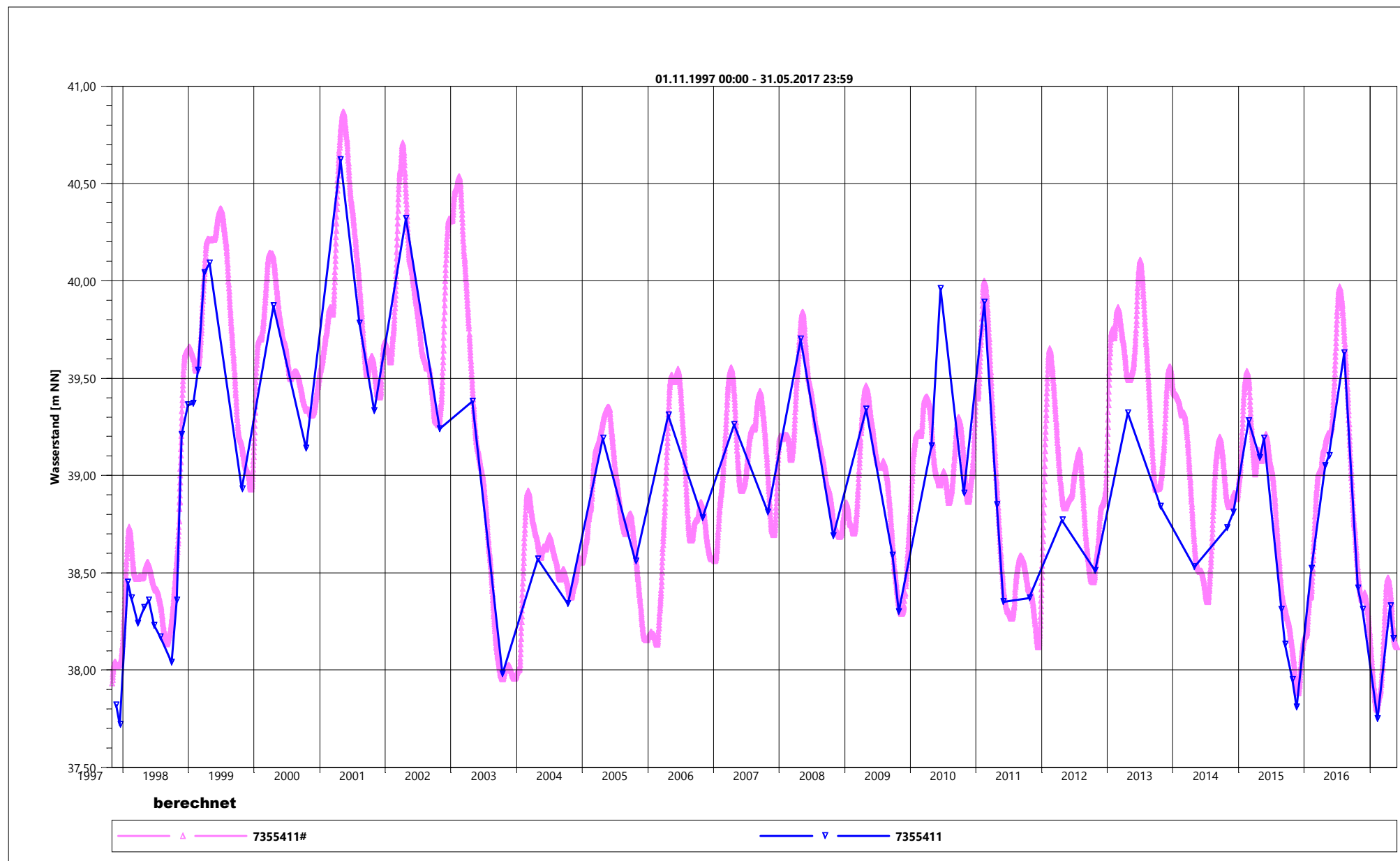
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



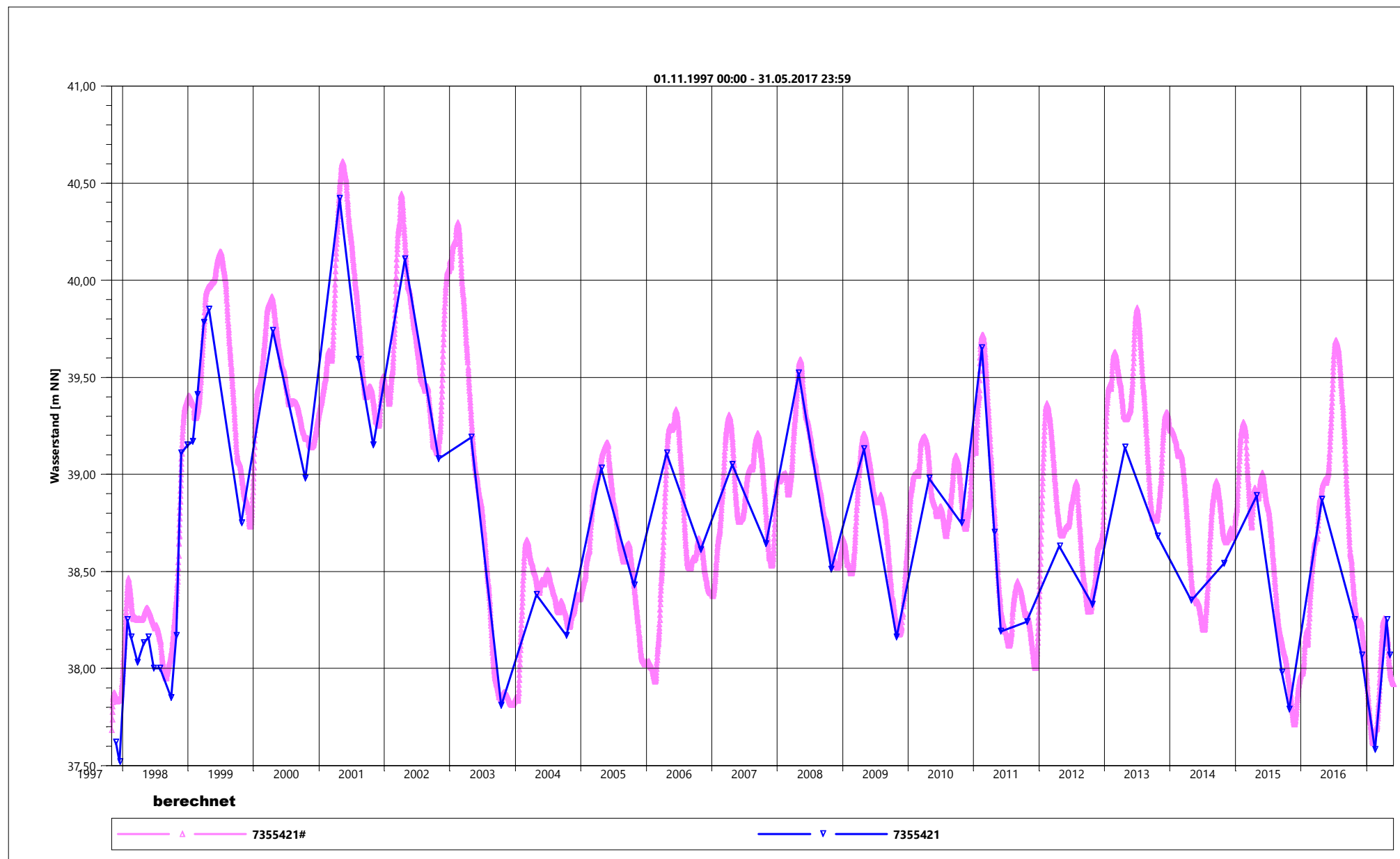
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener
			Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



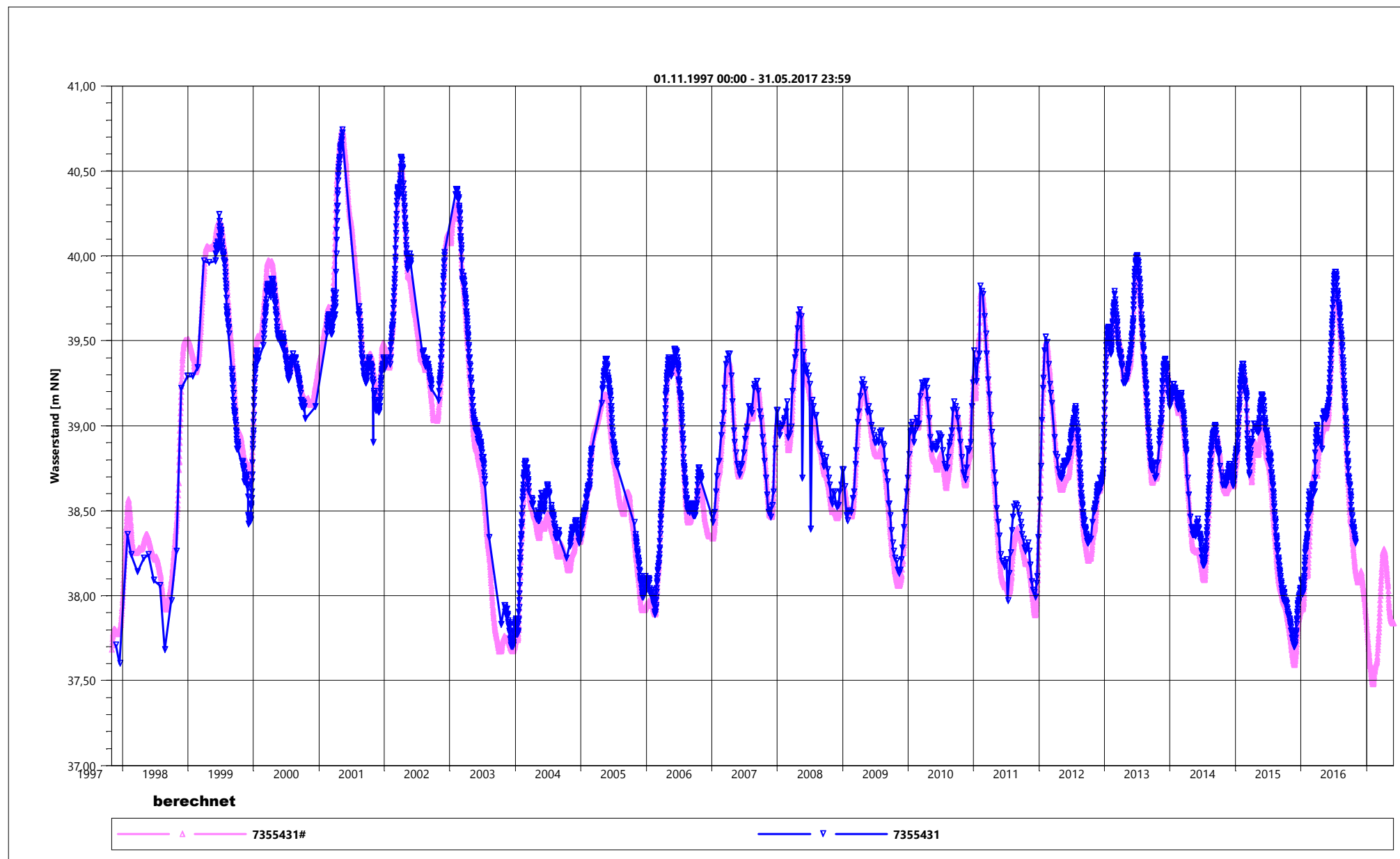
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



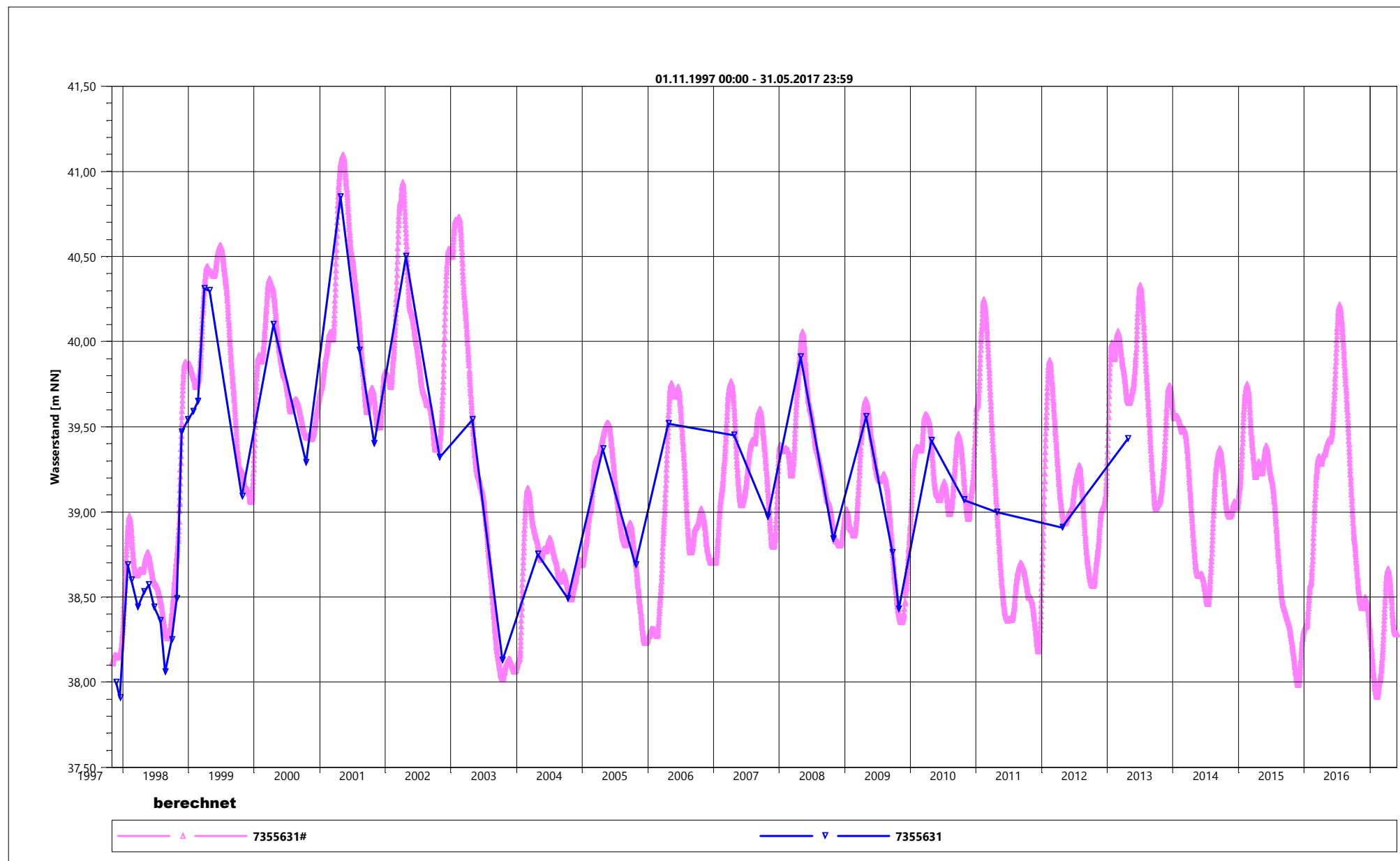
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



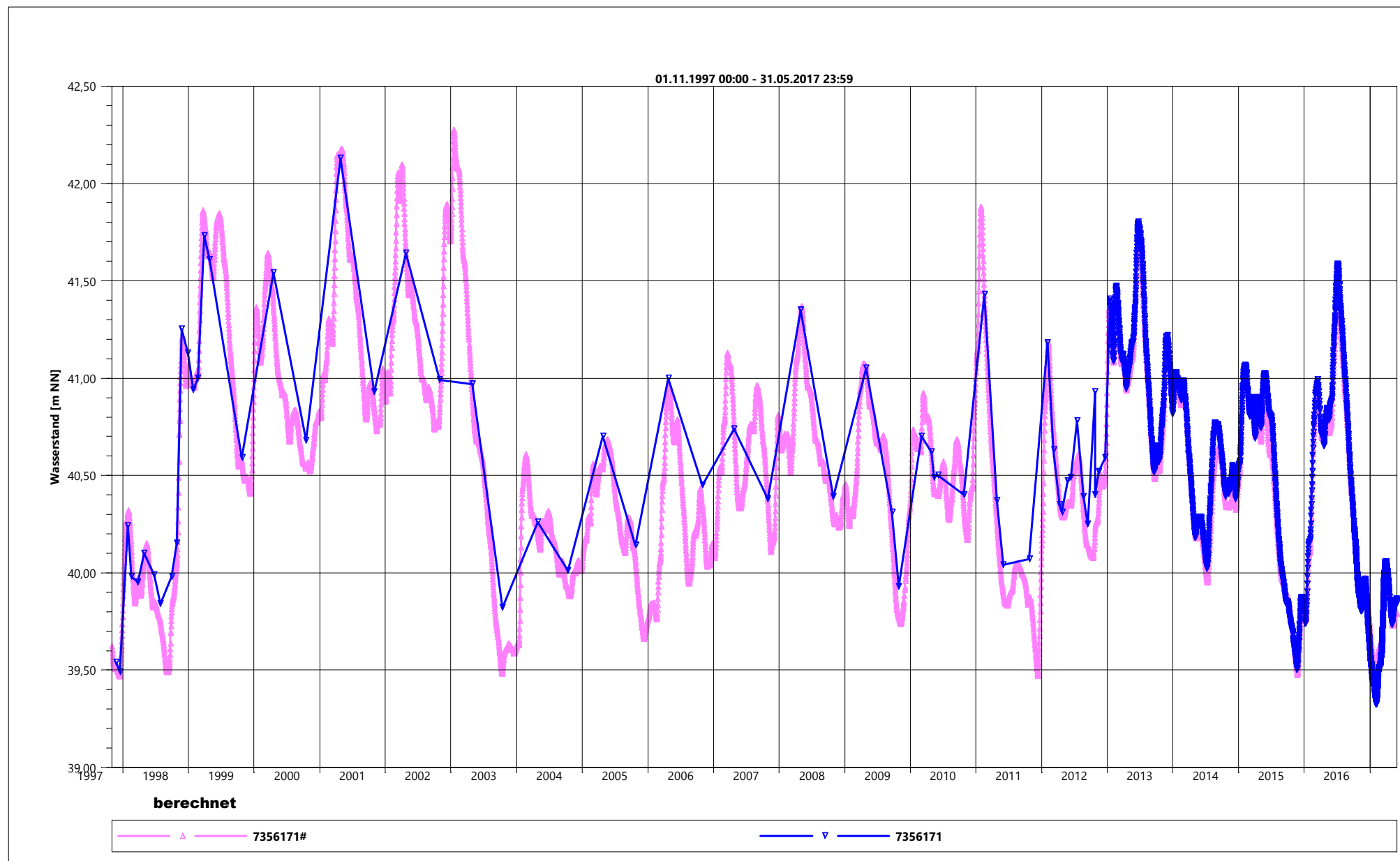
	Tauf GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauf.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



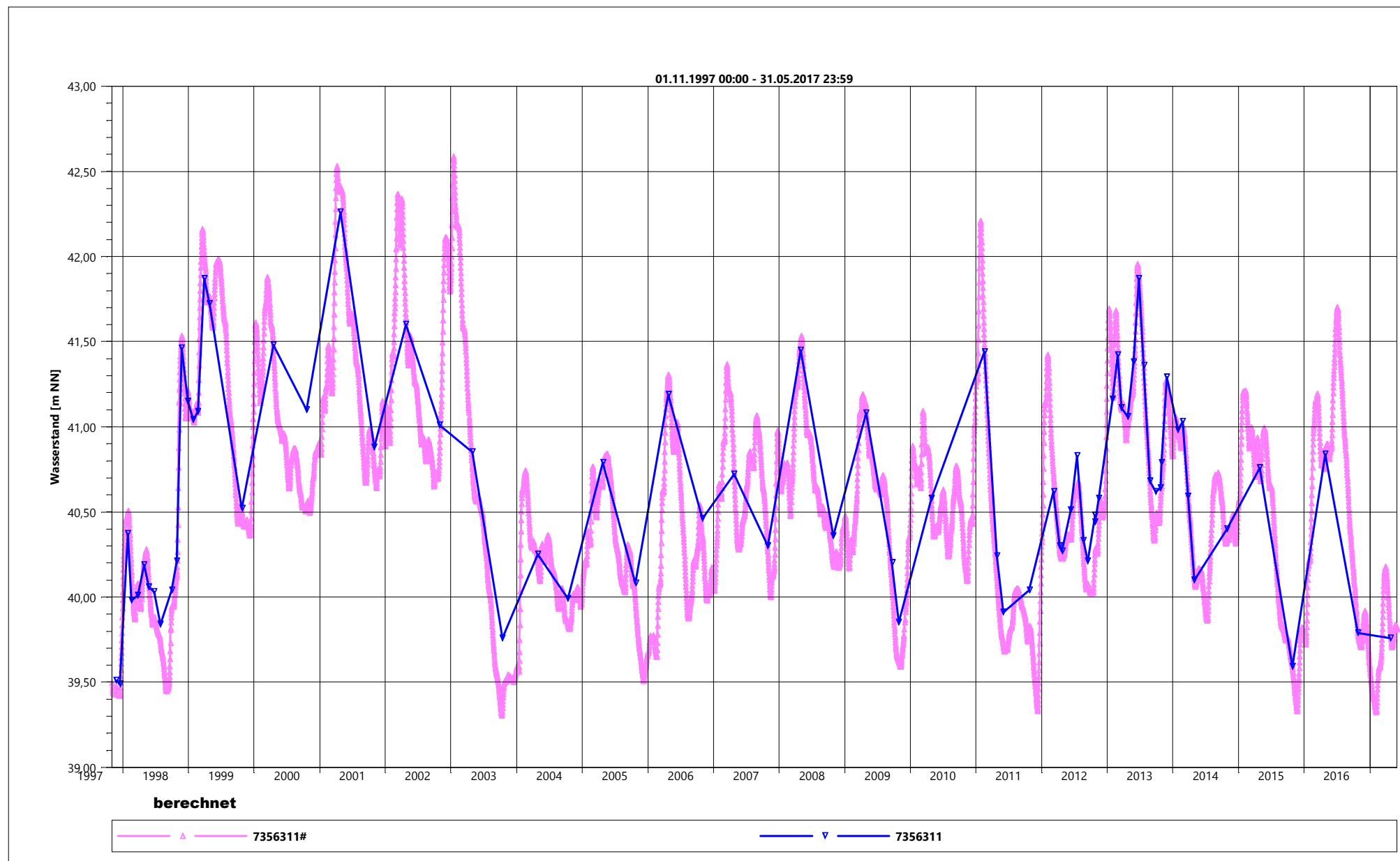
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



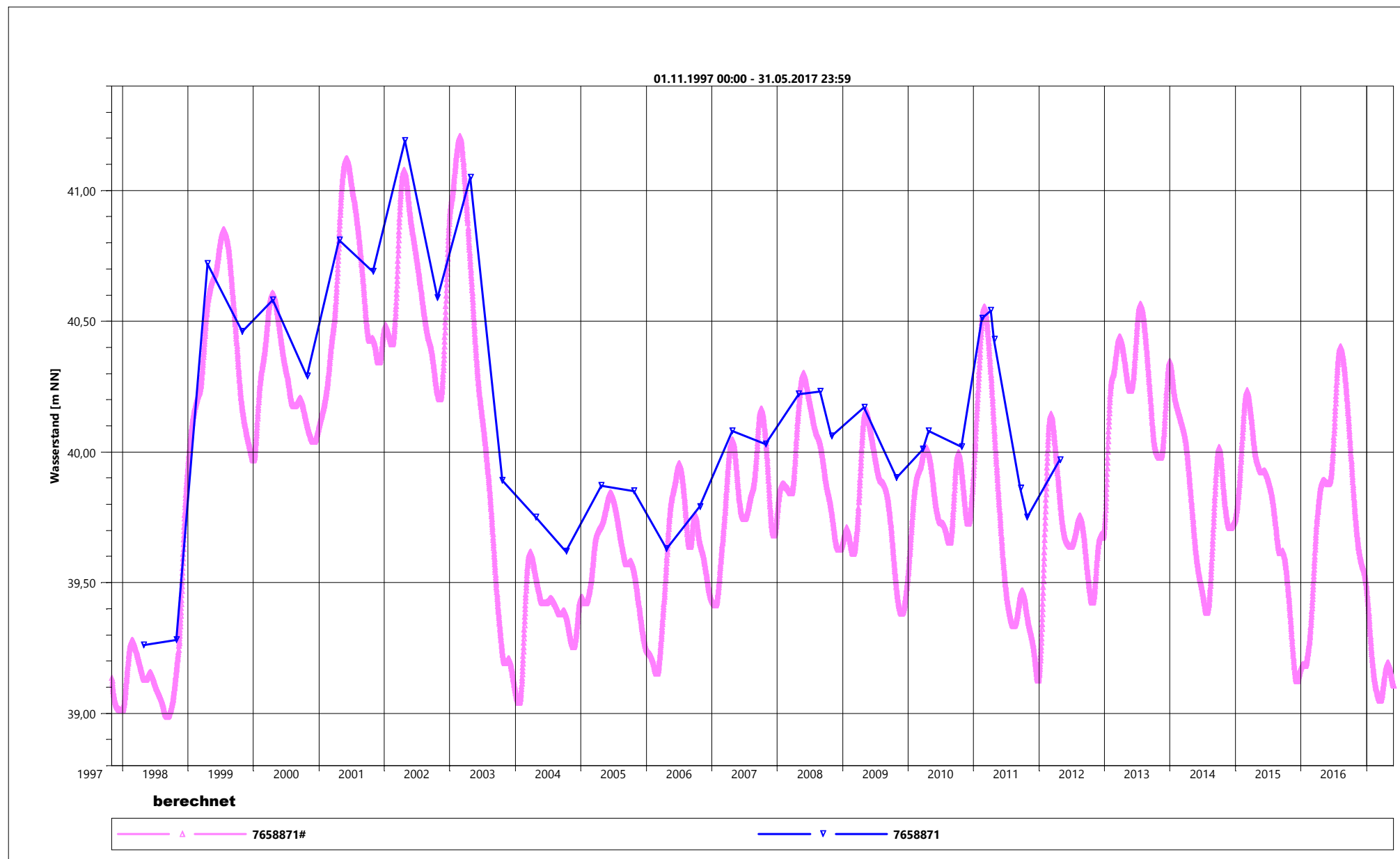
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



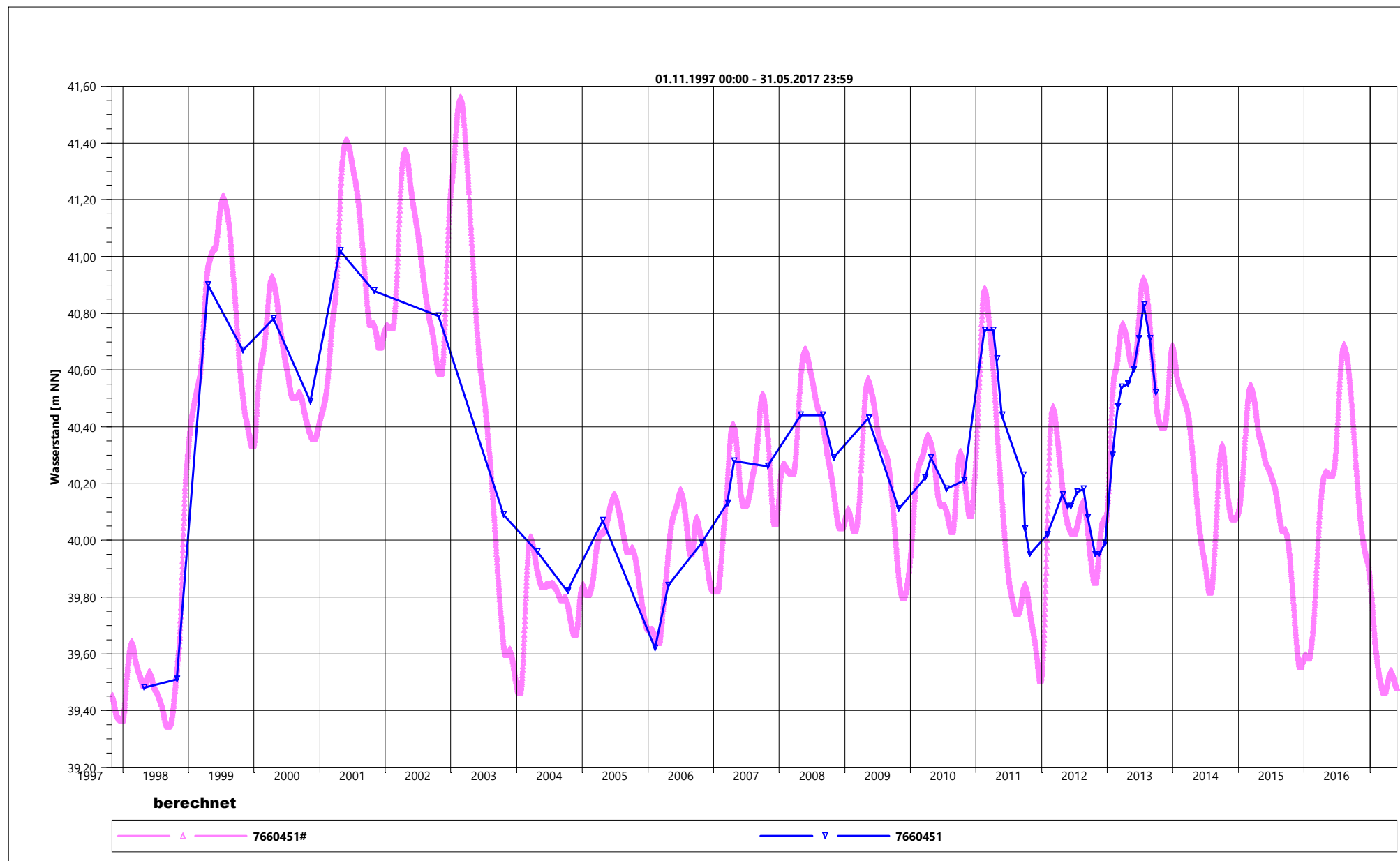
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



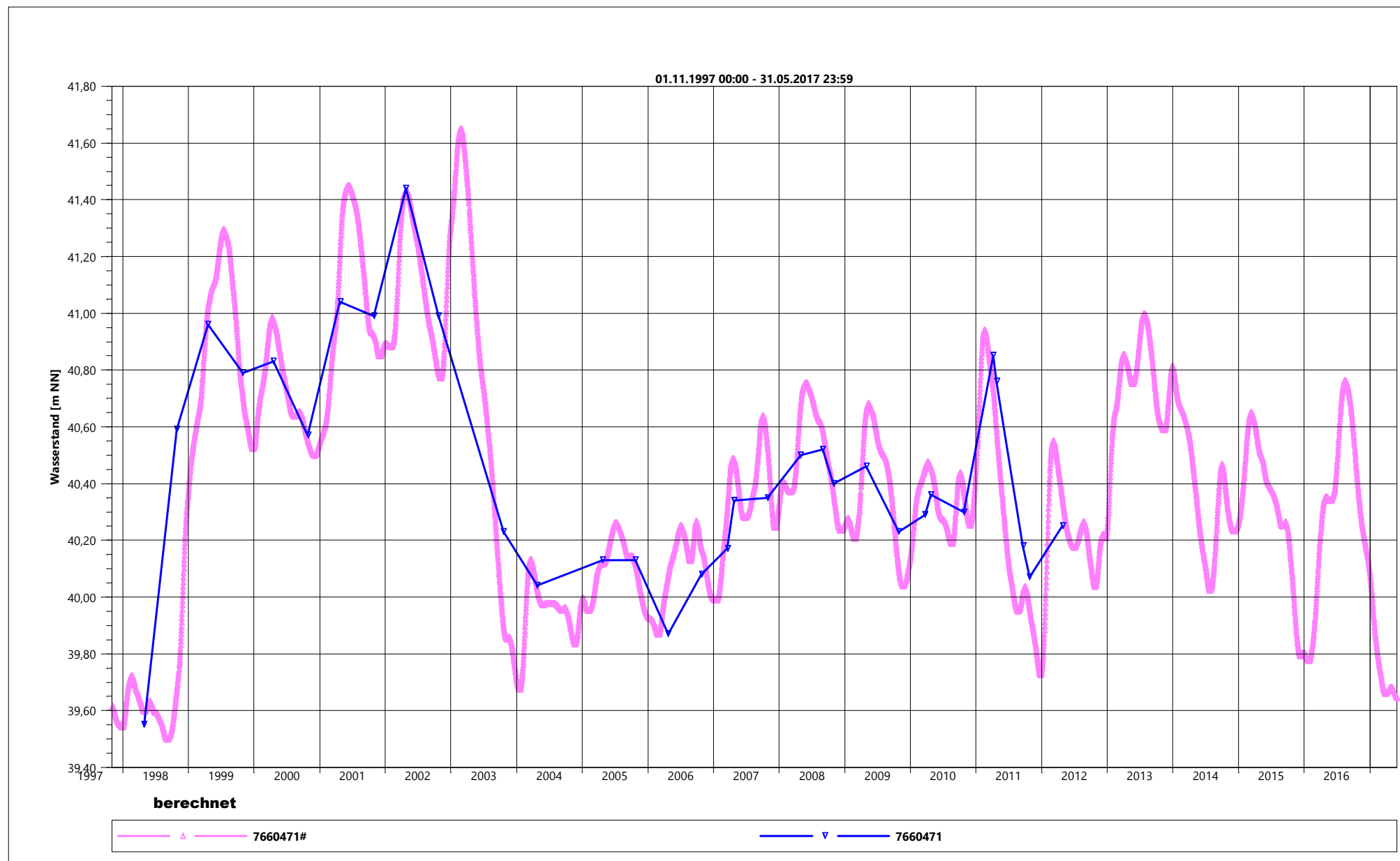
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



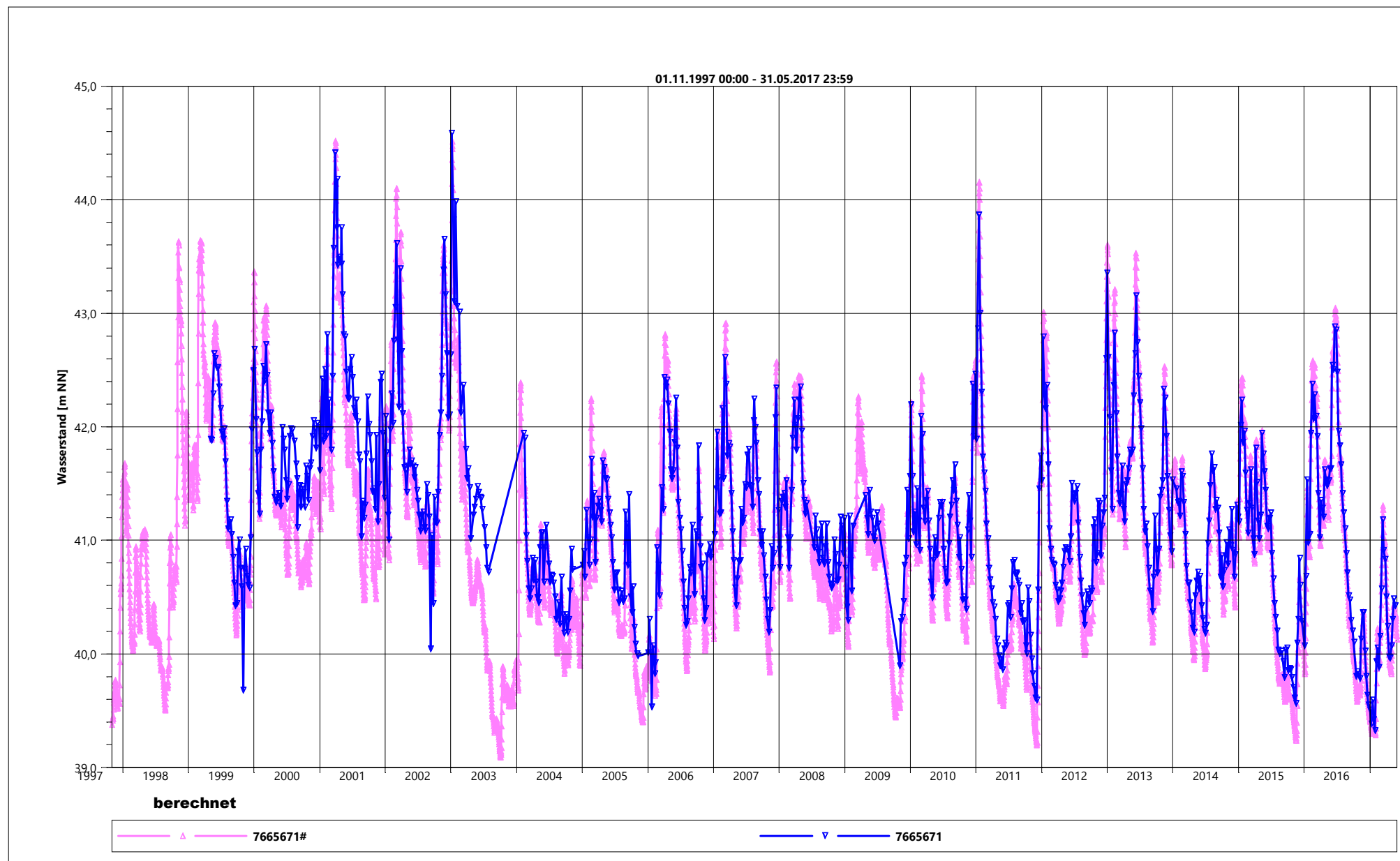
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



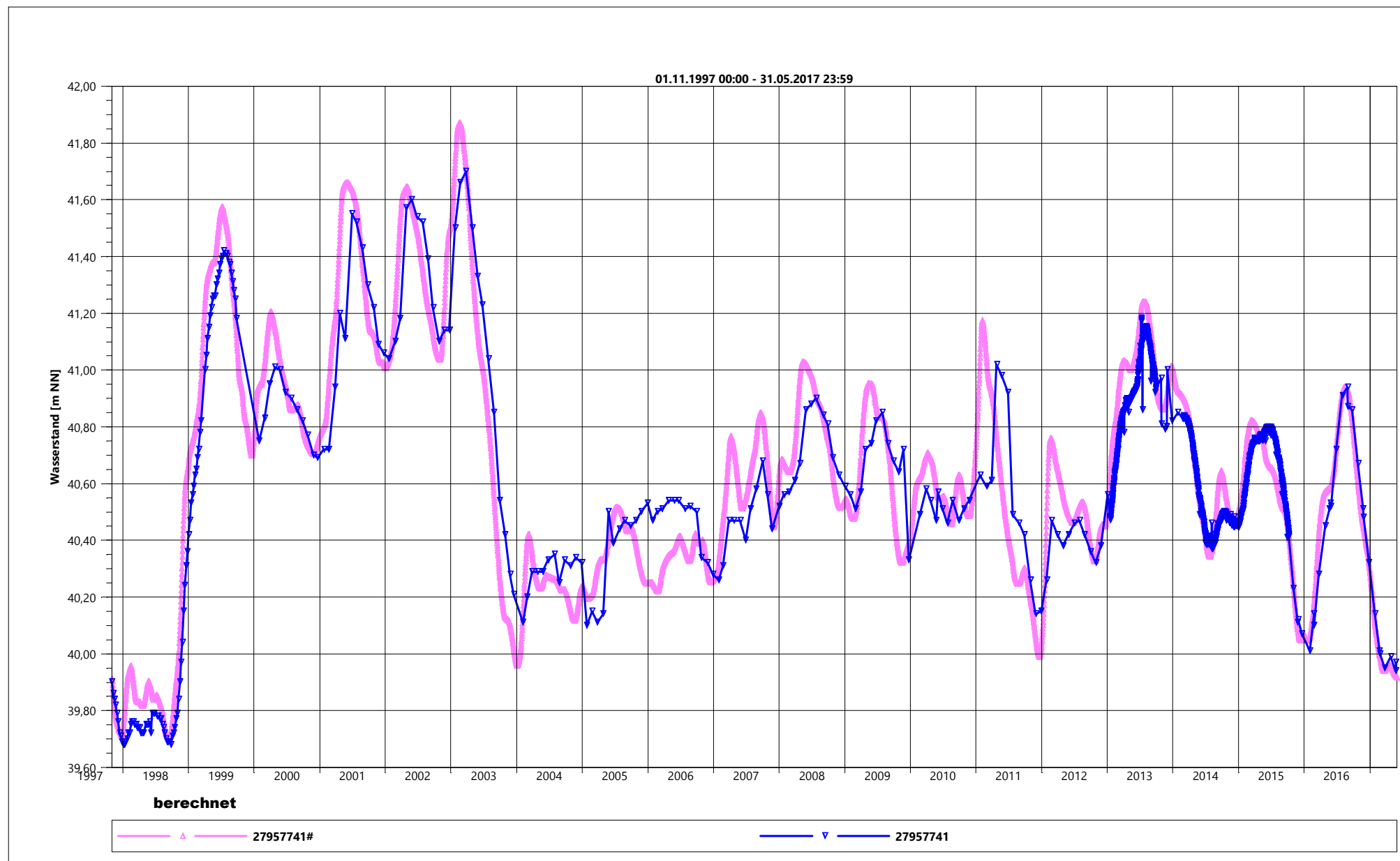
 Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Vergleich berechneter und gemessener	
	Grundwassermodell	Grundwasserstand
	SWG, 13.09.2017	Anlage 9



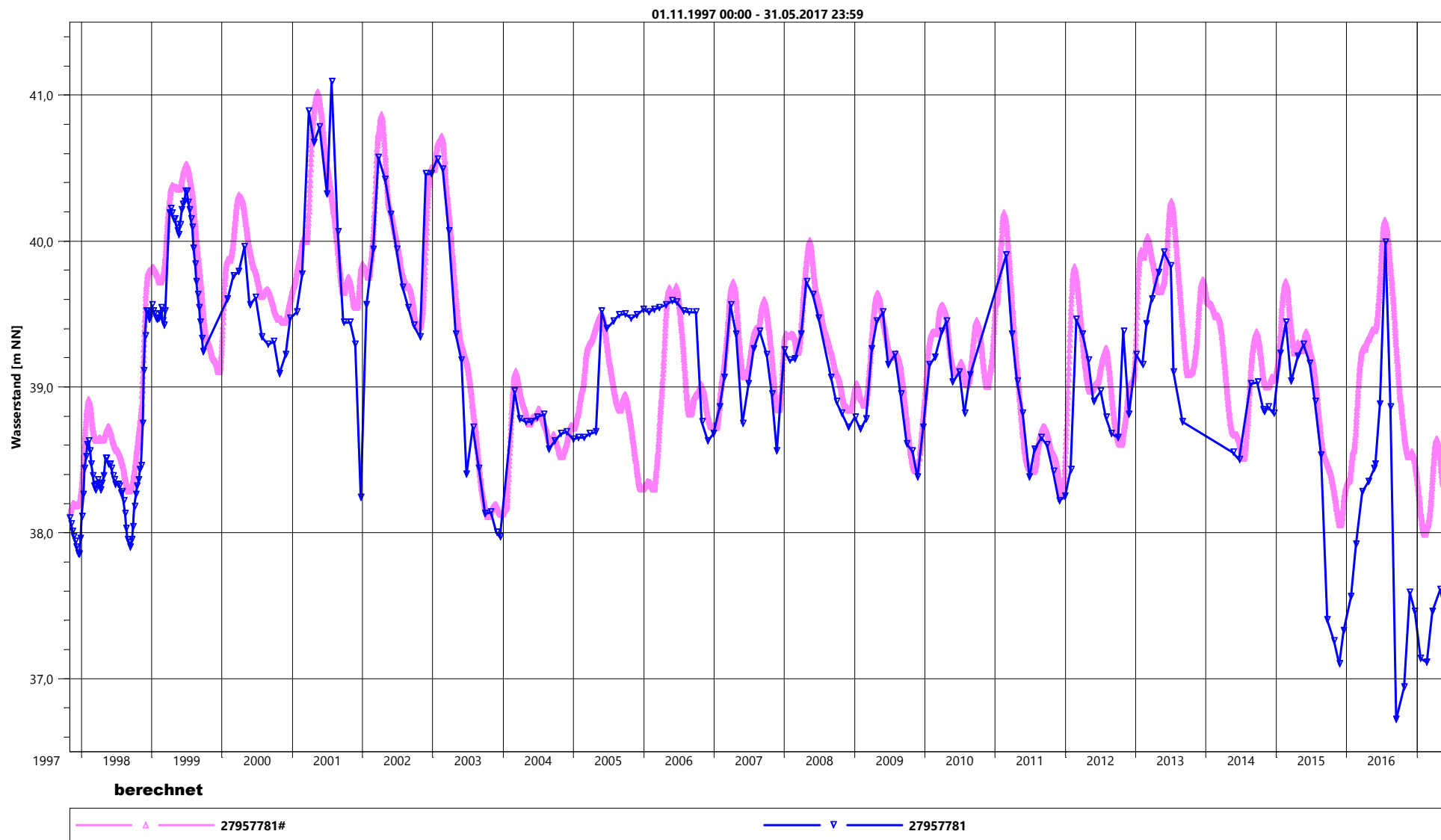
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener
		SWG, 13.09.2017	Grundwasserstand
			Anlage 9



	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



Tauw GmbH
Münsters Gäßchen 14
51375 Leverkusen
www.tauw.de

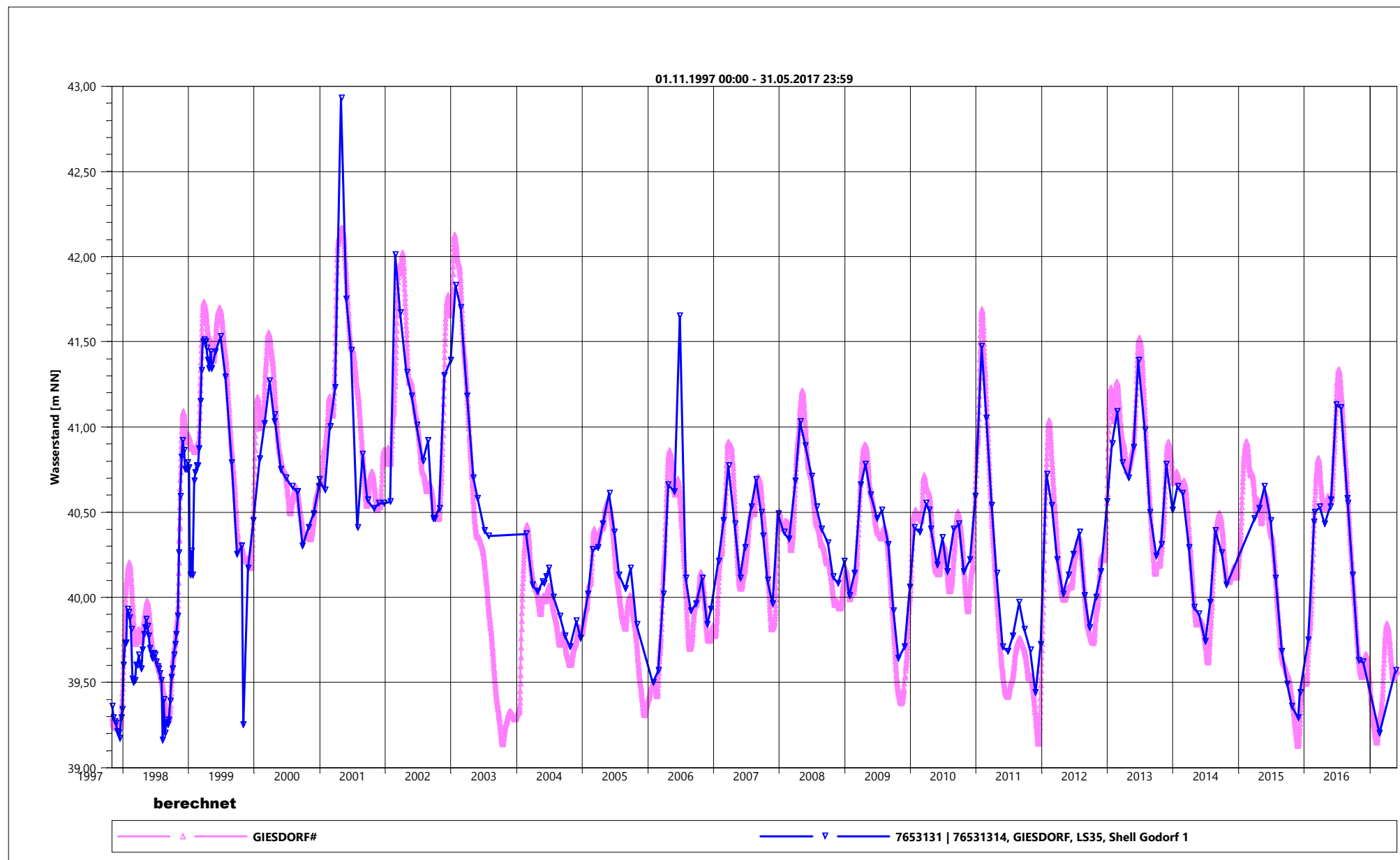
Grundwassermodell

SWG, 13.09.2017

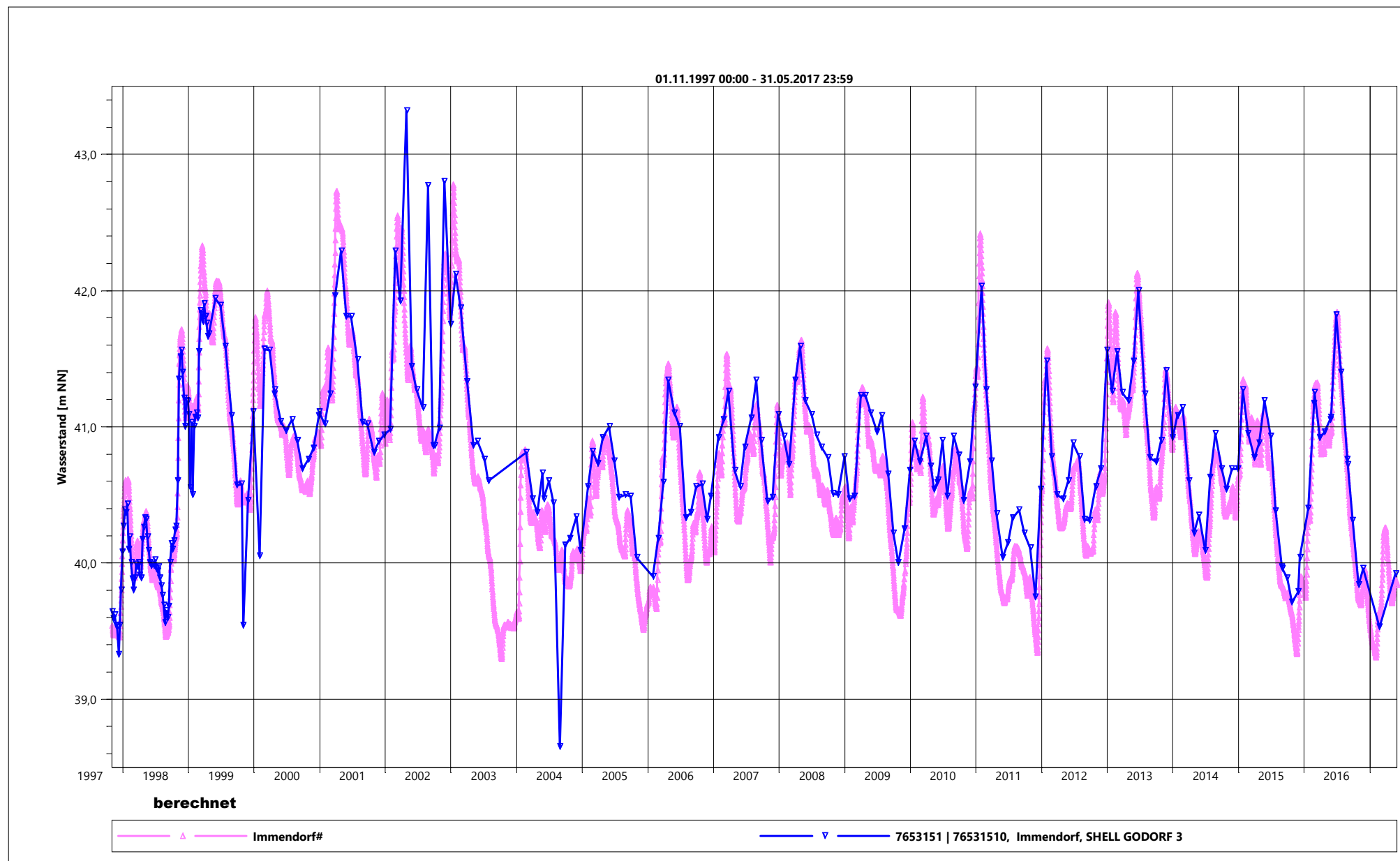
Vergleich berechneter und gemessener

Grundwasserstand

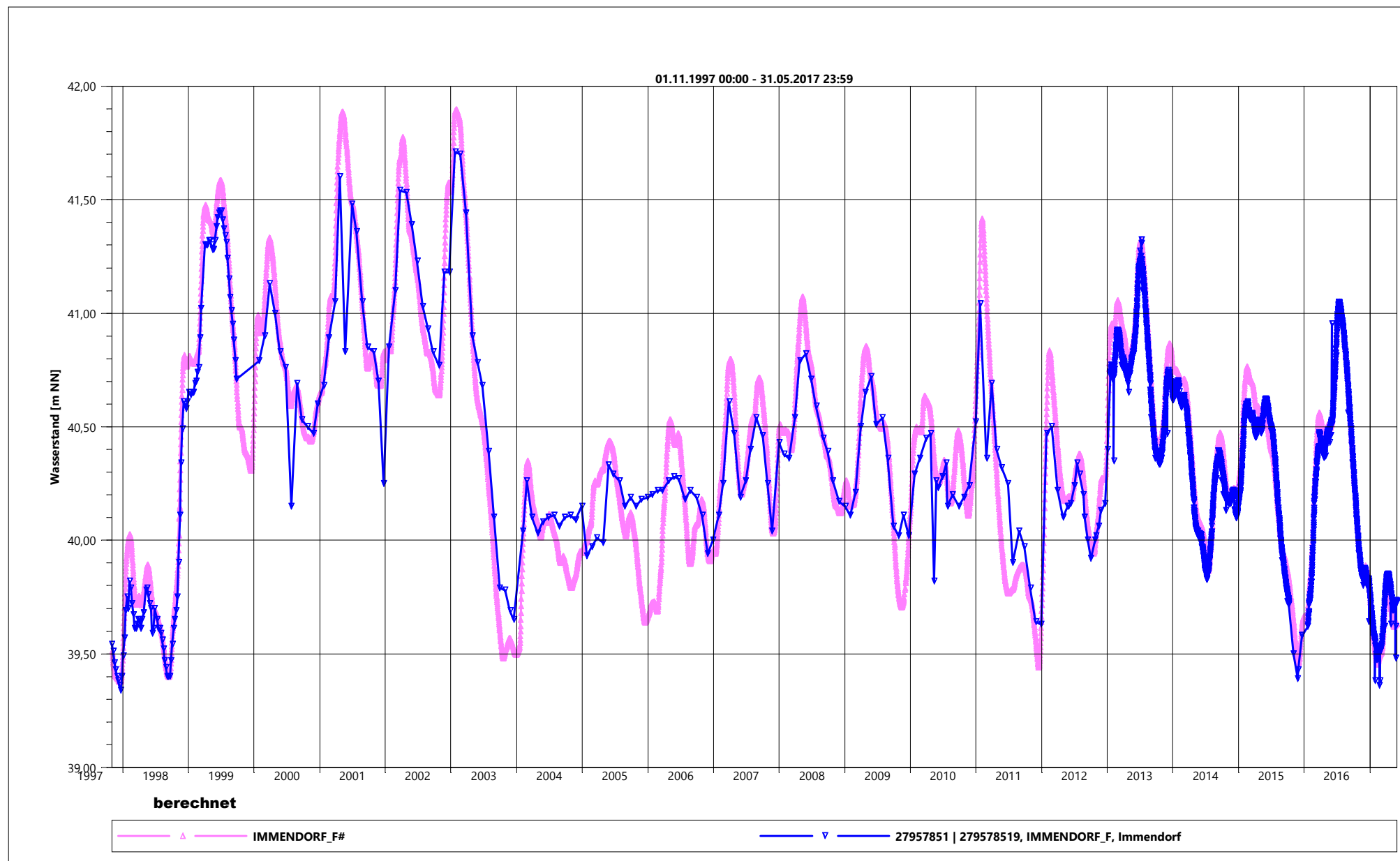
Anlage 9



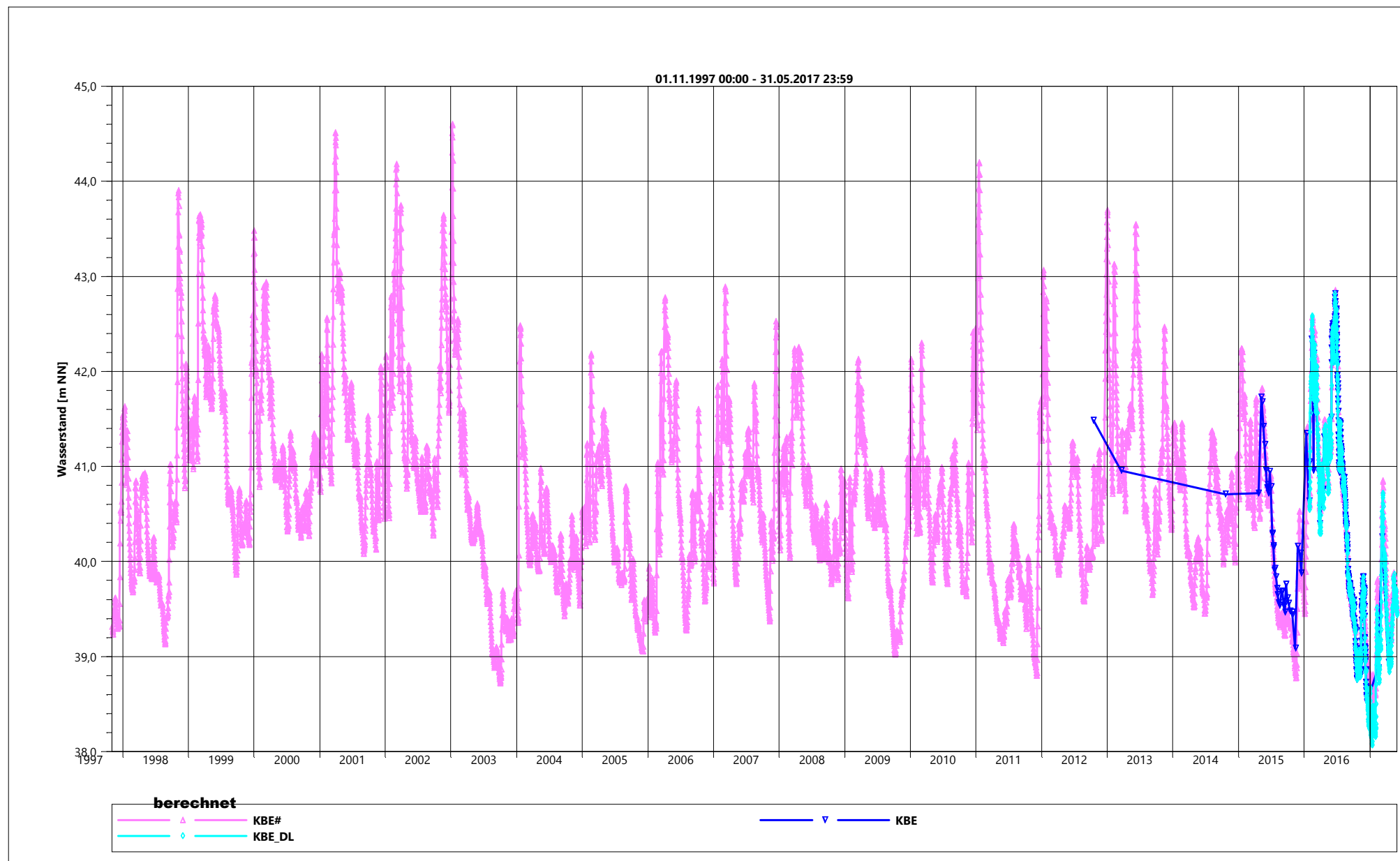
 Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Vergleich berechneter und gemessener	
	Grundwassermodell SWG, 13.09.2017	Grundwasserstand Anlage 9



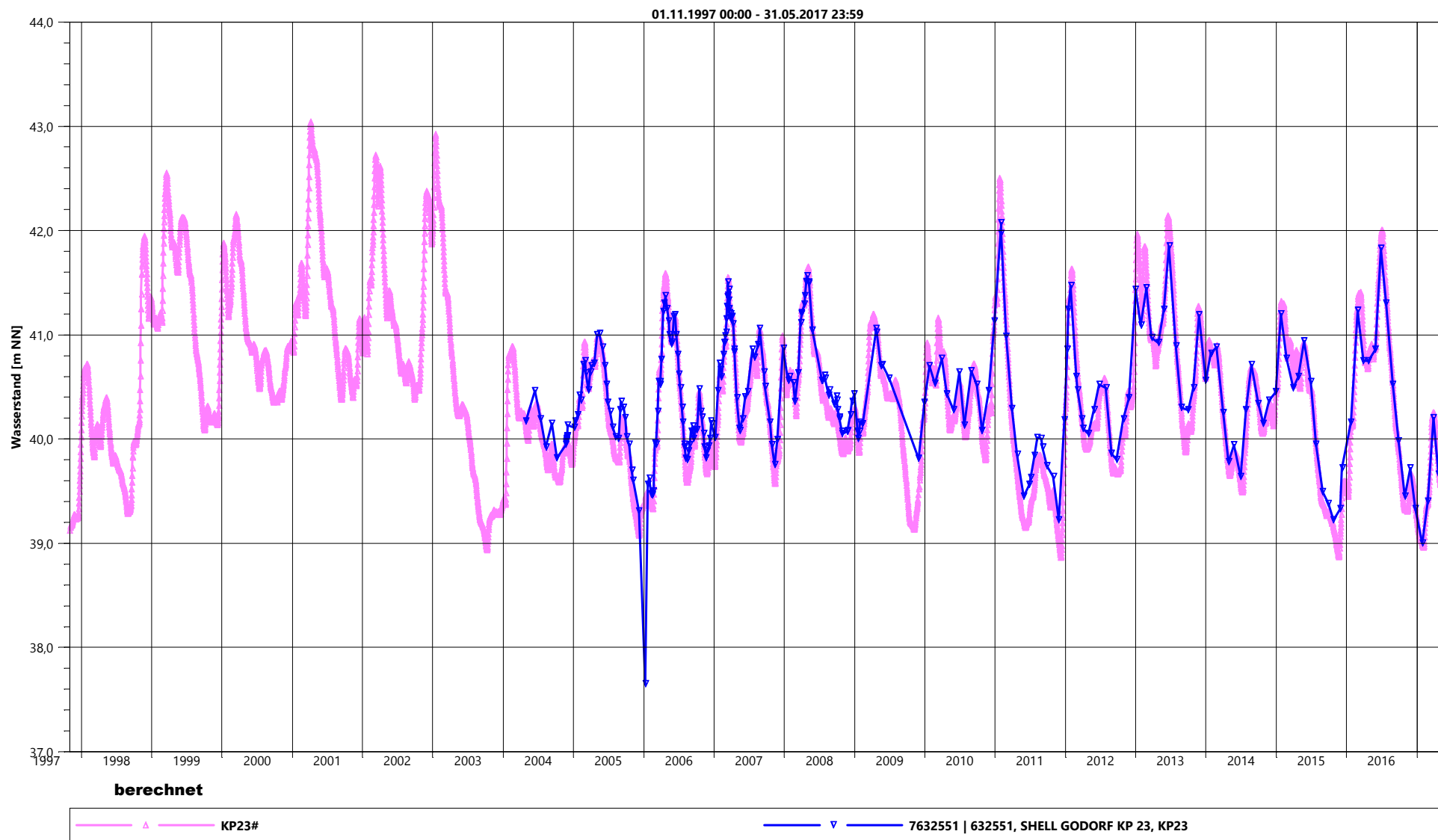
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener
		SWG, 13.09.2017	Grundwasserstand
			Anlage 9



 Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell		Vergleich berechneter und gemessener
	SWG, 13.09.2017		Grundwasserstand
			Anlage 9



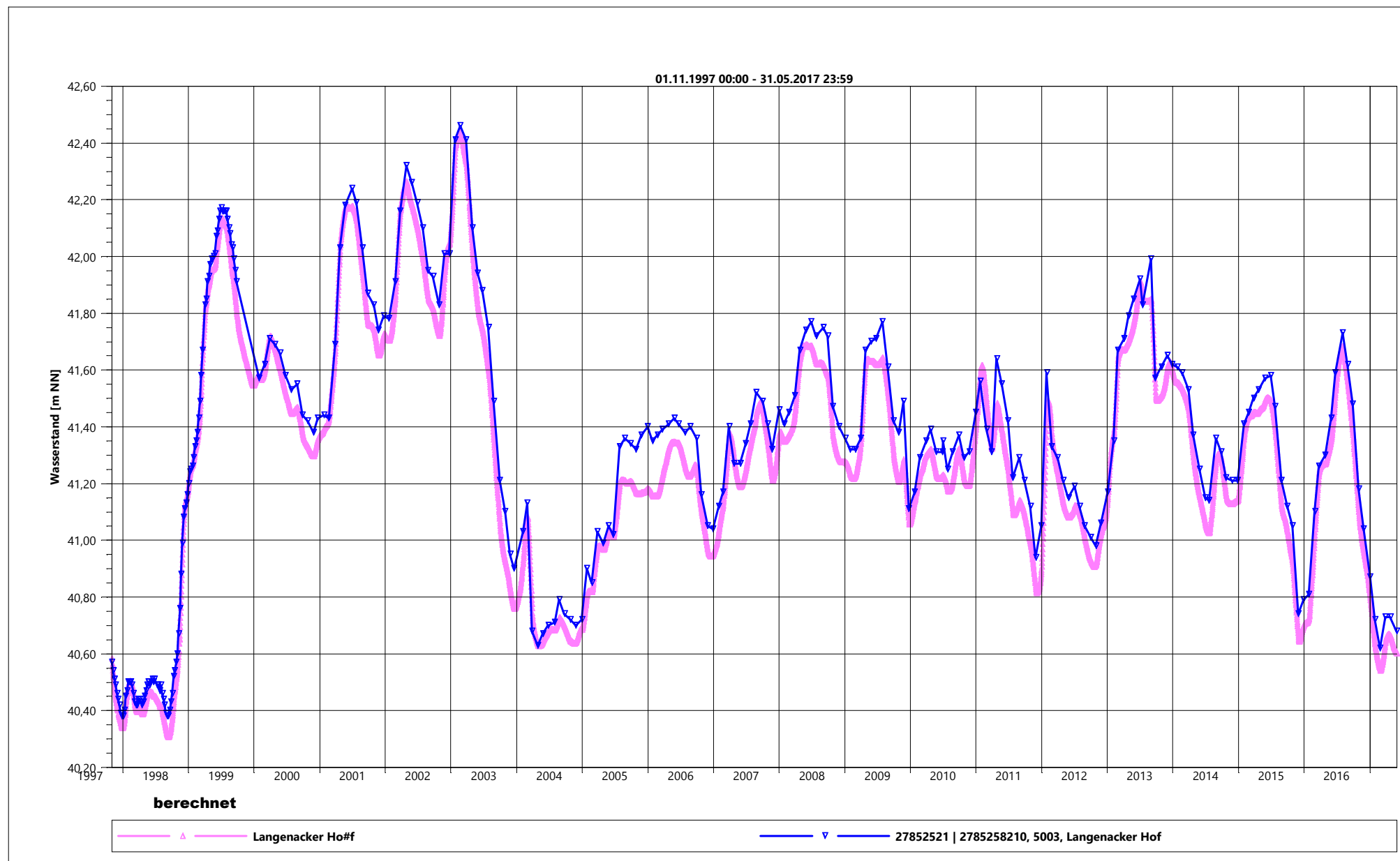
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



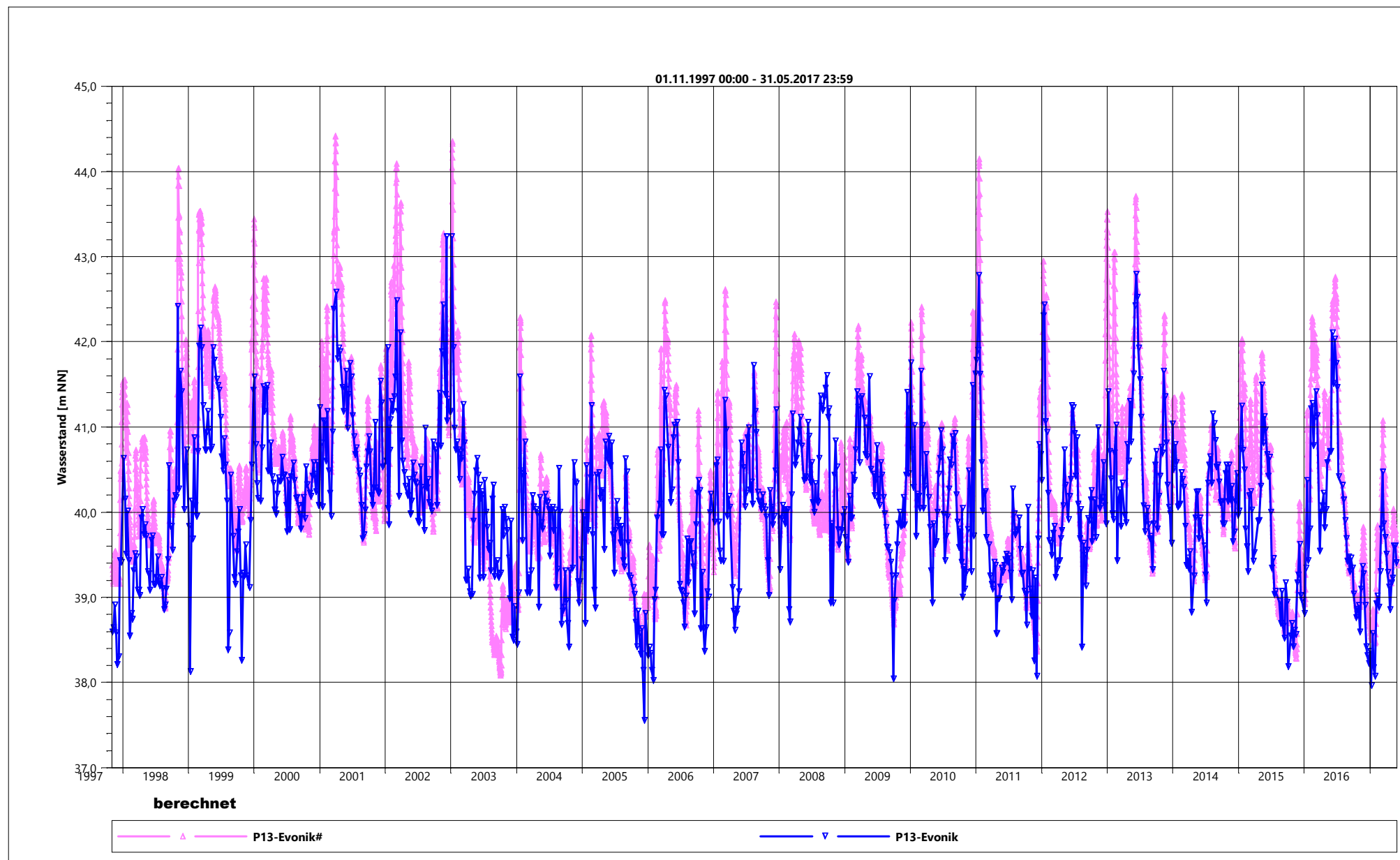
Tauw GmbH
Münsters Gäßchen 14
51375 Leverkusen
www.tauw.de

Grundwassermodell
SWG, 13.09.2017

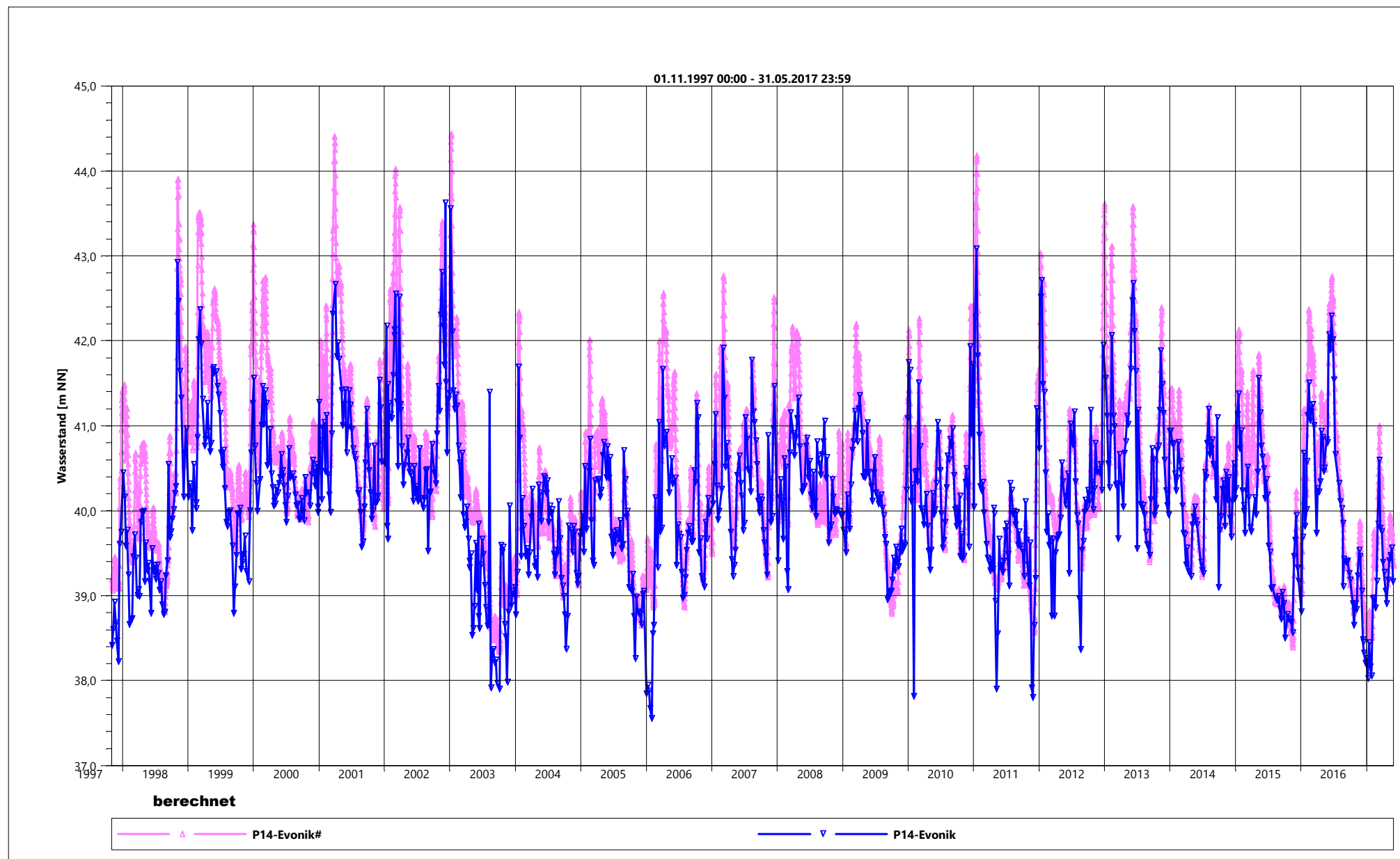
Vergleich berechneter und gemessener
Grundwasserstand
Anlage 9



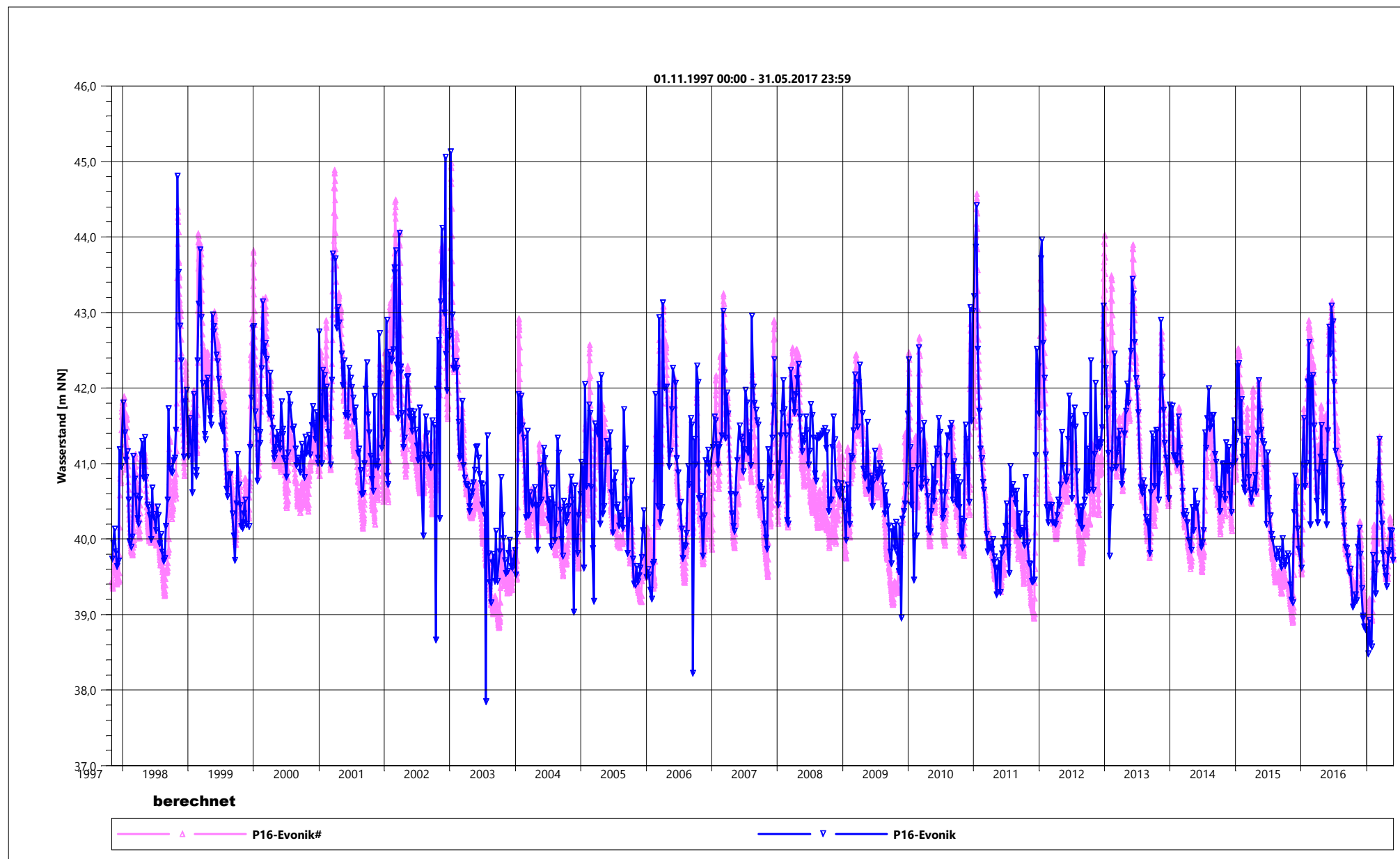
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



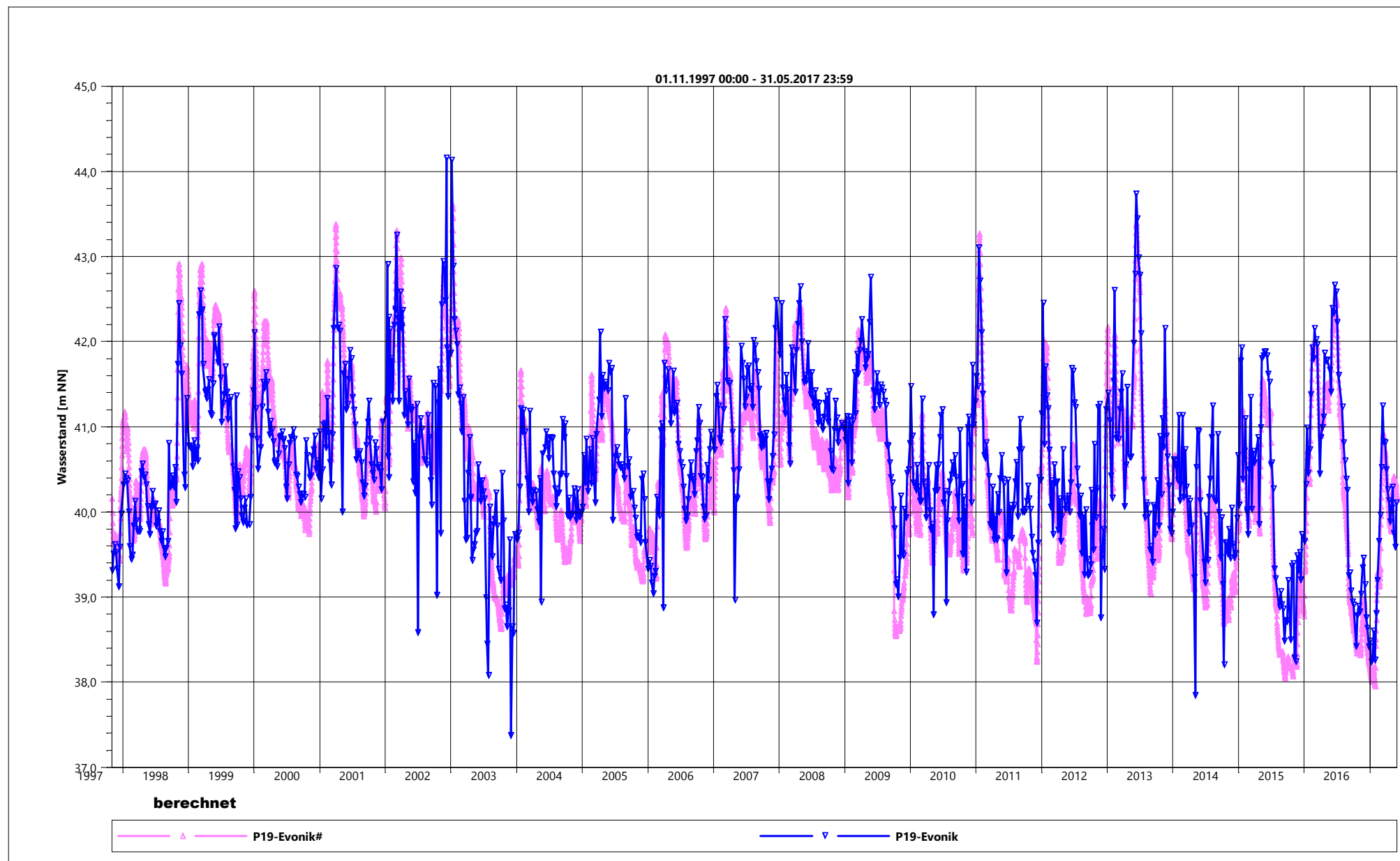
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



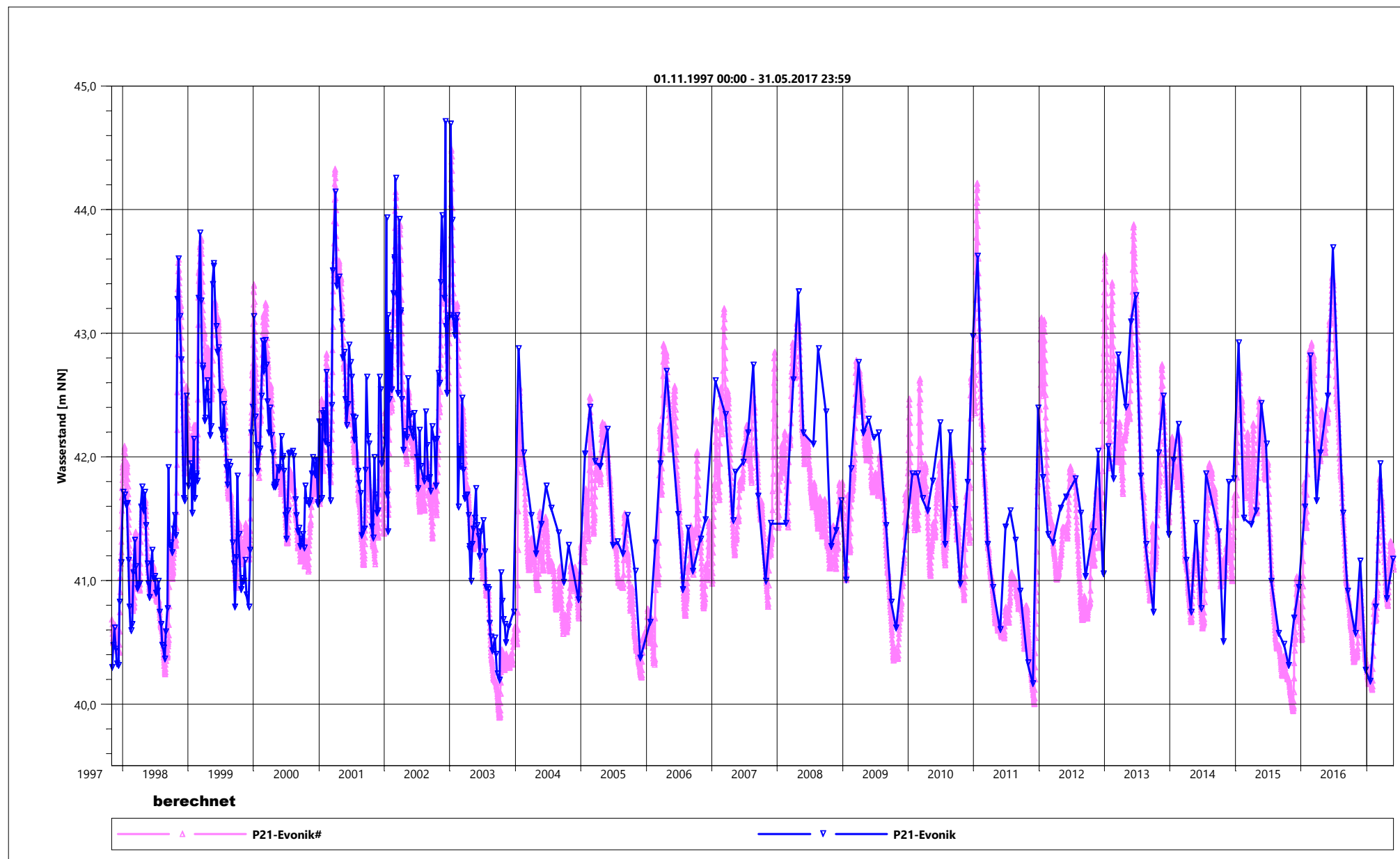
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



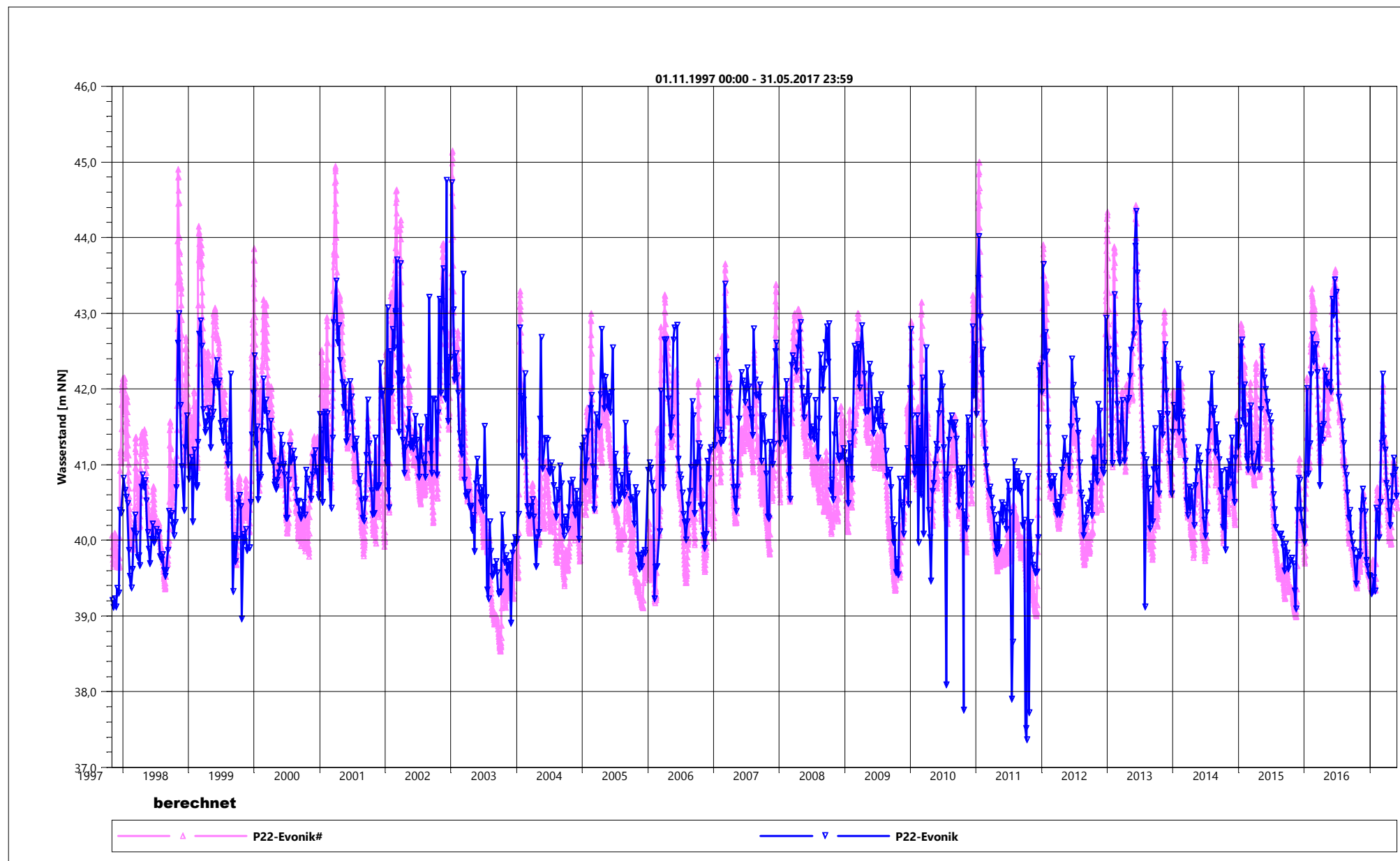
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



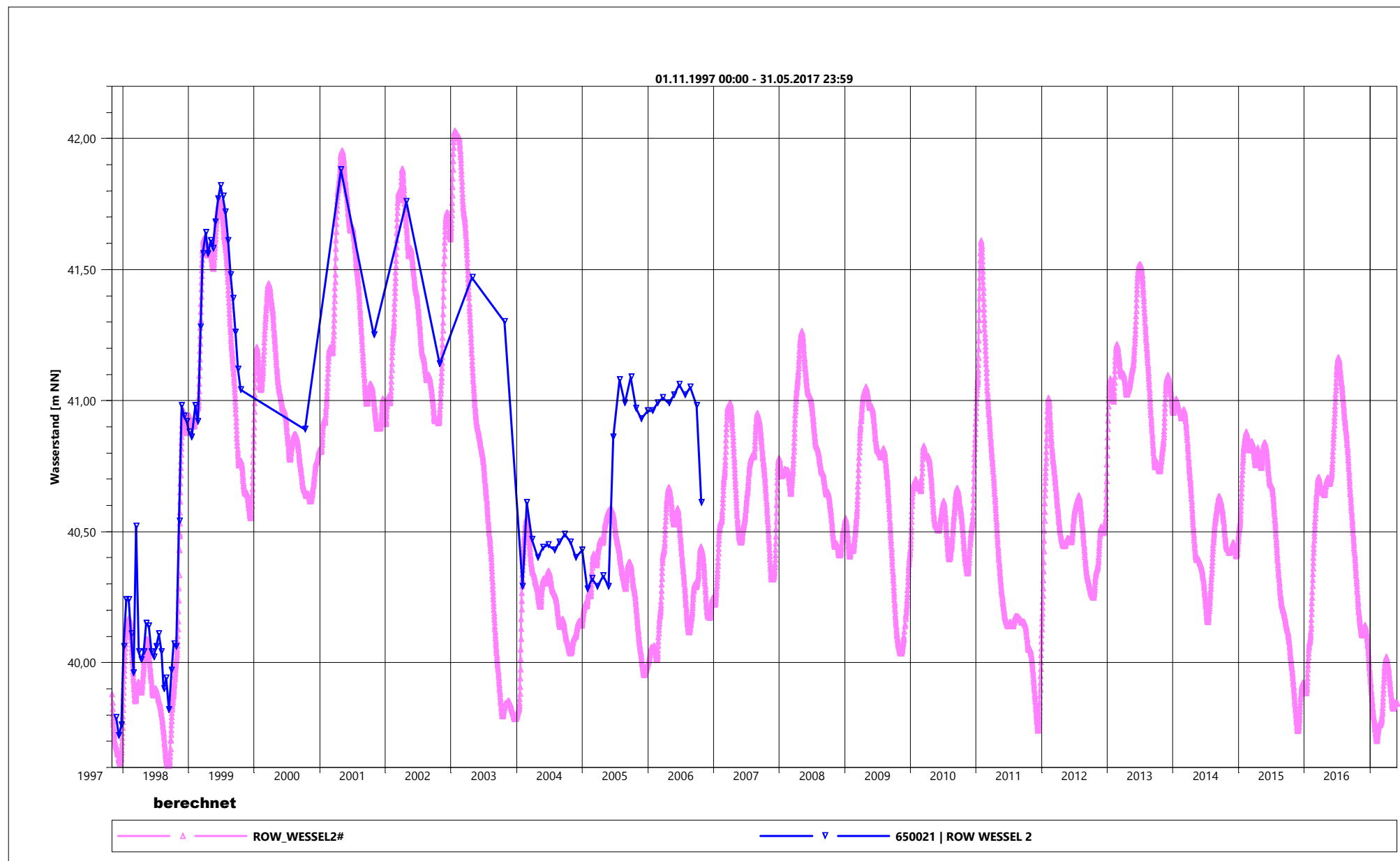
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



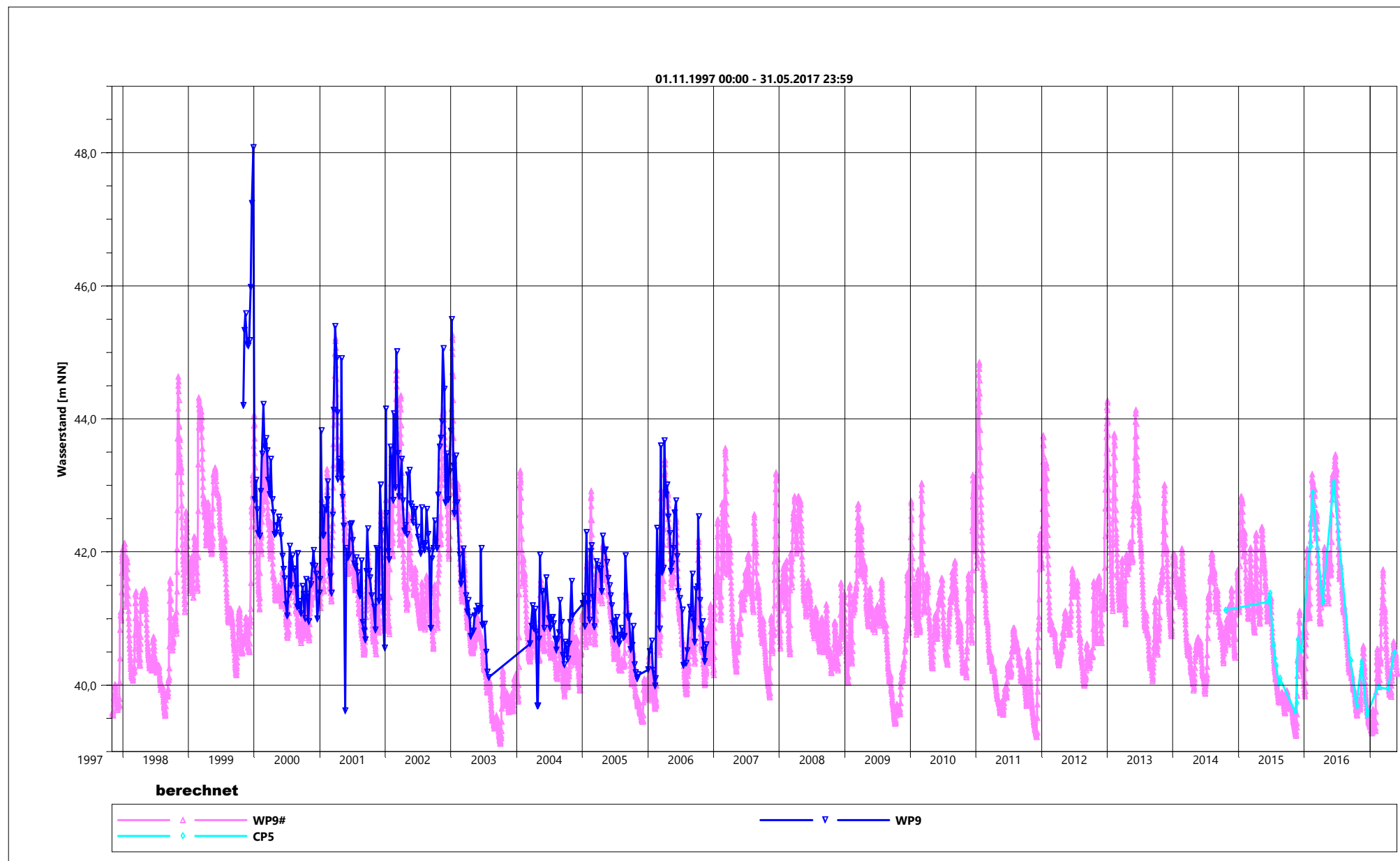
	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9



	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener
		SWG, 13.09.2017	Grundwasserstand
			Anlage 9



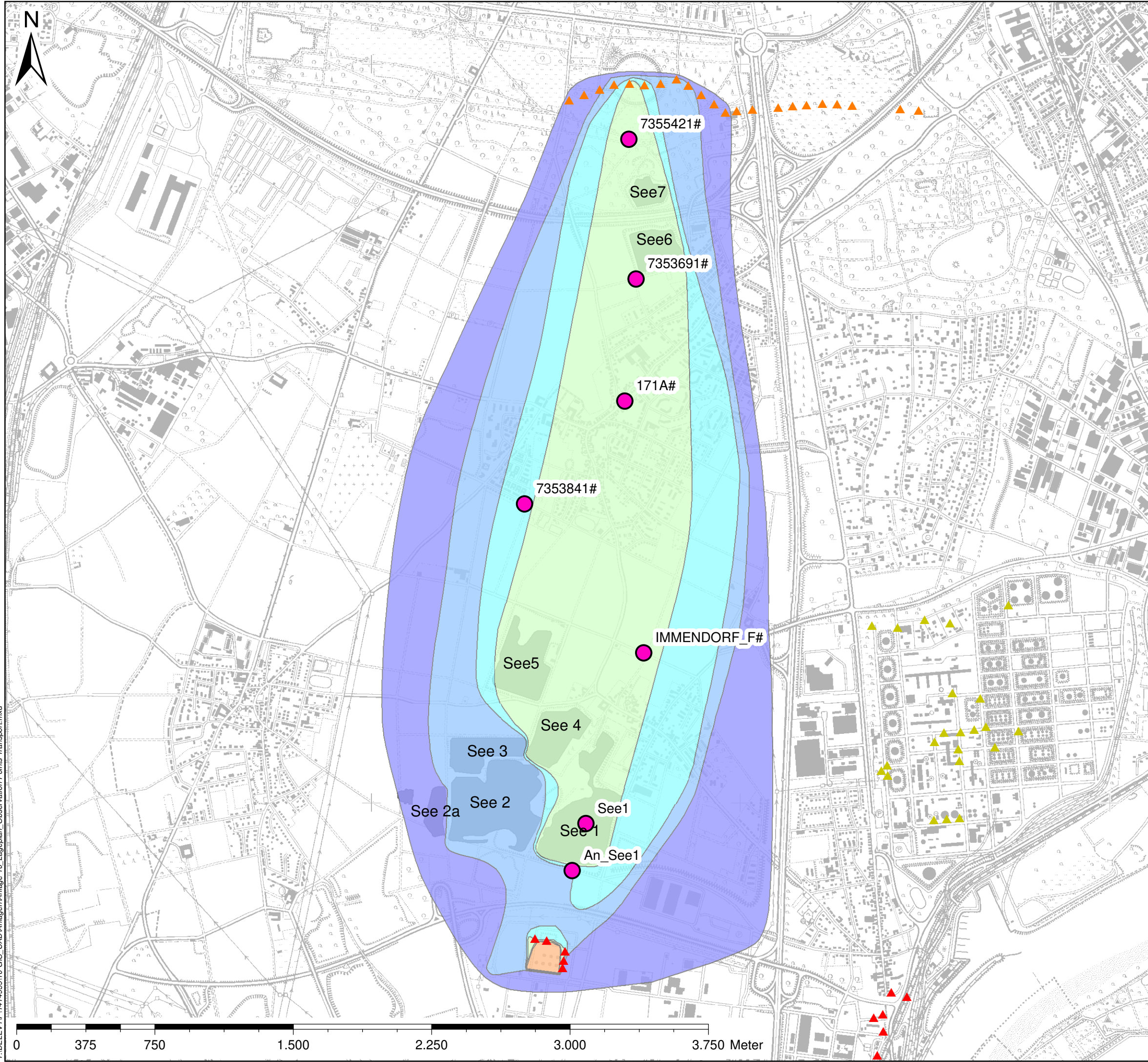
 Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell		Vergleich berechneter und gemessener
	SWG, 13.09.2017		Grundwasserstand
			Anlage 9



	Tauw GmbH Münsters Gäßchen 14 51375 Leverkusen www.tauw.de	Grundwassermodell	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstand
		SWG, 13.09.2017	Anlage 9

Anlage 10

Lageplan Observation Points für Schadstofftransport



Legende

● Observation Points_Transport

Brunnen (generalisiert)

Betreiber

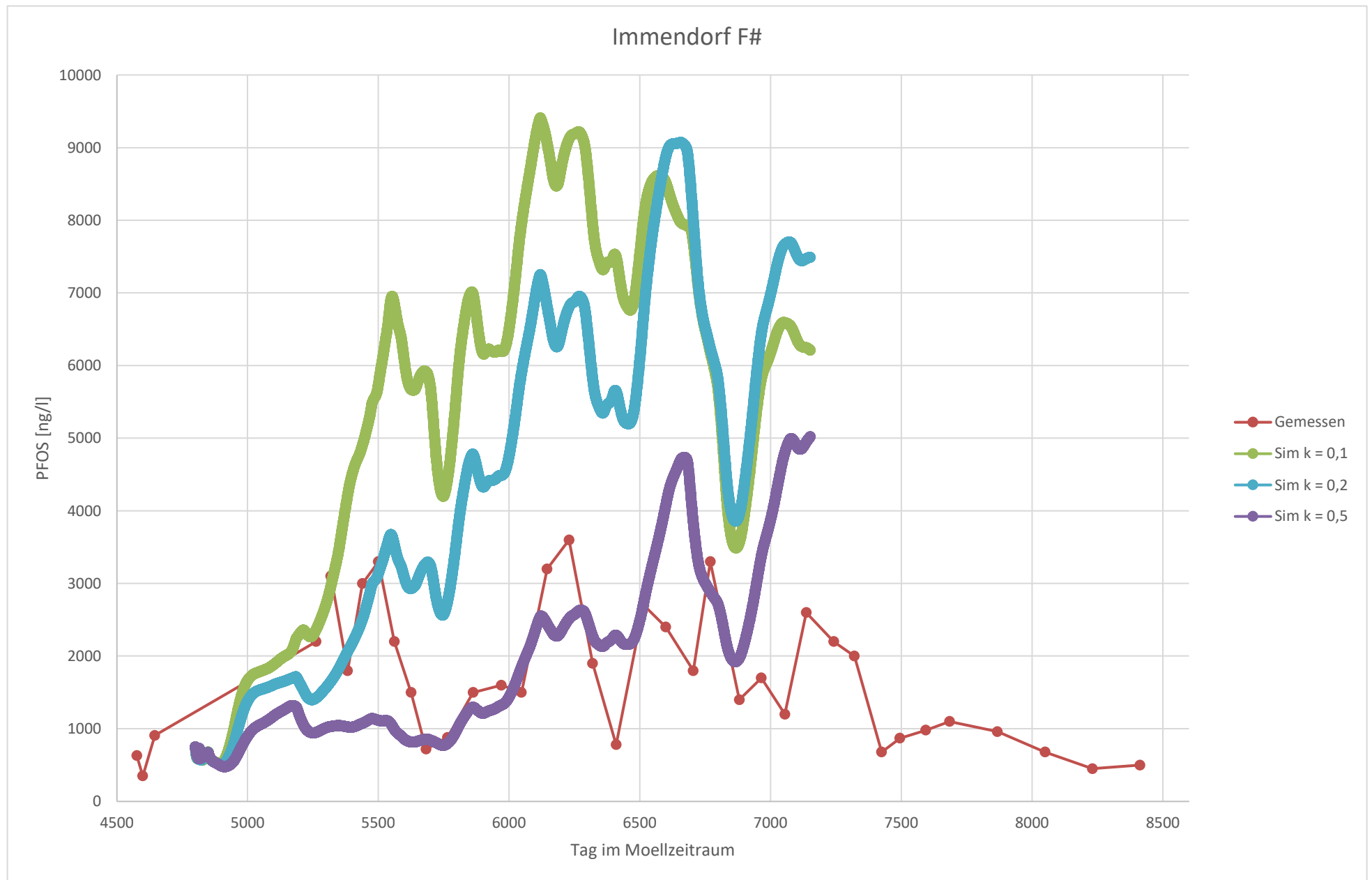
- ▲ Basell, Wesseling
- ▲ SDO, RRS
- ▲ Evonik, Wesseling
- ▲ Rheinenergie AG, Koeln
- ▲ SDO, RRN

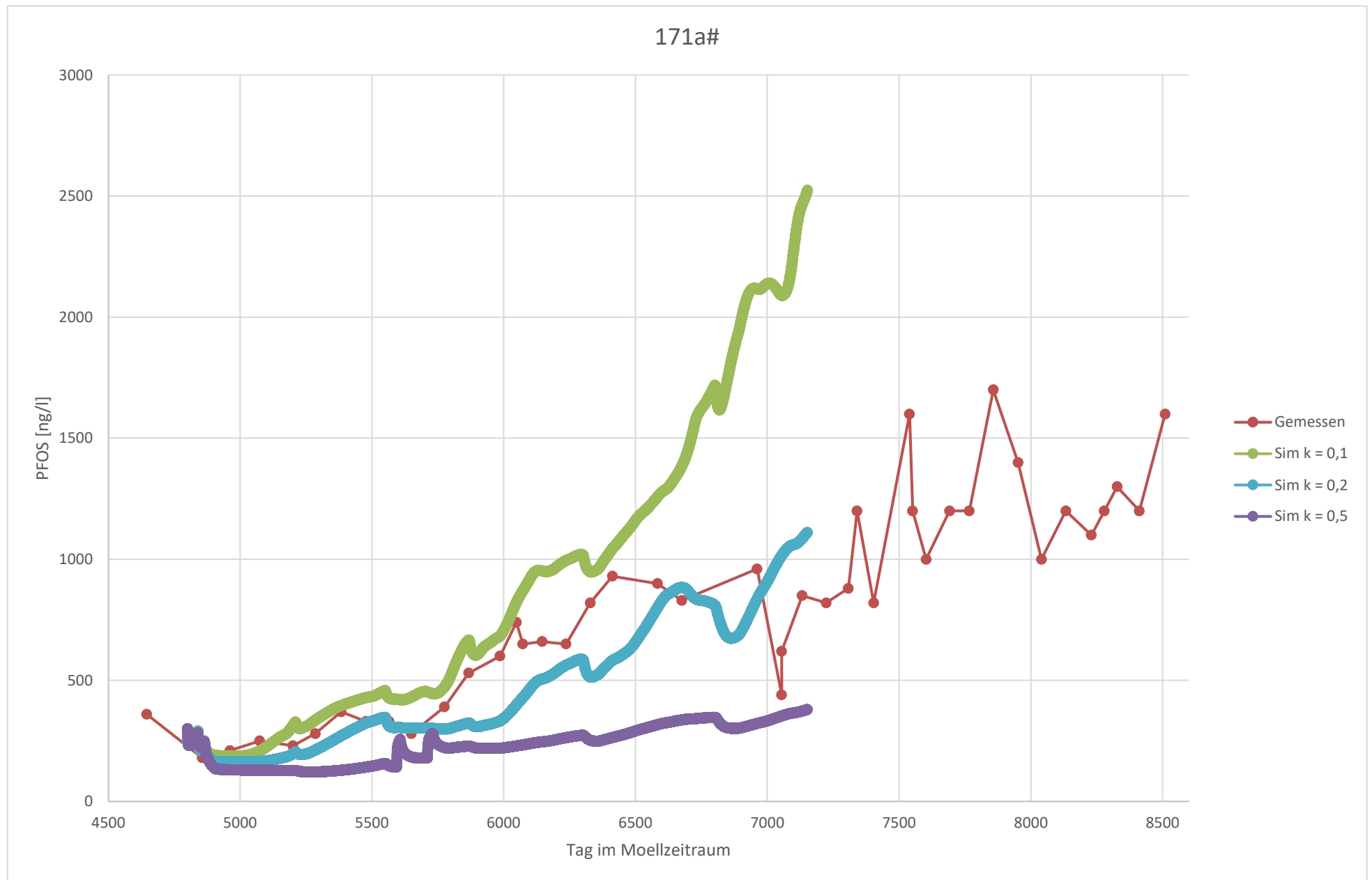
PFT-Konzentration Nov. 2020 [ng/l]

- 0-100
- 101-500
- 501-1000
- 1001-5000
- 5001-10000
- 10001-20000
- > 20000

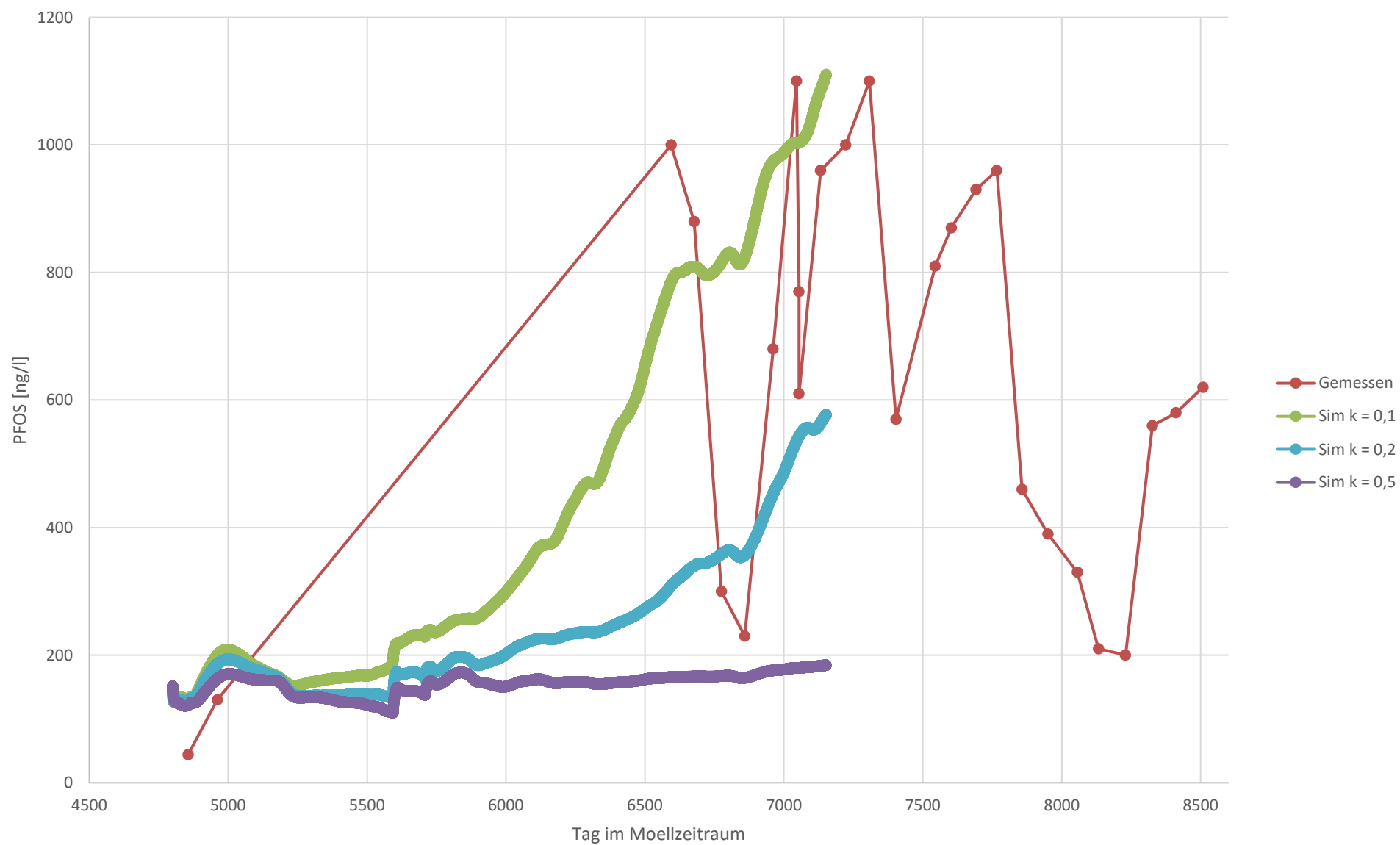
	Datum:	Name:
Bearbeitung:	12.05.2021	SWG
Geprüft:	17.05.2021	DOM
Auftraggeber: Stadt Köln		
 TAUW GmbH www.tauw.de info@tauw.de		
Koordinatensystem:	Gauß Krüger	
Grundlage:	TK25, Vermessungsamt NRW	
Maßstab:	1:20.000	Blattgröße: 420 x 297 mm (A3)
Projekt:	Kosten-/Nutzenanalyse	
Bericht:	Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden	
Anlagentitel:	Lageplan Observation Points für Schadstofftransport	
Proj.-Nr.: 1414959	Version: 01	Anlage 10

Anlage 11 Bestimmung Henry Konstante

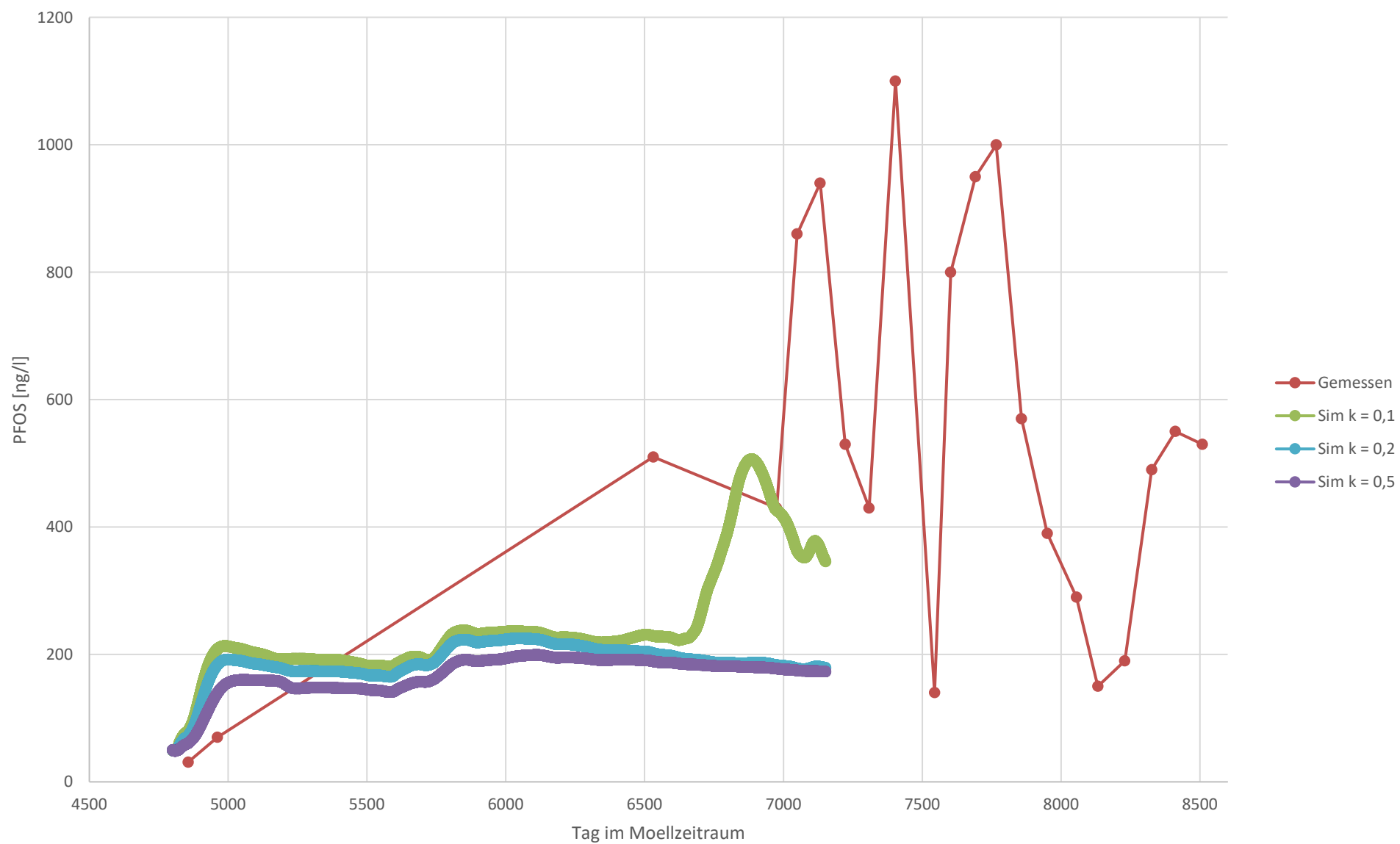




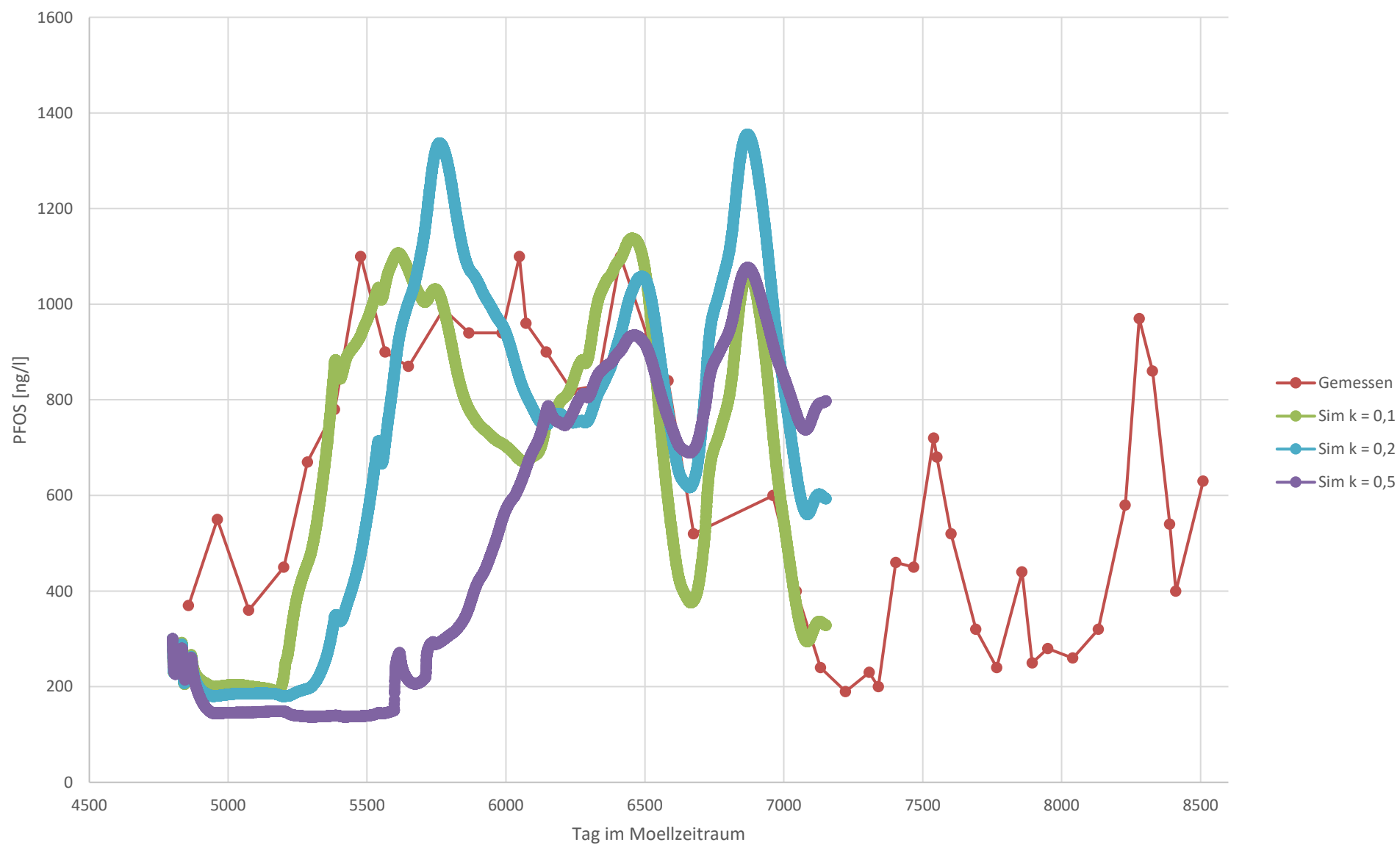
7353691#



7355421#

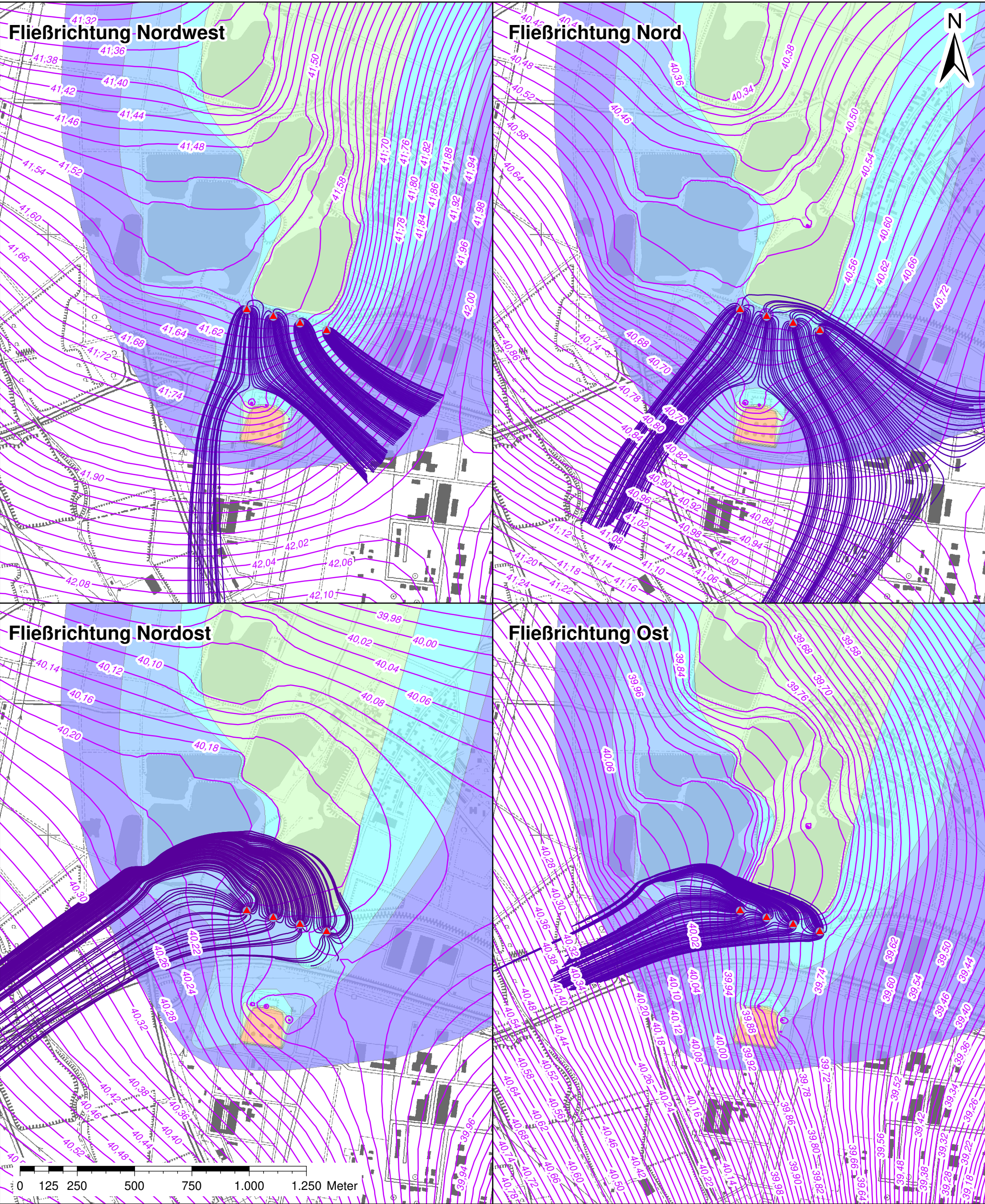


7353841#



Anlage 12 Hydraulische Anstromsicherung Seen

	Datum:	Name:	Maßstab:	1:15.000	Blattgröße: 297 x 420 mm (A3)
Bearbeitung:	14.05.2021	SWG	Projekt: Kosten-/Nutzenanalyse		
Geprüft:	17.05.2021	DOM			
Auftraggeber: Stadt Köln			Bericht: Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden		
 Tauw GmbH www.tauw.de info@tauw.de			Anlagentitel: Hydraulische Anstromsicherung Seen, 3 Brunnen a 20 m³/h		
Koordinatensystem:	Gauß-Krüger				
Grundlage:	TK25, Vermessungsamt NRW		Proj.-Nr.: 1414959	Version: 01	Anlage 12/1



<u>Legende</u>		Datum:	Name:	Maßstab:	1:15.000	Blattgröße:	297 x 420 mm (A3)
PFC-Konzentration		Bearbeitung:	12.05.2021	SWG	Projekt: Kosten-/Nutzenanalyse		
		Geprüft:	17.05.2021	DOM			
		Auftraggeber: Stadt Köln			Bericht: Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden		
		 TAUW GmbH www.tauw.de info@tauw.de			Anlagentitel: Hydraulische Anstromsicherung Seen, 4 Brunnen a 30 m³/h		
		Koordinatensystem:	Gauß-Krüger				
		Grundlage:	TK25, Vermessungsamt NRW		Proj.-Nr.: 1414959	Version: 01	Anlage 12/2

0-100

101-500

501-1000

1001-5000

5001-10000

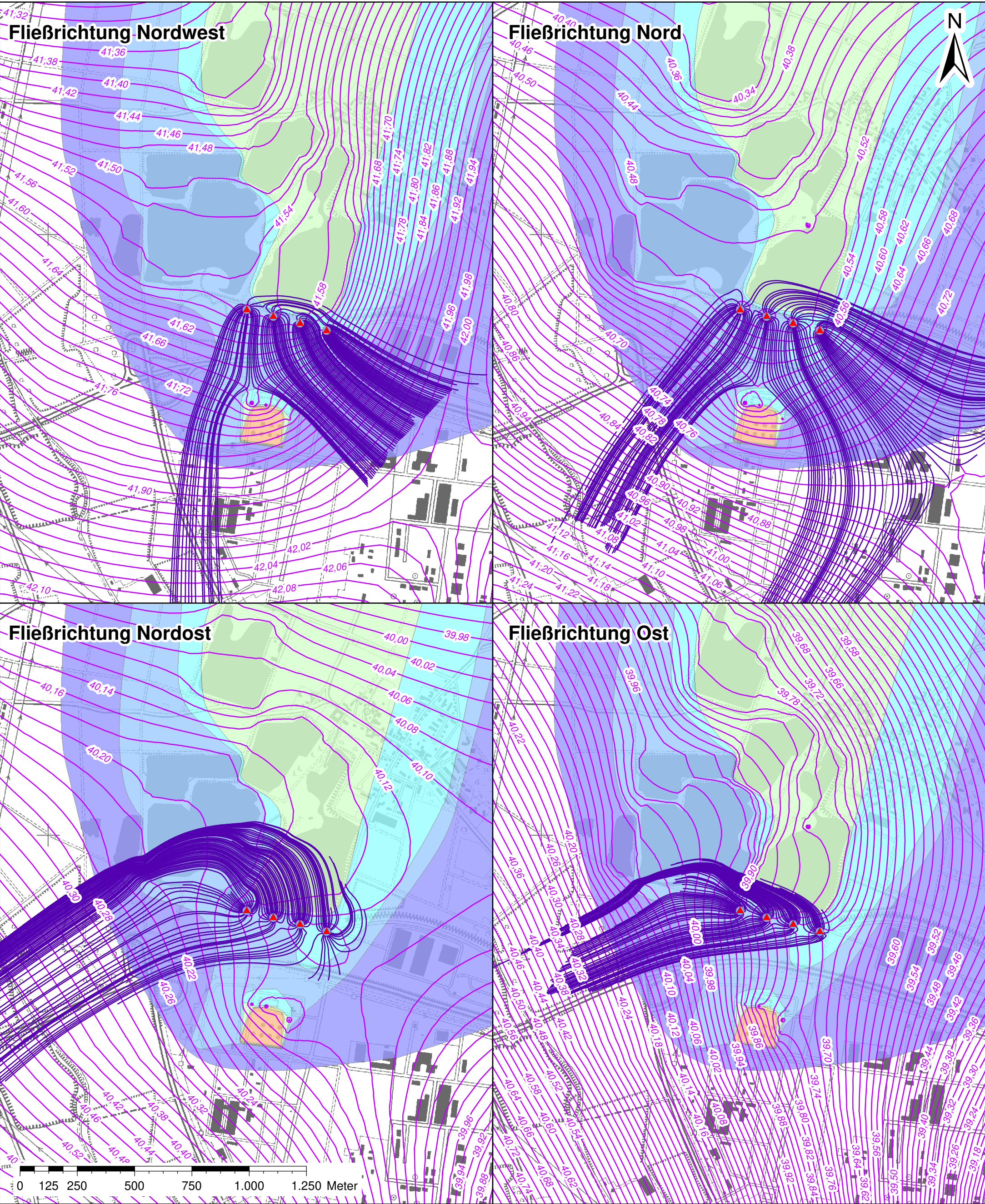
10001-20000

> 20000

potentielle Förderbrunnenbrunnen

Zustromlinien

berechnete Linien gleichen Grundwasserstandes [mNN]



Legende

PFC-Konzentration

- 0-100
- 101-500
- 501-1000
- 1001-5000
- 5001-10000
- 10001-20000
- > 20000

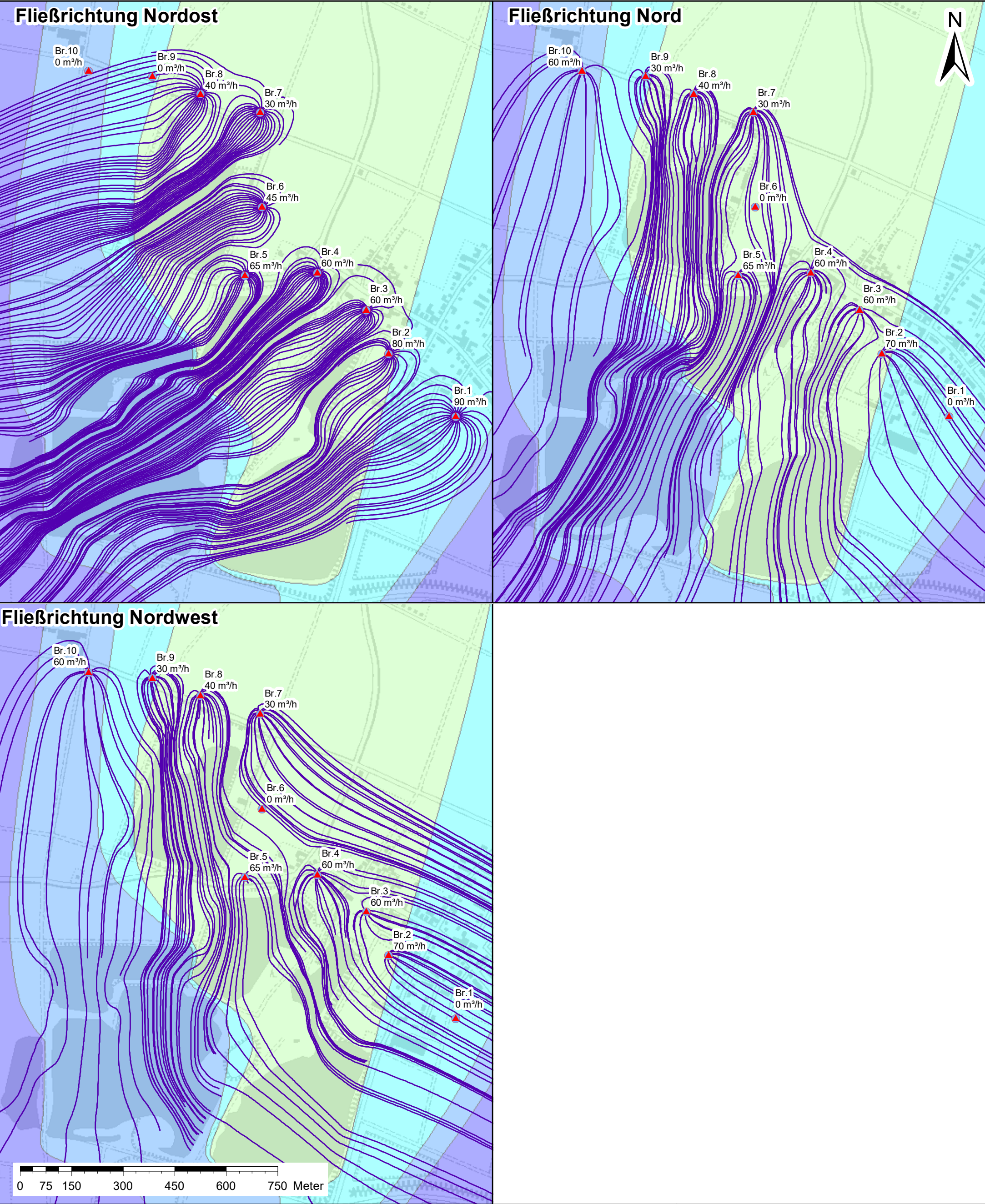
potentielle Förderbrunnen

Zustromlinien

berechnete Linien gleichen Grundwasserstandes [mNN]

Bearbeitung:	Datum:	Name:	Maßstab:	Blattgröße:
Geprüft:	12.05.2021	SWG	1:15.000	297 x 420 mm (A3)
Auftraggeber:	17.05.2021	DOM	Projekt:	Kosten-/Nutzenanalyse
Stadt Köln			Bericht:	Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden
			Anlagentitel:	Hydraulische Anstromsicherung Seen, 4 Brunnen a 40 m³/h
Koordinatensystem:	Gauß-Krüger		Proj.-Nr.:	1414959
Grundlage:	TK25, Vermessungsamt NRW		Version:	01
				Anlage 12/3

Anlage 13 Hydraulische Abstromsicherung Seen



<u>Legende</u>		Datum:		Name:		Maßstab: 1:10.000		Blattgröße: 297 x 420 mm (A3)	
PFC-Konzentration		1001-5000		08.07.2021		SWG		Projekt: Kosten-/Nutzenanalyse	
0-100		5001-10000		28.07.2021		DOM			
101-500		10001-20000		Auftraggeber: Stadt Köln					
501-1000		> 20000							
 potentielle Förderbrunnenbrunnen		 Taw GmbH www.tauw.de info@tauw.de		Bericht: Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden					
 Zustromlinien									
		Koordinatensystem:		Gauß-Krüger		Anlagentitel: Hydraulische Abstomsicherung Seen			
		Grundlage:		TK25, Vermessungsamt NRW				Proj.-Nr.: 1414959	
								Anlage 13	

Anlage 14 PFOS Ausgangskonzentration



Legende

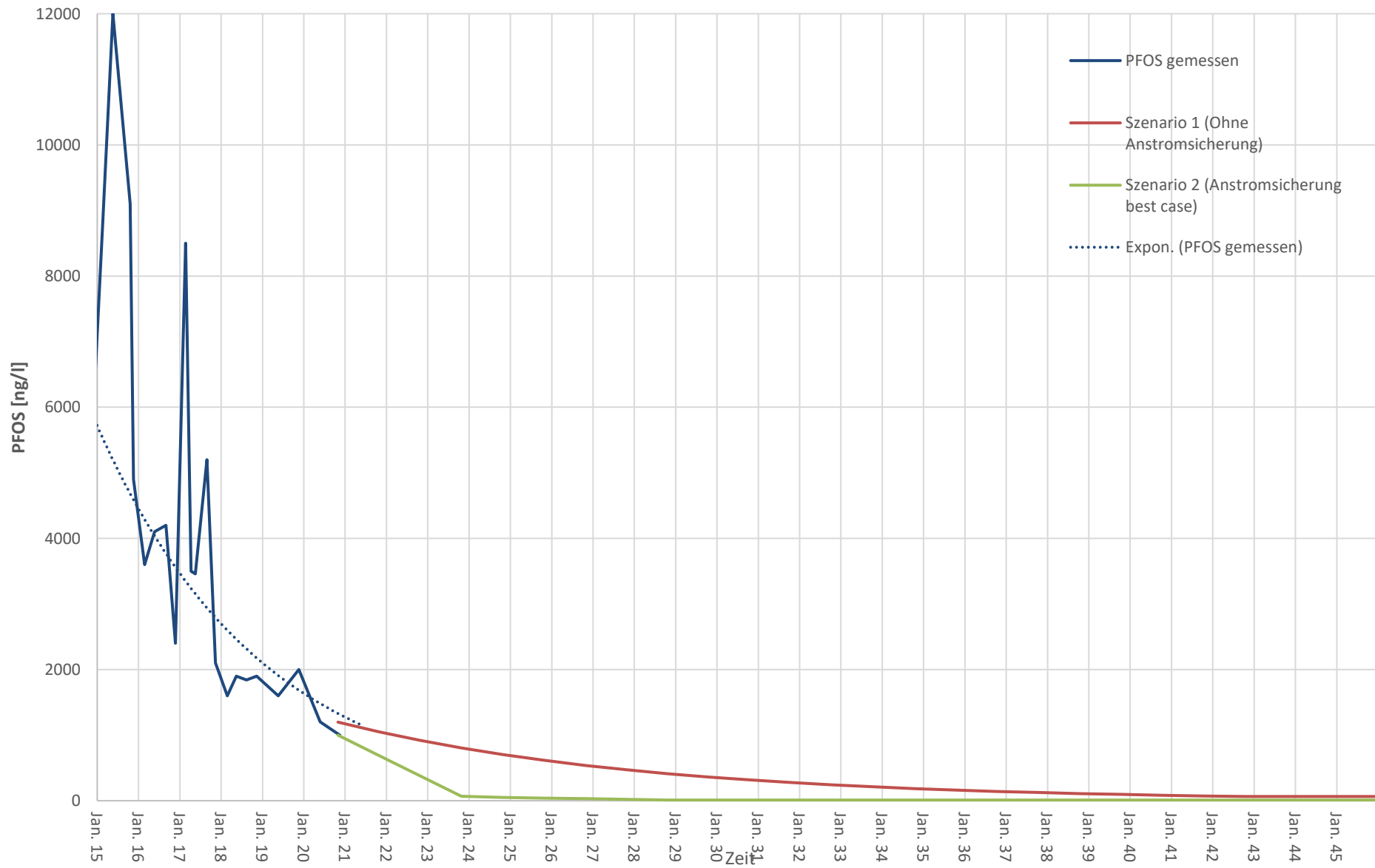
- Observation
● Points_Transport
- PFOS-Konzentration [ng/l]**
- 50
 - 300
 - 750
 - 1200
 - 3.000
 - 7500

	Datum:	Name:	Maßstab:	1:15.000	Blattgröße: 297 x 420 mm (A3)	
Bearbeitung:	14.05.2021	SWG	Projekt:	Kosten-/Nutzenanalyse		
Geprüft:	17.05.2021	DOM				
Auftraggeber: Stadt Köln			Bericht:	Kosten-/Nutzenanalyse für ergänzende hydraulische Maßnahmen PFC-Schaden		
 TAUW GmbH www.tauw.de info@tauw.de			Anlagentitel:	PFOS Ausgangskonzentration (Stichtag November 2020)		
Koordinatensystem:	Gauß-Krüger					
Grundlage:	Luftbild, Google Earth		Proj.-Nr.: 1414959	Version: 01	Anlage 14	

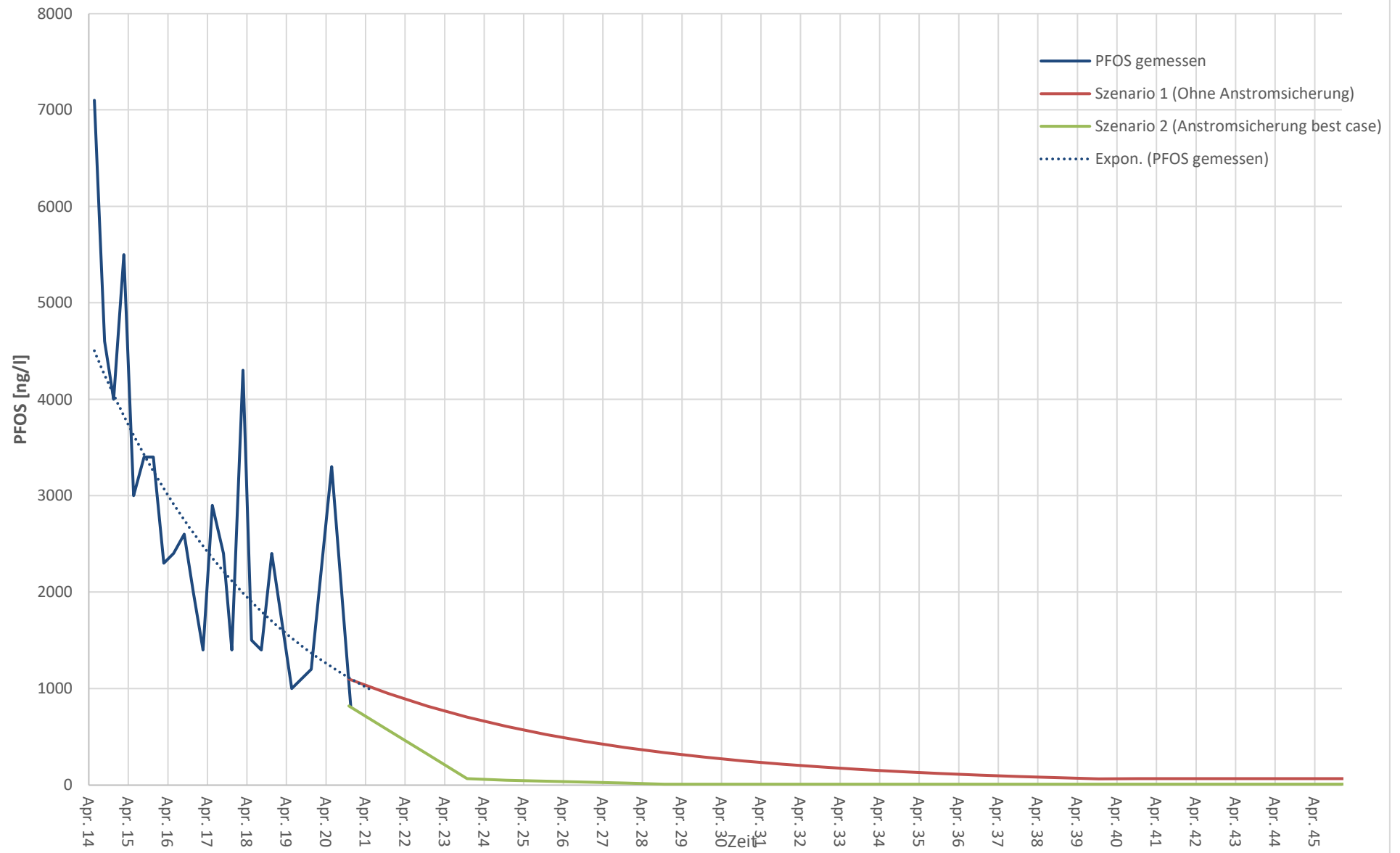
Anlage 15

Annahmen zur PFOS-Entwicklung in den Seen

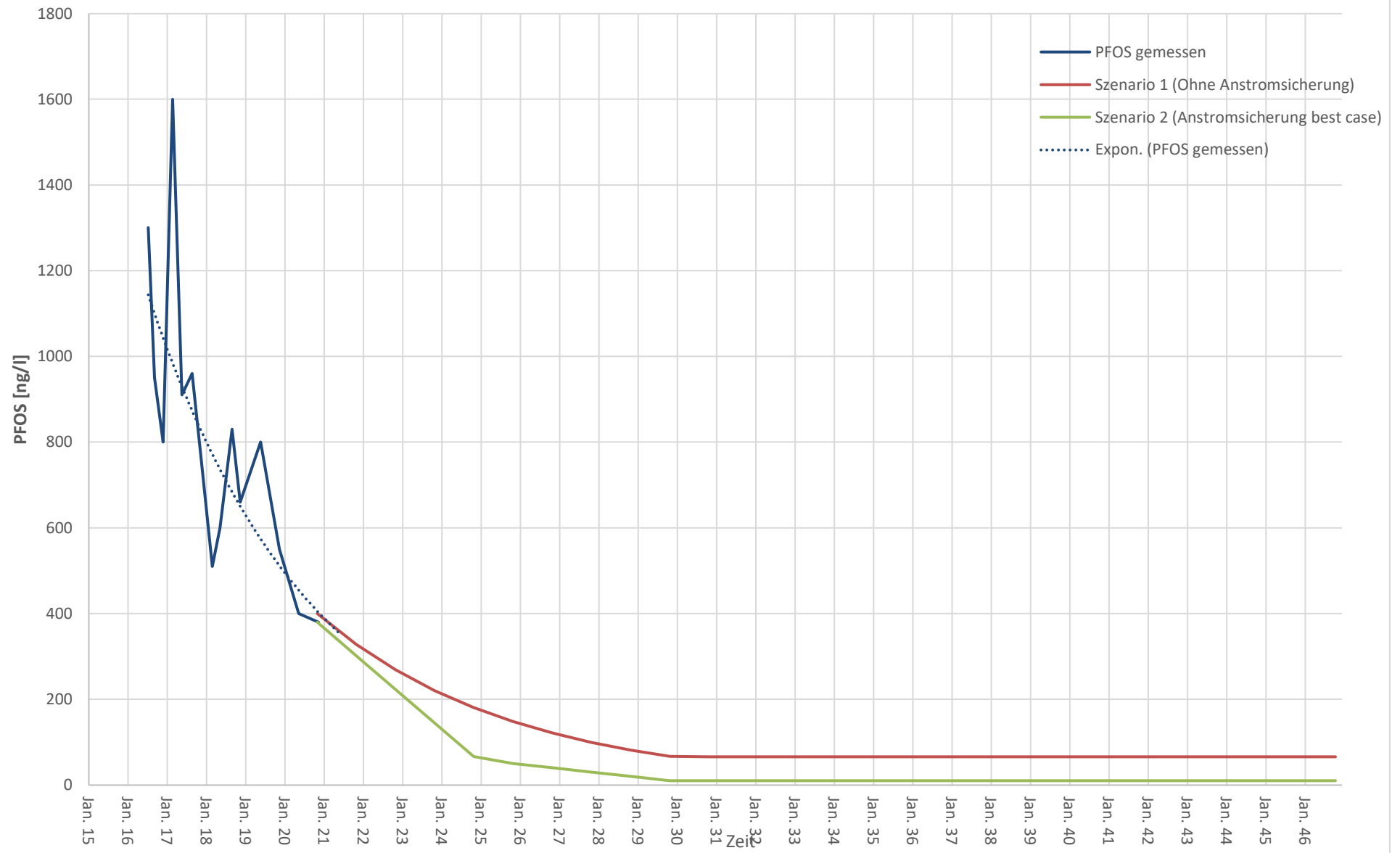
PFOS See 1



PFOS See 4

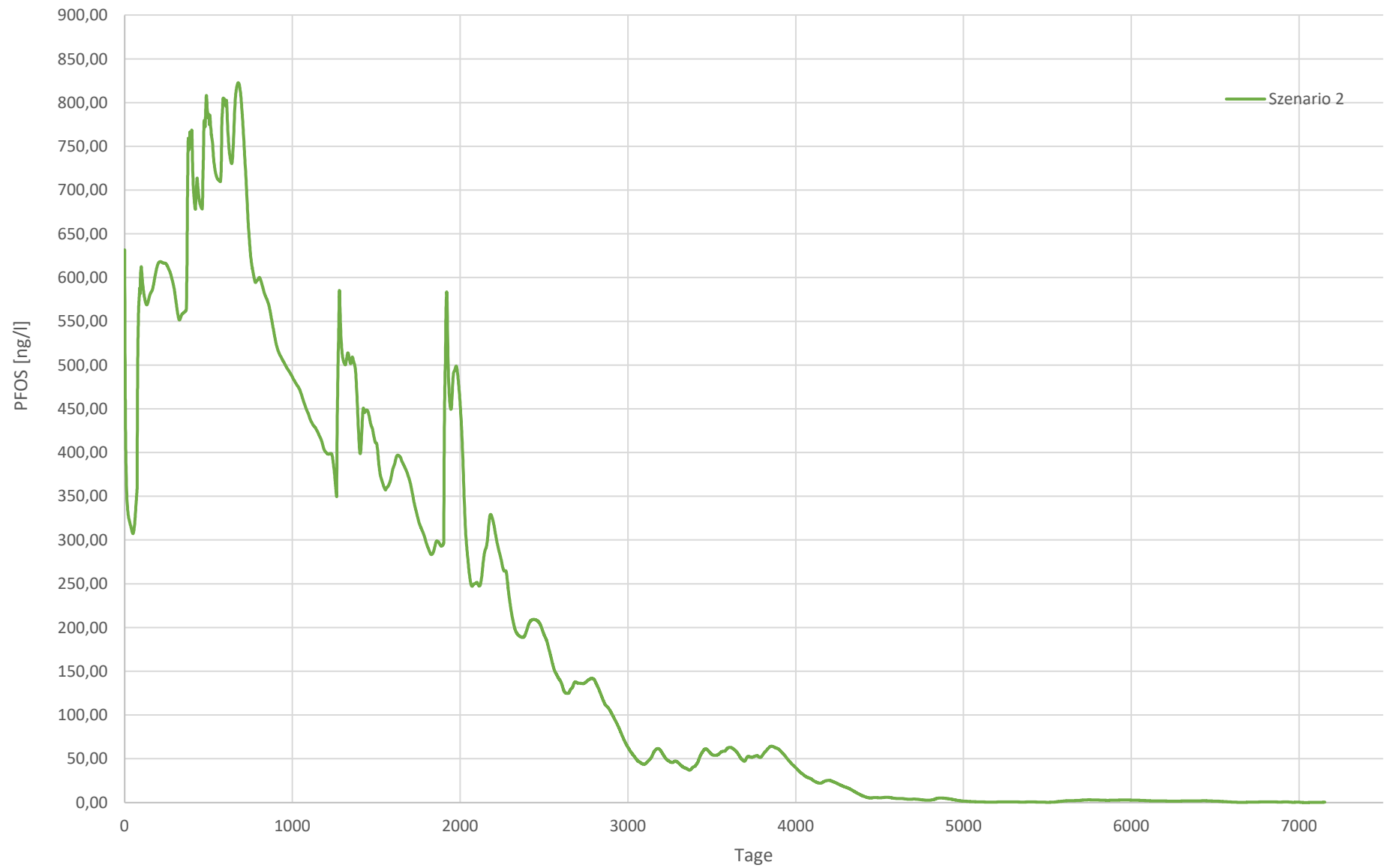


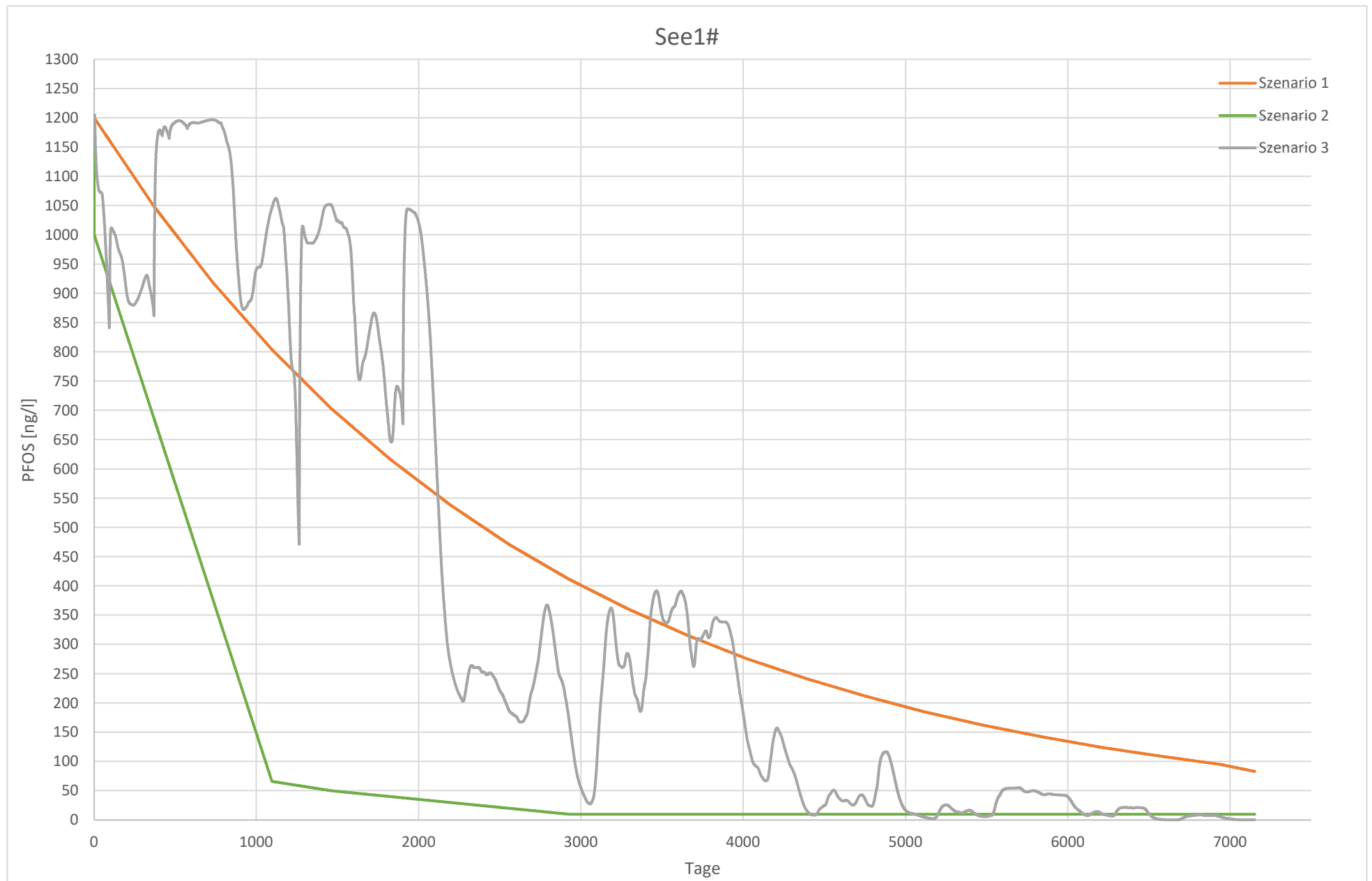
PFOS See 5



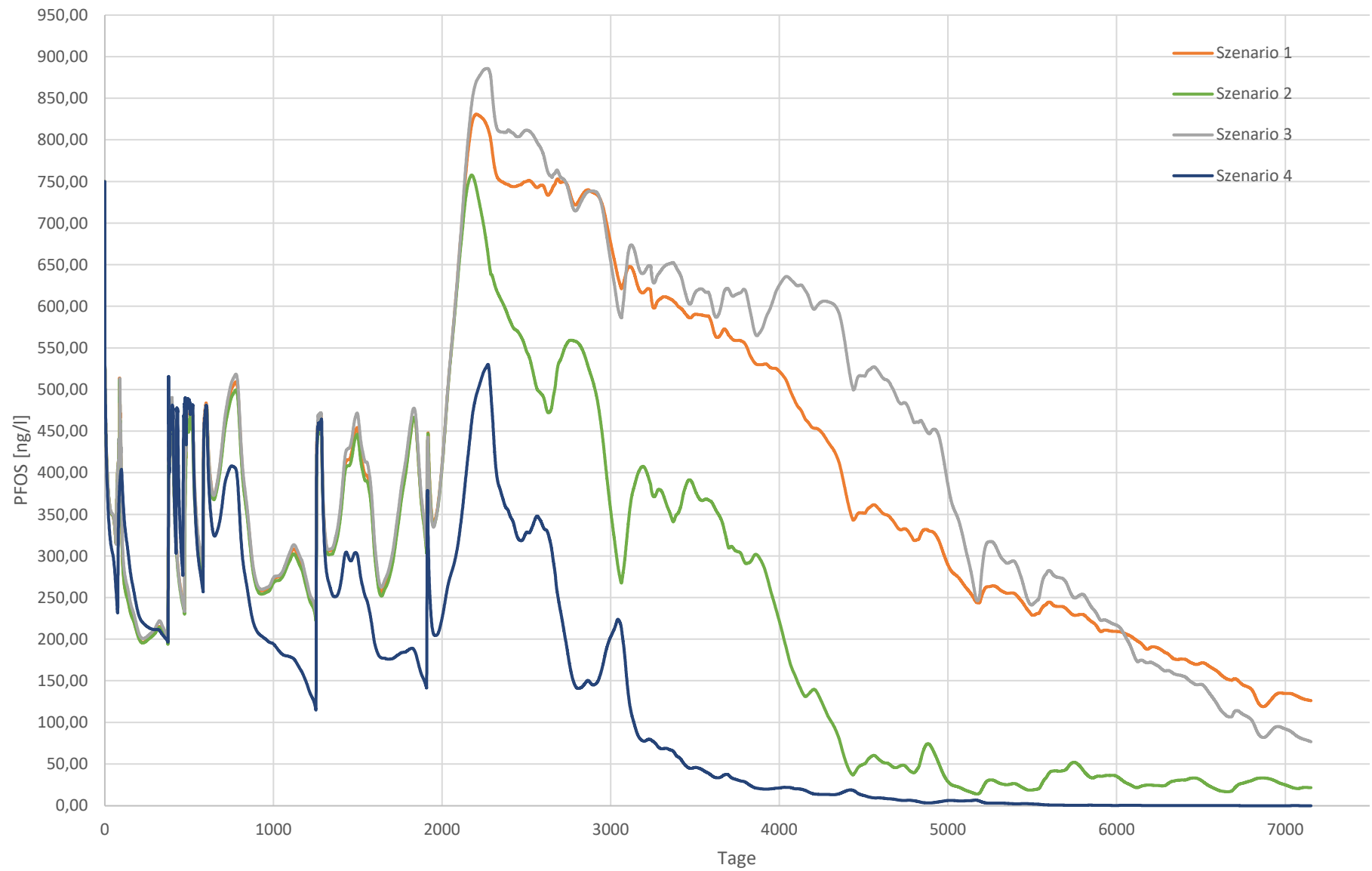
Anlage 16 Ergebnisse Transportmodellierung - Entwicklung der PFOS-Gehalte an den Observation Points

An See1#

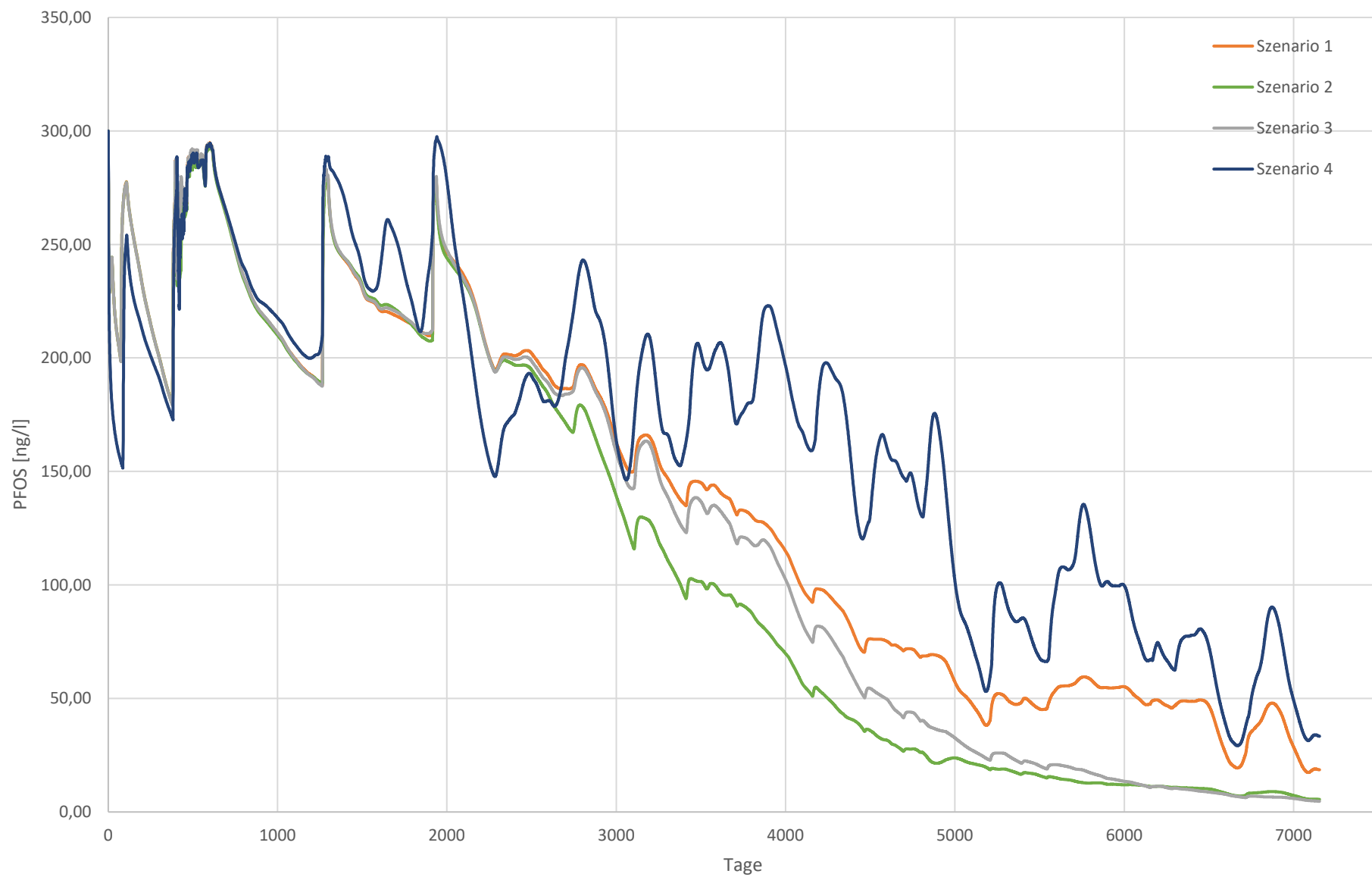




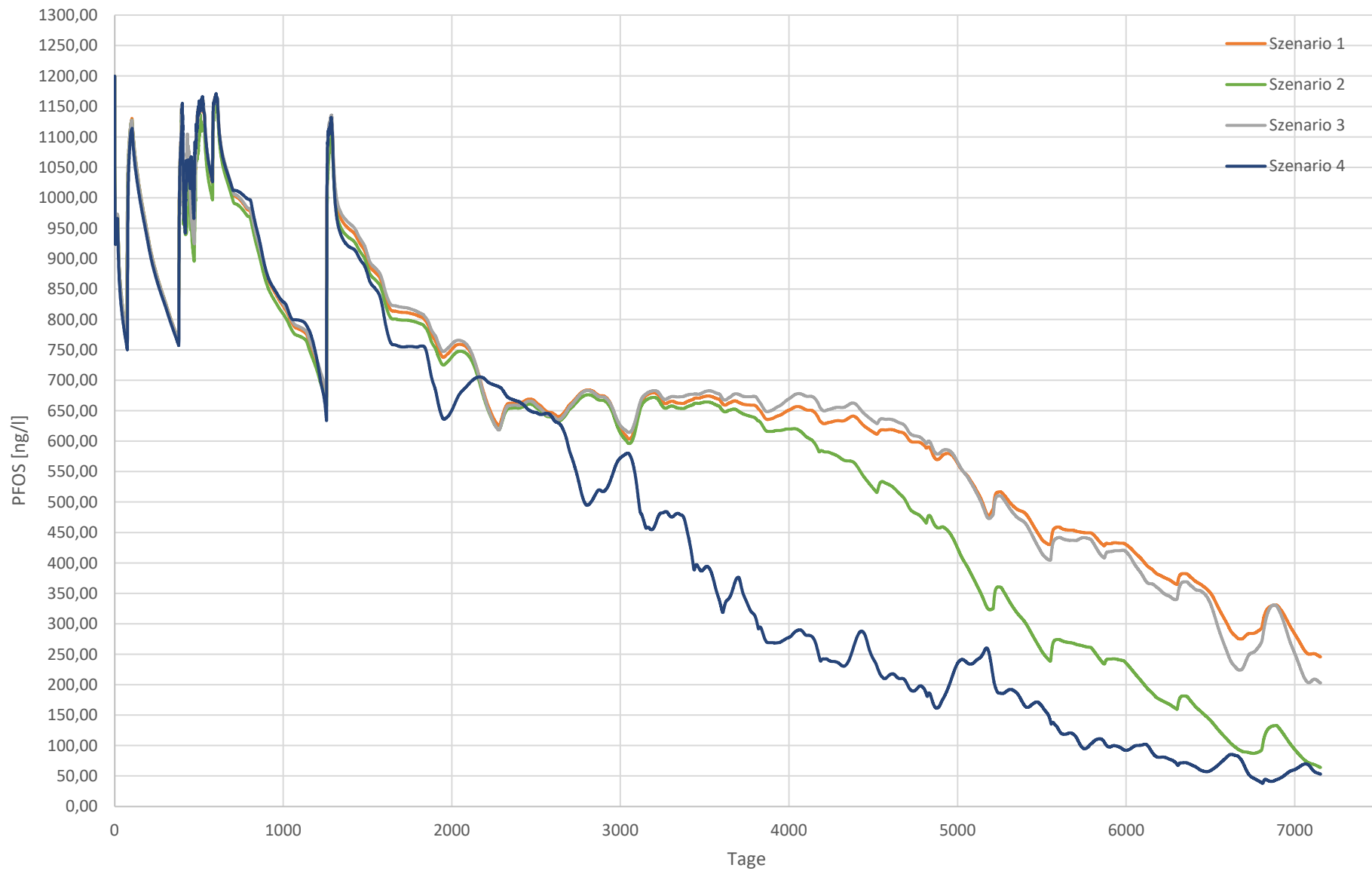
Immendorf F#



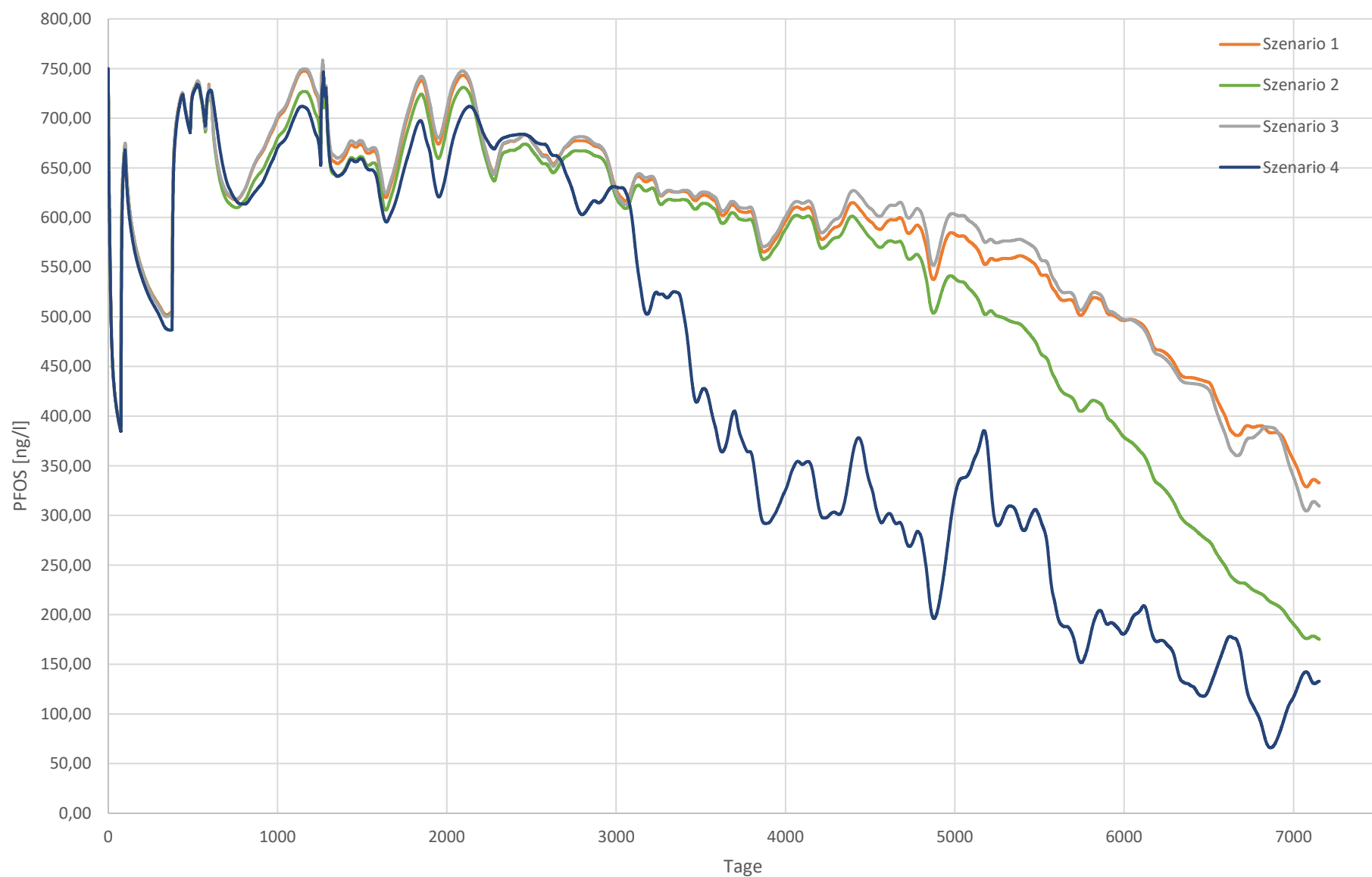
7353841#



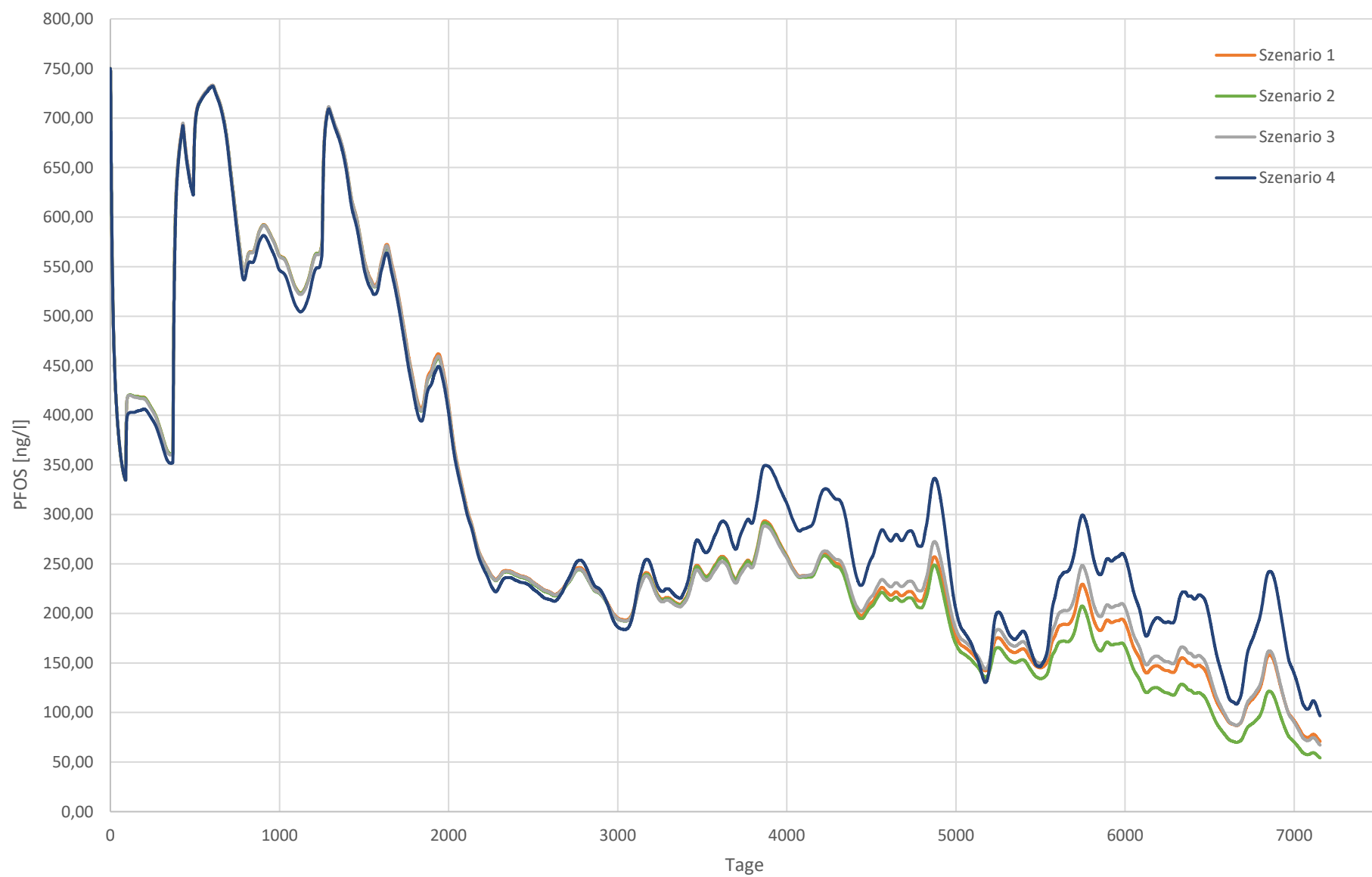
171A#



7353691#



7355421#



Anlage 17 Kostenschätzungen Netzentwicklungs- plan Strom

Kostenschätzungen

Anlage/Anlagenteil	Maßnahme	Investitions-kosten	Einheit	Bemerkung
AC-Freileitungen	220-kV-Stromkreisaufgabe/ Umbeseilung	0,15	Mio. €/km	auf Bestandsleitung pro Stromkreis
	380-kV-Stromkreisaufgabe/ Umbeseilung	0,20	Mio. €/km	auf Bestandsleitung pro Stromkreis
	380-kV-Neubau in bestehender Trasse Doppelleitung	1,6	Mio. €/km	inkl. Rückbau der bestehenden Trasse
	380-kV-Neubau in Doppelleitung	1,5	Mio. €/km	Neubautrasse, Hochstrom
DC-Freileitungen	Neubau DC-Freileitung*	1,5	Mio. €/km	Neubautrasse mit bis zu 4 GW
	Umstellung Freileitung AC → DC	0,20	Mio. €/km	AC-Bestandsleitung, Stromkreisaufgabe DC (Nachbeseilung), Kosten pro Stromkreis
DC-Erdkabel	Neubau DC-Erdkabel	4,00	Mio. €/km	Neubautrasse mit 2 GW bei durchschnittlichen Gegebenheiten
	Neubau DC-Erdkabel	8,00	Mio. €/km	Neubautrasse mit 2 x 2 GW bei durchschnittlichen Gegebenheiten
AC-Stationen	380-kV-Schaltfeld	4,00	Mio. €/SF	inkl. anlagenanteiliger Infrastruktur
DC-Stationen	DC-Konverterstation	0,20	Mio. €/MW	pro Konverterstation inkl. Kosten des/der AC-Anschluss-SF, Kosten für VSC-Umrichter, die ausschließlich zum Einsatz kommen sollen (vorher Kosten für LCC-Umrichter)
Kompensations- anlagen	380-kV-MSCDN	1,4	Mio. €/Stück	100 Mvar schaltbare Kondensator (ohne SF)
	380-kV-SVC	4,0	Mio. €/Stück	100 Mvar regelbare Kompensation: inkl. Anpasstransformator (ohne SF)
	380-kV-Kompensationsspule	1,5	Mio. €/Stück	100 Mvar Drosselspule (ohne SF)
380/110-kV- Transformatoren	300 MVA	5,2	Mio. €/Stück	inkl. 110-kV-Schaltfeld und Kabelableitung (ohne 380-kV-Schaltfeld)
380/220-kV- Transformatoren	600 MVA	8,5	Mio. €/Stück	inkl. Nebenanlagen (ohne 380-kV-Schaltfeld)

Hinweis: Für die Startnetzmaßnahmen werden im Grundsatz die bewilligten Investitionsbudgets (BNetzA-Genehmigung) angesetzt.

*DC-Freileitungen werden ausführungstechnisch und kalkulatorisch wie Drehstrom-Doppelfreileitungen angesetzt.
Eine solche DC-Freileitung kann je nach Ausbaustufe bis zu 2 bipolare Stromkreise mit je 2 GW pro Stromkreis aufnehmen
(entspricht in der Anzahl der Leiterseile 2 AC-Stromkreisen).

Anlage 18 Grundlagen zur Abschätzung der CO₂-Emission

Grundlagen zur Berechnung der CO2- Emission Bau Anstrom

Verlegung von Stromkabel

Länge	ca. 600 m
Kuperanteil	45-60%
PVC Anteil	40-55%

Kupfer

Energieäquivalent Kupfer (Recyklat)	6500 MJ/Mg
Energieäquivalent Kupfer (Primär)	17.000 MJ/Mg
CO2-Äquivalent für Primärkupfer	5,5 t CO2/ t
CO2-Äquivalent für Kupfer Recyklat	1,98 t CO2/t

PVC

Energieäquivalent PVC	65 MJ/kg
-----------------------	----------

CO2-Äquivalent PVC	1905 kg CO2 Äqu/ t
Beispiel Kabel Starkstrom	Mantelmaterial Polyvinylchlorid (PVC)
	Adernanzahl 5
	Kabelgewicht ca. kg/50 m 30

Leiter-Nennquerschnitt	6 mm²
------------------------	-------

kg Kabel insesamt	360
-------------------	-----

Gewicht Kupfer bei 60% kg	216
---------------------------	-----

Gewicht PVC bei 40% kg	144
------------------------	-----

CO2 Äquivalent Kupferanteil - Primärkupfer in kg	1188
--	------

CO2 Äquivalent PVC Anteil in kg	274,32
---------------------------------	--------

CO2 Äquivalent Kabe gesamt in kg	1462,32
---	----------------

Bau Halle

Fläche abgeschätzt m2	400	20 m x 20 m fürHalle mit zwei Aktivkohleaustauschern
-----------------------	-----	--

Firsthöhe abgeschätzt in m	10	Aktivkohlebehälter ca. 8 m hoch
----------------------------	----	---------------------------------

Traufhöhe abgeschätzt in m	8	
----------------------------	---	--

Leichtbauhalle

Aluminium

CO2-Äquivalent für Primärprozess Aluminium	10,6 t CO2/t
--	--------------

CO2-Äquivalent für Aluminiumrecyklat	0,73 t CO2/t
--------------------------------------	--------------

CO2-Äquivalent Aluminiumblech (0% Recyclinganteil)	16 kg CO2	210 MJ/kg
--	-----------	-----------

(100% Recyklat)		24 MJ/kg
-----------------	--	----------

Stahl verzinkt

CO2 Äquivalent Stahl mit 85% Recyklat	2,6 kg CO2/ kg
---------------------------------------	----------------

Dacheindeckung	Außendeckschale ca. 0,55 mm, Innendeckschale ca. 0,45 mm
----------------	--

Wandverkleidung	Außendeckschale 0,6 mm, Innendeckschale ca. 0,45 mm
-----------------	---

Isolierung Halle

Polyurethan-Hartschaum	4,38 kg CO2/kg	40 bis 80 mm starke Kerndämmung
------------------------	----------------	---------------------------------

Dichte Stahl	7850 kg/m³
--------------	------------

Dichte Polyuretha Hartschaum	30 kg/m³
------------------------------	----------

Dichte Aluminium	2700 kg/m³
------------------	------------

1 m² Wandverkleidung

Stahl Masse in kg und CO2 Äquivalent in kg	8,2425	21,4305	Außenschicht Stahl 0,6 mm, Innenschicht Stahl 0,45 mm
--	--------	---------	---

Polyurethan Hartschaum kg und CO2 Äquivalent in kg	1,8	7,884	60 mm Isolierschaum
--	-----	-------	---------------------

Quelle

[Ökobilanz PVC - Kabel \(nachhaltiges-bauen.de\)](https://www.ökobilanz.de/Ökobilanz/PVC-Kabel/nachhaltiges-bauen.de)

[DBU-Abschlussbericht-AZ-30289.pdf](https://www.dbu.de/DBU-Abschlussbericht-AZ-30289.pdf)

Vorlesung Recyclingwirtschaft

Vorlesung Recyclingwirtschaft

[regensburg.de](https://www.regensburg.de)

<https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/pr ozessdetails.php?id=%7BA28D6CB7-68D3-4E3E-B834-D4F600683D4D%7D>

[Ökobilanz Aluminium \(nachhaltiges-bauen.de\)](https://www.ökobilanz.de/Ökobilanz/Aluminium/nachhaltiges-bauen.de)

[Ökobilanz Aluminium \(nachhaltiges-bauen.de\)](https://www.ökobilanz.de/Ökobilanz/Aluminium/nachhaltiges-bauen.de)

[DE-2020 \(umweltbundesamt.de\)](https://www.de-2020.de/umweltbundesamt.de)

Grundlagen zur Berechnung der CO2- Emission Bau Anstrom

1 m² Dachverkleidung

Stahl Masse in kg und CO2 Äquivalent in kg	7,85	20,41 Außenschicht Stahl 0,55 mm, Innenschicht Stahl 0,45 mm
Polyurethan Hartschaum kg und CO2 Äquivalent in kg	1,8	7,884 60 mm Isolierschaum

Fläche Wandverkleidung m² 680

Fläche Dachverkleidung m² 400

CO2 Äquivalent Wandverkleidung kg 19933,86

CO2 Äquivalent Dachverkleidung kg 11317,6

Aluminium Gerüstgerüst

Profilquerschnitte Gerüstsäulen mm ² 1500 252x12 mm mit einer Materialstärke von 4 mm

Länge Alugerüst m 252

Volumen Alu in m³ 0,378

Masse Aluminium kg 1020,6

CO2 Äquivalent Alumium (primäraluminium) Gerüst in kg 10818,36

Fundament

mindest Tiefe [m] 0,8

Volumen Fundamentplatte 320,00

Dichte Beton kg/m³ 2.300

Masse Beton kg 736000

https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Wissen/Beton-Bautechnik/Nachhaltigkeit/Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_2530.pdf

[Microsoft Word - EPD Beton C25-30 2013-05-23 - EPD-IZB-2013421-D\[1\].docx](#)

Beton

CO2 Äquivalent Beton 107 kg CO2/t

CO2 Äquivalent Fundament aus Beton kg 78752

[ProBas - Prozessdetails: Beton \(umweltbundesamt.de\)](#)

Halle gesamt CO2 Äquivalent in kg 120821,82

Halle gesamt CO2 Äquivalent in t 120,82182

Grundlagen zur Berechnung der CO2- Emission Bau Abstrom

Verlegung von Stromkabel

Länge	ca. 500 m
Kuperanteil	45-60%
PVC Anteil	40-55%

Kupfer

Energieäquivalent Kupfer (Recyklat)	6500 MJ/Mg
Energieäquivalent Kupfer (Primär)	17.000 MJ/Mg
CO2-Äquivalent für Primärkupfer	5,5 t CO2/ t
CO2-Äquivalent für Kupfer Recyklat	1,98 t CO2/t

PVC

Energieäquivalent PVC	65 MJ/kg
-----------------------	----------

CO2-Äquivalent PVC	1905 kg CO2 Äqu/ t
Beispiel Kabel Starkstrom	Mantelmaterial Polyvinylchlorid (PVC)
	Adernanzahl 5
	Kabelgewicht ca. kg/50 m 30

Leiter-Nennquerschnitt	6 mm²
------------------------	-------

kg Kabel insesamt	300
Gewicht Kupfer bei 60% kg	180
Gewicht PVC bei 40% kg	120
CO2 Äquivalent Kupferanteil - Primärkupfer in kg	990
CO2 Äquivalent PVC Anteil in kg	228,6
CO2 Äquivalent Kabe gesamt in kg	1218,6

Bau Halle

Fläche abgeschätzt m2	1200	30 m x 40 m für Halle mit sechs Aktivkohleaustauschern
Firsthöhe abgeschätzt in m	10	Aktivkohlebehälter ca. 8 m hoch
Traufhöhe abgeschätzt in m	8	

Leichtbauhalle

Aluminium

CO2-Äquivalent für Primärprozess Aluminium	10,6 t CO2/t	
CO2-Äquivalent für Aluminiumrecyklat	0,73 t CO2/t	
CO2-Äquivalent Aluminiumblech (0% Recyclinganteil)	16 kg CO2	210 MJ/kg
(100% Recyklat)		24 MJ/kg

Stahl verzinkt

CO2 Äquivalent Stahl mit 85% Recyklat	2,6 kg CO2/ kg
Dacheindeckung	Außendeckschale ca. 0,55 mm und In Außendeckschale ca. 0,55 mm, Innendeckschale ca. 0,45 mm
Wandverkleidung	Außendeckschale 0,6 mm und InnendAußendeckschale 0,6 mm, Innendeckschale ca. 0,45 mm

Isolierung Halle

Polyurethan-Hartschaum	4,38 kg CO2/kg	40 bis 80 mm starke Kerndämmung
------------------------	----------------	---------------------------------

Dichte Stahl	7850 kg/m³
Dichte Polyuretha Hartschaum	30 kg/m³
Dichte Aluminium	2700 kg/m³

1 m² Wandverkleidung

Stahl Masse in kg und CO2 Äquivalent in kg	8,2425	21,4305	Außenschicht Stahl 0,6 mm, Innenschicht Stahl 0,45 mm
Polyurethan Hartschaum kg und CO2 Äquivalent in kg	1,8	7,884	60 mm Isolierschaum

Quelle

[Ökobilanz PVC - Kabel \(nachhaltiges-bauen.de\)](#) [DBU-Abschlussbericht-AZ-30289.pdf](#)

Vorlesung Recyclingwirtschaft

Vorlesung Recyclingwirtschaft

[\(regensburg.de\)](#)

<https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/pr ozessdetails.php?id=%7BA28D6CB7-68D3-4E3E-B834-D4F600683D4D%7D>

[Ökobilanz Aluminium \(nachhaltiges-bauen.de\)](#)

[Ökobilanz Aluminium \(nachhaltiges-bauen.de\)](#)

[DE-2020 \(umweltbundesamt.de\)](#)

Grundlagen zur Berechnung der CO2- Emission Bau Abstrom

1 m² Dachverkleidung

Stahl Masse in kg und CO2 Äquivalent in kg	7,85	20,41 Außenschicht Stahl 0,55 mm, Innenschicht Stahl 0,45 mm
Polyurethan Hartschaum kg und CO2 Äquivalent in kg	1,8	7,884 60 mm Isolierschaum

Fläche Wandverkleidung m² 1180

Fläche Dachverkleidung m² 1200

CO2 Äquivalent Wandverkleidung kg 34591,11

CO2 Äquivalent Dachverkleidung kg 33952,8

Aluminium Gerüstgerüst

Profilquerschnitte Gerüstsäulen mm² 2400 400x12 mm mit einer Materialstärke von 4 mm

Länge Alugerüst m 400

Volumen Alu in m³ 0,96

Masse Aluminium kg 2592

CO2 Äquivalent Alumium (primäraluminium) Gerüst in kg 27475,2

Fundament

mindest Tiefe [m] 0,8

Volumen Fundamentplatte 960,00

Dichte Beton kg/m³ 2.300

Masse Beton kg 2208000

Beton

CO2 Äquivalent Beton 107 kg CO2/t

CO2 Äquivalent Fundament aus Beton kg 236256

Halle gesamt CO2 Äquivalent in kg 332275,11

Halle gesamt CO2 Äquivalent in t 332,27511

https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Wissen/Beton-Bautechnik/Nachhaltigkeit/Beton_der_Druckfestigkeitsklasse_C_2530.pdf

[Microsoft Word - EPD Beton C25-30 2013-05-23 - EPD-IZB-2013421-D\[1\].docx](#)

[ProBas - Prozessdetails: Beton \(umweltbundesamt.de\)](#)

Grundlagen zur Berechnung der CO2- Emission Bau Brunnen

		Anstrom	Abstrom	Quelle
Brunnen		4	10	
Tiefe je Brunnen	m	25	25	
Tiefe gesamt	m	100	250	
spez. Dieselvebrauch Bohrung	l/m	0,2	0,2 TAUW	
CO2 äquivalent Diesel	kgCO2/L Diesel	3,17	3,17	https://www.quarks.de/umwelt/klimawandel/co2-rechner-fuer-auto-flugzeug-und-co/
Treibhauspotential Dieselvebrauch	kgCO	63,4	158,5	
Filterrohrstärke PVC-Rohr	mm	7	7 TAUW	
Rohdichte PVC	kg/m ³	1410	1410 TAUW	
Umfang Rohr	m	0,9438	0,9438	
Fläche Rohr	m ²	94,38	235,95	
Volumen Rohr	m ³	0,66066	1,65165	
Masse PVC	kg	931,5306	2328,8265	
CO2 äquivalent PVC	kgCO2/kgPVC	2,71844	2,71844 TAUW	
Treibhauspotential Brunnenausbau	t CO2	2,60	6,49	

Grundlagen zur Berechnung der CO₂- Emission Betrieb

Quelle

		2 Aktivkohlefilter			
		Anstrom		Abstrom	
		best case	worst case	best case	worst case
		160 m³/h	160 m³/h	450 m³/h	450 m³/h
Filterwechsel in 10 bzw. 15 Jahren		8	15	12	23
Volumen Filter	m³	40	40	120	120
Volumen Aktivkohle in 10 Jahren	m³	320	600	1440	2760
Bettdichte Chemviron F300	kg/m³	460	460	460	460
Masse Aktivkohle in 10 Jahren	kg	147.200	276.000	662.400	1.269.600
spez. Treibhauspotential	kgCO ₂ /kgAK	6,4	6,4	6,4	6,4
Treibhauspotential gesamt (10 bzw. 15 Jahre)	t CO₂	942,08	1766,4	4239,36	8.125,44

https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/5248/4/jekel_ruhl.pdf

		2 Aktivkohlefilter + Ionenaustauscher			
		160 m³/h	160 m³/h	450 m³/h	450 m³/h
Filterwechsel in 10 bzw. 15 Jahren AKF		5	10	8	15
Volumen Filter Aktivkohle	m³	40	40	120	120
Volumen Aktivkohle in 10 bzw. 15 Jahren	m³	200	400	960	1800
Bettdichte Chemviron F300	kg/m³	460	460	460	460
Masse Aktivkohle in 10 Jahren	kg	92.000	184.000	441.600	828.000
spez. Treibhauspotential	kgCO ₂ /kgAK	6,4	6,4	6,4	6,4
Treibhauspotential	kg CO₂	588.800	1.177.600	2.826.240	5.299.200
Filterwechsel in 10 bzw. 15 Jahren AIX		3	5	5	8
Volumen Filter AIX	m³	7	7	21	21
Bettdichte Lanxess TP108	kg/m³	690	690	690	690
Masse AIX in 10 Jahren	kg	14.490	24.150	72.450	115.920
spez. Treibhauspotential Polystyrol	kgCO ₂ /kgAIX	3,5	3,5	3,5	3,5
Treibhauspotential Polystyrol	kg	50.715	84.525	253.575	405.720
Seeweg	km	15.000	15.000	15.000	15.000
spez. Treihauspotential Seeweg	kgCO ₂ /km/t	0,03	0,03	0,03	0,03
Treibhauspotential Seeweg	kgCO ₂ /km	68465,25	190181,25	570543,75	417312
Strecke LKW	km	730	730	730	730
spez. Treihauspotential LKW	kgCO ₂ /km	0,111	0,111	0,111	0,11
Treibhauspotential LKW	kgCO ₂	3522,37	9784,37	29353,12	74467,01
spez. Treihauspotential Verbrennung	kgCO ₂ /kgAIX	3,67	3,67	3,67	3,67
Treibhauspotential Verbrennung	kgCO ₂	53.178	88.631	265.892	425.426
Treibhauspotential gesamt (10 bzw. 15 Jahre)	t CO₂	764,68	1.550,72	3.945,60	6.622,13

<https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessliste.php?search=Polystyrol>

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#tabelle>

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#tabelle>

TAUW

Grundlagen zur Berechnung der CO2- Emission Stromverbrauch

		Anstrom	Abstrom	Quelle
Stromverbrauch	kWh/a	394.200	1.307.430	
CO2-Emissionsfaktor Strommix	g/Kwh	485	485	Strom- und Wärmeversorgung in Zahlen Umweltbundesamt
Treibhauspotential Strom/a	t CO2	191,19	634,10	
Treibhauspotential Strom (10 bzw. 15 Jahre)	t CO2	1911,87	9511,55	

Grundlagen zur Berechnung der CO2- Emission Anfahrten Analytik+Wartung

Quelle

Bau der Anlage	km	5000	
12 Fahrten Analytik	km	50	
12 Fahrten Wartung	km	100	
Fahrtweg insgesamt	km	6800	
CO2-äquivalent pro km	g/km	140	https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#verkehrsmittelvergleich_personenverkehr
Treibhauspotential	t CO2/a	0,952	
Treibhauspotential	t CO2 in 10 Jahren	9,52	
Treibhauspotential	t CO2 in 15 Jahren	14,28	

Anlage 19 Übersicht Bewertungspunkte

Punkte P	Dauer bis zur Aufhebung der Allgemeinverfügung im Bereich Rondorf/Hochkirchen
5	in 1 bis 5 Jahren
4	in 5 bis 10 Jahren
3	in 10 bis 15 Jahren
2	in 15 bis 20 Jahren
1	> 20 Jahre

Punkte P	Badenutzung der Seen
5	in 1 bis 5 Jahren
4	in 5 bis 10 Jahren
3	in 10 bis 15 Jahren
2	in 15 bis 20 Jahren
1	> 20 Jahre

Punkte P	ökologischer Zustand der Seen
5	erhöhte positive Auswirkungen
4	mittlere positive Auswirkungen
3	geringfügige positive Auswirkungen
2	kaum positive Auswirkungen
1	keine positiven Auswirkungen

Punkte P	CO2-Bilanz
5	keine zusätzliche CO2-Emission
4	1 bis 3.000 t
3	3.000 bis 5.000 t
2	5.000 bis 10.000 t
1	> 10.000 t

Punkte P	Beeinträchtigung der Umwelt durch in Anspruch genommene Flächen
5	keine negativen Auswirkungen
4	kaum negativen Auswirkungen
3	geringfügige negative Auswirkungen
2	mittlere negativen Auswirkungen
1	erhöhte negative Auswirkungen