



Heßbrühlstr. 21
70565 Stuttgart
Telefon (0711) 237 19 36 00
Telefax (0711) 237 19 36 01

Aubrunnen Tübingen

Zustand der Wasserfassung und Prognose der Auswirkungen potenzieller Versiegelungen im Einzugsgebiet

Kurzbericht

Auftraggeber: Stadtwerke Tübingen GmbH
Eisenhutstr. 6
72072 Tübingen

Auftragsdatum: 21.09.2016

Auftragsnummer: A625

Berichtsnummer: A625-0

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Bernhard Keim

Stuttgart, den 23.12.2016

INHALT

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	II
1 Einführung	1
1.1 Anlass.....	1
1.2 Vorgehen.....	1
2 Pumpversuch und Leistungsfähigkeit.....	2
3 Wasserqualität.....	4
4 Grundwassermodell und Kalibrierung.....	6
5 Prognosen mit dem Grundwassermodell.....	8

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Wasserstand in Grundwassermessstellen, gemessen mittels Datenlogger.....	3
Abbildung 4-1: Gemessene und berechnete Absenkungen des Grundwasserstands in den Grundwassermessstellen.....	7
Abbildung 4-2: Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im Umfeld des Brunnens Au	7
Abbildung 5-1: Grundwassergleichen (10 cm-Abstand) ohne und mit Versiegelung der Fläche A.....	10
Abbildung 5-2: Grundwassergleichen (10 cm-Abstand) ohne und mit Versiegelung der Flächen A und B.....	10
Abbildung 5-3: Grundwassergleichen (10 cm Abstand) ohne und mit Versiegelung der Flächen A, B und C	11
Abbildung 5-4: Brunneneinzugsgebiet mit und ohne Versiegelung der Flächen A, B und C.....	12
Abbildung 5-5: Auswirkungen einer Versiegelung der Flächen A, B und C im Bereich der Au auf das Untere Neckartal.....	13

1 Einführung

1.1 Anlass

Die zukünftige Rolle der Wasserfassung „Au“ für die Tübinger Wasserversorgung wurde zuletzt intensiv diskutiert. Für den weiteren Entscheidungsfindungsprozess sind folgende Punkte zu klären:

- Derzeitiger Zustand der Wasserfassung (Leistungsfähigkeit, Wasserqualität)
- Mögliche Auswirkungen einer Versiegelung durch eine angenommene zusätzliche Bebauung des Einzugsgebiets auf die Ergiebigkeit (Reduzierung der Fördermenge, zusätzliche Absenkungen des Grundwasserstands) und das Einzugsgebiet (Verlagerung bzw. Verschiebung)

1.2 Vorgehen

Älteren Unterlagen ist zu entnehmen, dass im Pumpwerk Au der Stadtwerke Tübingen ursprünglich zwei Vertikalbrunnen mit einer Förderleistung von 40 l/s vorhanden waren. In einer Auswertung des Geologischen Landesamts (heute LGRB) wird bereits Ende der 80er Jahre darauf verwiesen, dass nur noch einer dieser Brunnen in Betrieb war (GLA 1988). In den vergangenen Jahren fand keine regelmäßige Bewirtschaftung des verbleibenden Aubrunnens mehr statt.

Der aktuelle Zustand der Wasserfassung musste daher in einem Pumpversuch erfasst werden. Im Versuchsverlauf wurde über einen Zeitraum von zwei Wochen mit zwei verschiedenen Pumpleistungen im Aubrunnen I (Nördlichere der beiden ursprünglichen Brunnen) Wasser entnommen.

Während der gesamten Dauer des Pumpversuchs wurde an insgesamt 4 Grundwassermessstellen mittels Datenloggerdrucksonden der Grundwasserstand gemessen, digital aufgezeichnet und dokumentiert. Zusätzlich erfolgten händische Grundwasserstandsmessungen mittels Lichtlot an umliegenden Grundwassermessstellen.

Um die chemische Zusammensetzung des Grundwassers aus dem Aubrunnen I beurteilen zu können, wurden am Ende der ersten und der zweiten Entnahmephase Wasserproben genommen und in einem Labor analysiert.

Mit den Daten des Pumpversuchs wurde ein bereits bestehendes numerisches Grundwassermodell im Umfeld des Aubrunnens kalibriert. Anschließend wurden Prognosen mit einer verminderten Grundwasserneubildung in potenziell versiegelten Flächen berechnet.

2 Pumpversuch und Leistungsfähigkeit

Beginnend am 29.09.2016 wurde dem Aubrunnen I über einen Zeitraum von zwei Wochen mit zwei unterschiedlichen Pumpleistungen Wasser entnommen. Die Entnahme wurde folgendermaßen gestaltet:

- Beginn Pumpversuch: 29.09.2016 um 9:30 Uhr, Entnahmerate von 14,2 l/s
- Erhöhung der Pumpleistung: 06.10.2016 um 11:30 Uhr, Entnahmerate von 27,9 l/s
- Ende Pumpversuch: 13.10.2016 um 14:45 Uhr

Das während des Pumpversuchs entnommene Wasser wurde vollständig in den Kanal abgeleitet.

Die Entnahmerate ab dem 6.10.16 (27,9 l/s) entspricht der derzeit technisch möglichen Maximalentnahme. Die technische Leistungsfähigkeit der installierten Pumpen führt zu dieser Limitierung. Die in älteren Akten erwähnten 40 l/s können derzeit nicht gefördert werden.

Die Messungen in den Grundwassermessstellen mittels Datenlogger ergaben typische Reaktionen (siehe Abbildung 2-1). Mit zunehmender Entfernung zum Brunnen nehmen die pumpversuchsbedingten Absenkungen der Grundwasseroberfläche ab. Insgesamt sind die Absenkungsbeträge vergleichsweise gering. Auch am Brunnen selbst betrug die Absenkung am Ende der zweiten Pumpversuchswoche nur ca. 0,8 m.

Darauf hinzuweisen ist, dass sich nach 2 Wochen Pumpbetrieb noch keine sogenannte Beharrung einstellte. D.h. die Grundwasserstände wären bei länger andauerndem Pumpbetrieb noch weiter abgesunken. Die Leistungsfähigkeit des Brunnens mit einer Förderleistung von 27,9 l/s über den Zeitraum von wenigen Wochen ist dennoch gegeben.

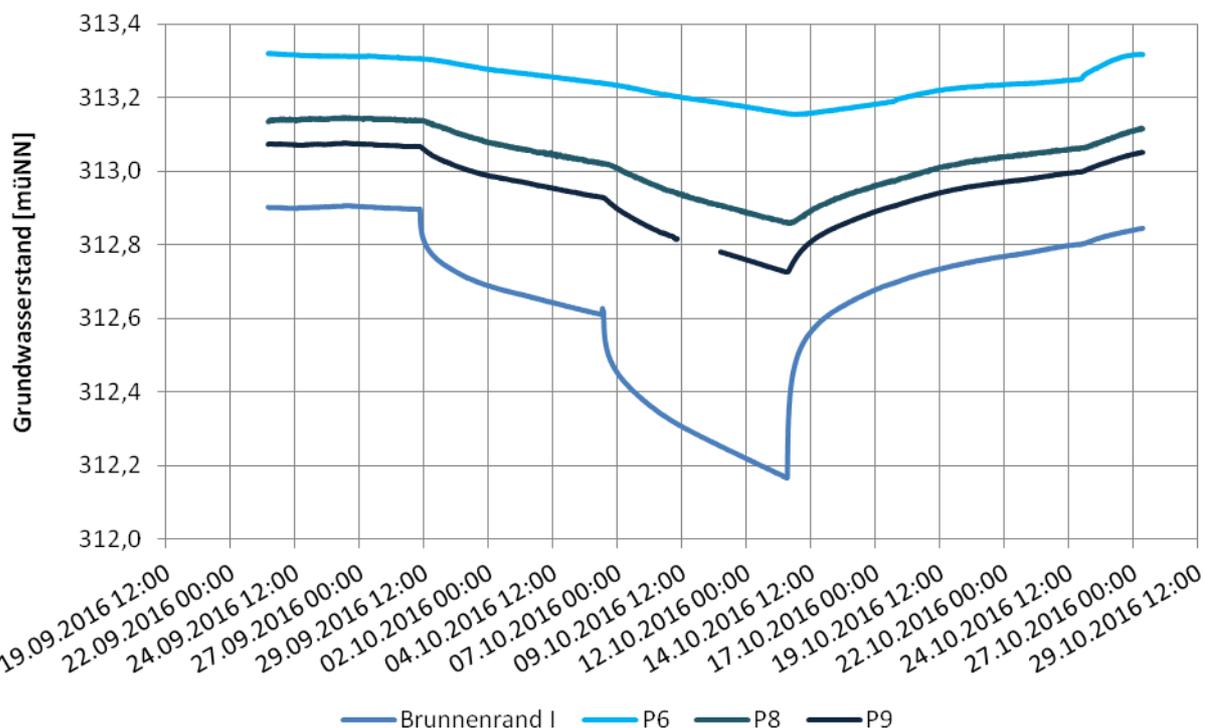


Abbildung 2-1: Wasserstand in Grundwassermessstellen, gemessen mittels Datenlogger

(Abstände der Grundwassermessstellen zum Pumpbrunnen:
 Brunnenrand I = 16 m, P9 = 161 m, P8 = 192 m, P6 = 365 m)

3 Wasserqualität

Um die chemische Zusammensetzung des Grundwassers aus dem Aubrunnen untersuchen zu können, wurden zwei Wasserproben jeweils am Ende der beiden Pumpversuchsphasen gewonnen.

- Erste Probe am 06.10.2016
- Zweite Probe am 13.10.2016

Folgende Parameter wurden untersucht:

- Vor-Ort Parameter: Temperatur, Leitfähigkeit, O₂, Redoxpotential, pH, Farbe, Trübung, Geruch
- Extinktion bei 436 nm und UV-Extinktion bei 254 nm
- Säure- und Basekapazität
- Hauptkationen und -anionen (Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium, Chlorid, Nitrat, Sulfat)
- Gesamthärte
- Ammonium
- Eisen
- Mangan
- Bor
- DOC
- AOX (adsorbierbares organisch gebundenes Halogen) inklusive POX
- Schwermetalle (Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Zink, Chrom, Quecksilber, Arsen, Uran, Vanadium)
- KW-Index
- BTEX
- PAK
- LHKW
- PCB
- Cyanid
- PFC
- Pestizide (Atrazin und Abbauprodukte)

Die Ergebnisse der beiden Analysen (und damit der Untersuchungszeitpunkte und den Pumpraten) unterscheiden sich insbesondere für den leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoff namens Tetrachlorethen (Per). So wurde dieser Stoff nach 1-wöchigem pumpen nicht nachgewiesen. Am Ende der zweiten Woche traten 0,004 mg/l auf. Dies ist als Indiz zu verstehen, dass eine bekannte

Schadstofffahne durch den Pumpbetrieb „angezogen“ wurde. Über den Verlauf der Per-Konzentrationen bei einem länger anhaltenden Pumpbetrieb sind keine verlässlichen Aussagen möglich. Eine Verletzung des Grenzwerts der Trinkwasserverordnung liegt jedoch nicht vor.

Sofern zukünftig eine verstärkte Nutzung des Aubrunnens angestrebt wird, sollte eine Messkampagne an umliegenden Grundwassermessstellen durchgeführt werden, insbesondere um das räumliche Inventar an leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen besser einschätzen zu können. Bereits aus den 80-er Jahren sind CKW-Fahnen im Zustrom des Aubrunnens bekannt.

Perfluortenside traten in beiden Pumpproben auf. Nachgewiesen wurden PFBS (0,06 µg/l am 6.10.16 bzw. 0,05 µg/l am 13.10.16) und PFHpS (0,02 µg/l am 13.10.16). Diese Stoffe sind in der Trinkwasserverordnung nicht aufgeführt. Durch jüngst bekannte Schadensfälle (u.a. im Rheintal) rückt diese Stoffgruppe verstärkt in das öffentliche und behördliche Interesse. Die am Aubrunnen gemessenen Konzentrationen liegen deutlich unterhalb der derzeit propagierten „Gesundheitlichen Orientierungswerte“ für das Trinkwasser aber sehr dicht am allgemeinen Vorsorgewert (allgemeine Zielvorgabe für Rohwasser, Trinkwasser und Gewässer) von 0,1 µg/l für die Summe der Perfluorverbindungen. Die Entwicklung der Perfluortenside sollte daher im Falle einer Inbetriebnahme des Aubrunnens überwacht werden. Wünschenswert wäre die räumliche Messkampagne für die leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe auf die Parametergruppe der Perfluortenside auszudehnen.

Positiv hervorzuheben ist, dass sich bezüglich der BTEX-Aromaten, PAK, PCB und Herbizide keine Nachweise ergaben und keine Verletzung von Grenzwerten der Trinkwasserverordnung festzustellen ist.

4 Grundwassermodell und Kalibrierung

Durch verschiedene Arbeiten ist für das im Neckartal gelegene Stadtgebiet Tübingens bereits ein numerisches Grundwassermodell vorhanden. Dieses ist im Bereich der Brunnen des Unteren Neckartals und des Brunnens Gehrnfeld bereits kalibriert. Für den Bereich des Aubrunnens wurde das Modell bislang nicht eingesetzt. Daher wurden die Daten des Pumpversuchs aus 2016 dazu verwendet, das Grundwassermodell lokal im Bereich des Aubrunnens zu kalibrieren. Unter Kalibrierung versteht man in diesem Kontext die Variation der Untergrundeigenschaften (Durchlässigkeitsbeiwert und speicherwirksamer Hohlraumanteil), so dass die im Modell berechneten Grundwasserabsenkungen durch den Pumpversuch mit den Messwerten übereinstimmen.

Eine gute Anpassung der Rechnung an die Messung war mit einem einheitlichen Durchlässigkeitsbeiwert nicht möglich. Nur durch räumliche Variation des Durchlässigkeitsbeiwerts im Umfeld des Aubrunnens konnte die gebotene Anpassungsgüte erzielt werden. Die resultierenden Durchlässigkeitsbeiwerte passen sehr gut in das bekannte Spektrum für das Neckartal.

Abbildung 4-1 zeigt die erreichte Anpassung an die Absenkung an den Grundwassermessstellen. Lediglich die zweite Pumpversuchsphase der vom Brunnen weiter entfernten Grundwassermessstelle P 6 wird im Modell überschätzt.

Nachdem die erste Pumpversuchsphase der P 6 gut angepasst werden konnte, könnte die etwas schlechtere Anpassung in der zweiten Phase als Indiz verstanden werden, dass sich die Abweichung aus einer gehemmten Nachströmung im Modell ergibt. Unter zusätzlicher Verwendung der Lichtlotmessungen an weiter umliegenden Grundwassermessstellen kommen wir allerdings zum Ergebnis, dass zusätzliche natürliche Beeinflussungen von außerhalb aufgetreten sind, die in der Modellrechnung für die Kalibrierung nicht erfasst sind. Dies gilt insbesondere für den Wiederanstieg nach Abschalten der Pumpe (schwarzer vertikaler Balken zeigt den Beginn von Niederschlägen und dem Anstieg des Neckars).

Das Ergebnis der Kalibrierung ist die in Abbildung 4-2 gezeigte lokale Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte.

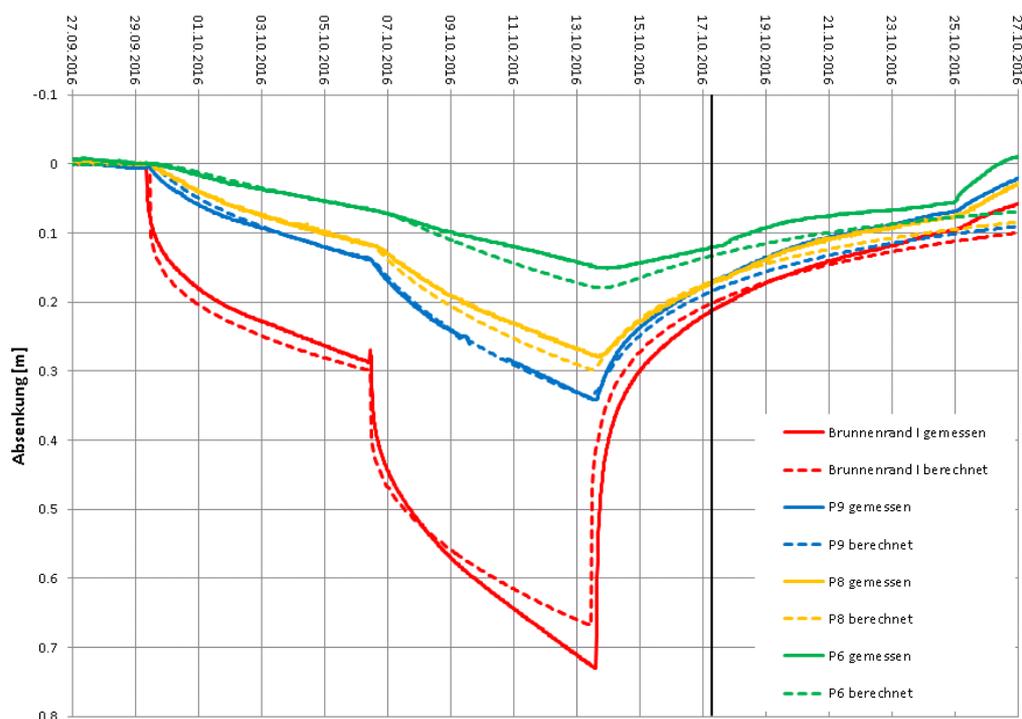


Abbildung 4-1: Gemessene und berechnete Absenkungen des Grundwasserstands in den Grundwassermessstellen

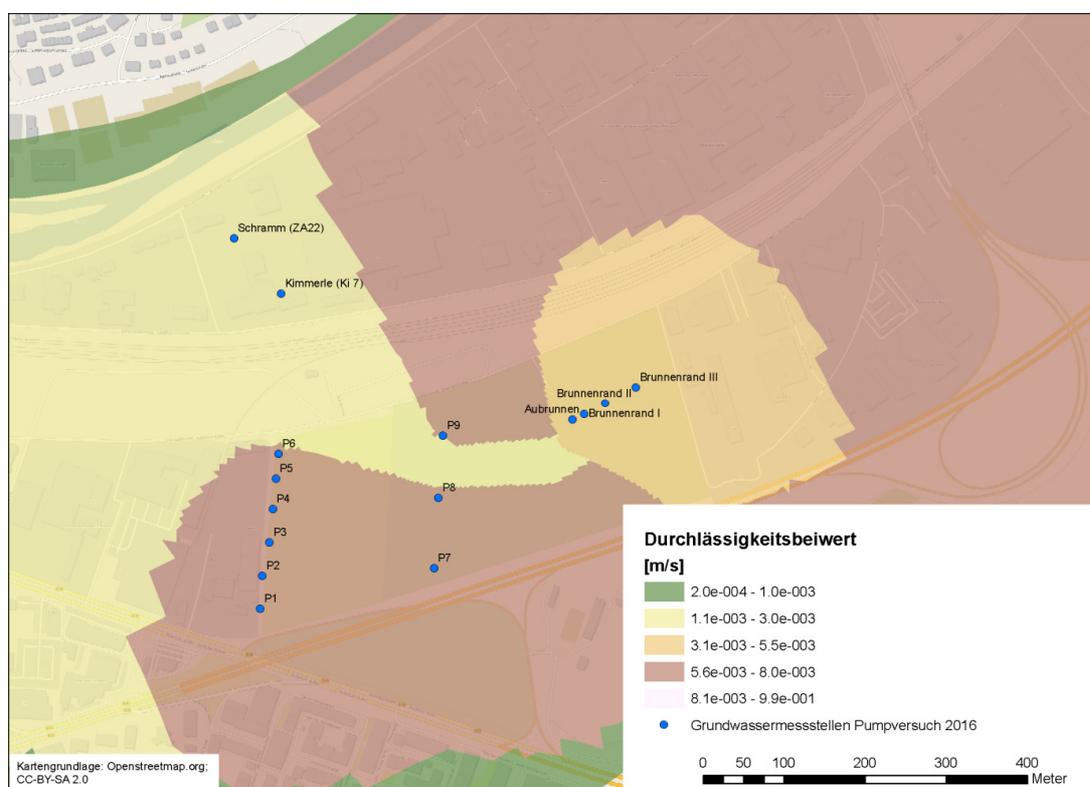


Abbildung 4-2: Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im Umfeld des Brunnens Au

5 Prognosen mit dem Grundwassermodell

Das im Bereich des Aubrunnens lokal neu kalibrierte Grundwassermodell wurde dazu verwendet, die Auswirkungen von Versiegelungen im Einzugsgebiet auf den Brunnen zu untersuchen.

Grundsätzlich kann sich eine bilanzielle Änderung durch eine Versiegelung wie folgt auf die Grundwasserverhältnisse auswirken:

- Zunahme der Absenkung / Verringerung der Leistungsfähigkeit
- Verschiebung des Brunneneinzugsgebiets
- Änderung der Fließgeschwindigkeit

Um die Wirkung der Versiegelung zu simulieren, wurden auftragsgemäß folgende drei Szenarien untersucht (Flächen siehe Abbildung 5-1 bis Abbildung 5-3):

- Versiegelung auf der Fläche A (33 200 m²)
- Versiegelung auf den Flächen A und B (33200 + 25000 m²)
- Versiegelung auf den Flächen A, B und C (33200 + 25000 + 30900 m²)

Die Versiegelung wurde im Modell dahingehend umgesetzt, dass bei den Modellläufen mit Versiegelung die Grundwasserneubildung auf den genannten Flächen vollständig deaktiviert wurde. Als Grundwasserneubildungswert wird im Modell ein Wert von 200 mm/a im Bereich der Au verwendet. Dieser entspricht nahezu dem Wert Grundwasserneubildungsberechnung der LUBW von 144 mm/a im näheren Umfeld des Brunnens Au und 223 mm/a in dessen Umgebung (Hinweis: die zitierten LUBW-Werte sind langjährige Mittelwerte für den Zeitraum 1961 bis 1990).

Die Ergebnisse der Modellrechnungen sind in Form von Grundwassergleichenplänen dokumentiert. Gezeigt werden berechnete Grundwassergleichen für eine Entnahme von 27,9 l/s. Es werden sowohl die Grundwassergleichen mit und ohne Versiegelung dargestellt. Das Maß der Verschiebung der Grundwassergleichen ist als Indikator für die Auswirkung der Versiegelung anzusehen.

Durch eine angenommene vollständige Versiegelung auf der Fläche A reduziert sich der Wasserumsatz im Modell um 0,21 l/s. Dies führt zu kaum erkennbaren Verschiebungen in den Grundwassergleichen (siehe Abbildung 5-1) die ohne merklichen Einfluss auf Strömungsrichtungen und Fließgeschwindigkeiten bleiben. Die Leistungsfähigkeit des Aubrunnens wird durch die Versiegelung der Fläche A nicht beeinträchtigt.

Eine angenommene vollständige Versiegelung auf den Flächen A und B mindert den Wasserumsatz im Modell um 0,37 l/s. Es sind geringe Verschiebungen in den

Grundwassergleichen erkennbar (siehe Abbildung 5-2). Die Leistungsfähigkeit des Aubrunnens wird durch die Versiegelung der Flächen A und B nicht beeinträchtigt. Es ist auch keine spürbare Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten zu erwarten. Aber es sind erste minimale Tendenzen erkennbar, dass sich das Einzugsgebiet des Brunnens verbreitert, um den Wegfall der Neubildung zu kompensieren.

Der Wasserumsatz im Modell wird um 0,57 l/s verringert, wenn die Flächen A, B und C als vollständig versiegelt angenommen werden. Die Leistungsfähigkeit des Aubrunnens wird durch die Versiegelung der Flächen A, B und C nicht beeinträchtigt. Die Verschiebung der Grundwassergleichen (siehe Abbildung 5-3) ist erkennbar. Die Fließgeschwindigkeiten werden sich nur geringfügig erhöhen.

Die Auswirkungen der Versiegelung auf das Brunneneinzugsgebiet wird beispielhaft für die Versiegelung der Flächen A, B und C mittels Bahnlinienberechnung quantifiziert. Dazu werden der Fall ohne zusätzliche Versiegelung und der Fall einer zusätzlichen Versiegelung auf den Flächen A, B und C verglichen. Es werden für das stationäre Strömungsfeld auf der gesamten Breite des Neckartales Bahnlinien berechnet und untersucht, welches die äusserste Bahnlinie ist, die noch dem Brunnen zuströmt. Diese sogenannte Randstromlinie grenzt dabei das Einzugsgebiet des Brunnens bei einer advektiven Betrachtung ab.

Der Vergleich der so ermittelten Randstromlinien für die Fälle ohne und mit zusätzlicher Versiegelung auf den Flächen A, B und C ist in Abbildung 5-4 dargestellt. In nördlicher Richtung hat die zusätzliche Versiegelung keinen signifikanten Einfluss auf das Einzugsgebiet. Hier wird der Wegfall der Grundwasserneubildung durch den Neckar kompensiert. In südlicher Richtung verbreitert sich das Einzugsgebiet durch den Wegfall der Neubildungsfläche um bis zu 15 m. Anzumerken ist, dass die Modelldiskretisierung die Schärfe der Einzugsgebietsabgrenzung limitiert. Genauer als etwa 5 m lässt sich das Einzugsgebiet nicht abgrenzen.

Ferner wurde geprüft, wie sich die Versiegelung im Bereich der Au auf das bedeutende Standbein der Tübinger Wasserversorgung im Unteren Neckartal auswirkt. Einen entsprechenden Vergleich der Grundwassergleichen mit und ohne Versiegelung der Flächen A, B und C wird in Abbildung 5-5 gezeigt. Die Auswertung hat ergeben, dass im Unteren Neckartal keine Verschiebung von Grundwassergleichen durch die Versiegelung zu erwarten ist. Eine geringfügig erhöhte Aussickerung aus dem Neckar gleicht das Defizit aus der Versiegelung aus.

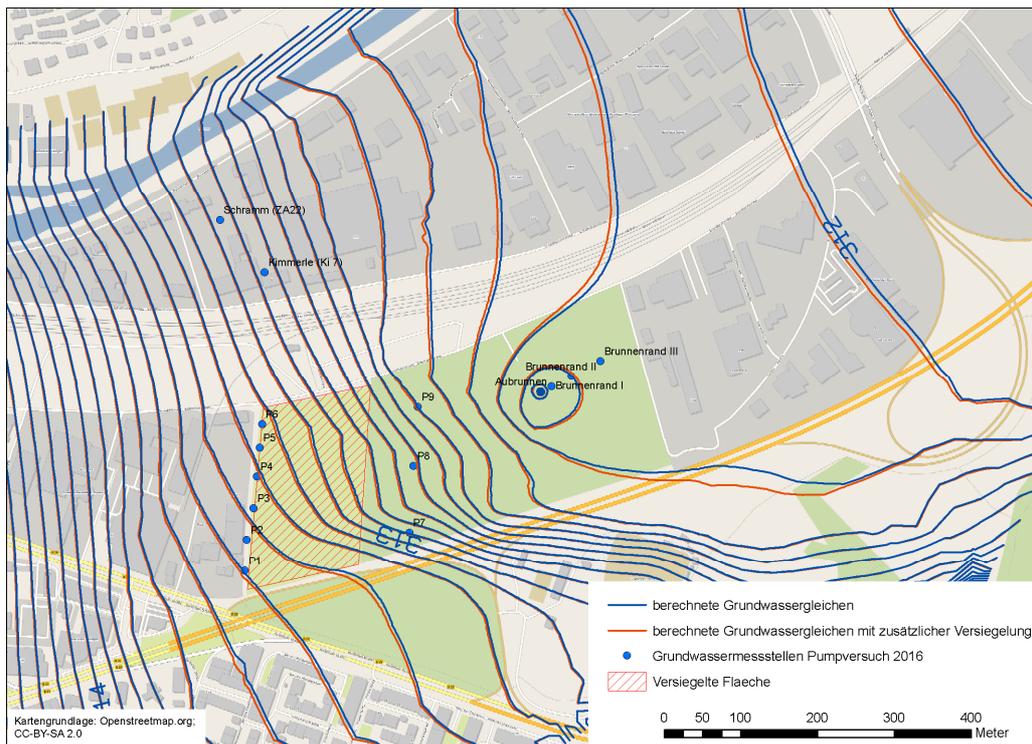


Abbildung 5-1: Grundwassergleichen (10 cm-Abstand) ohne und mit Versiegelung der Fläche A

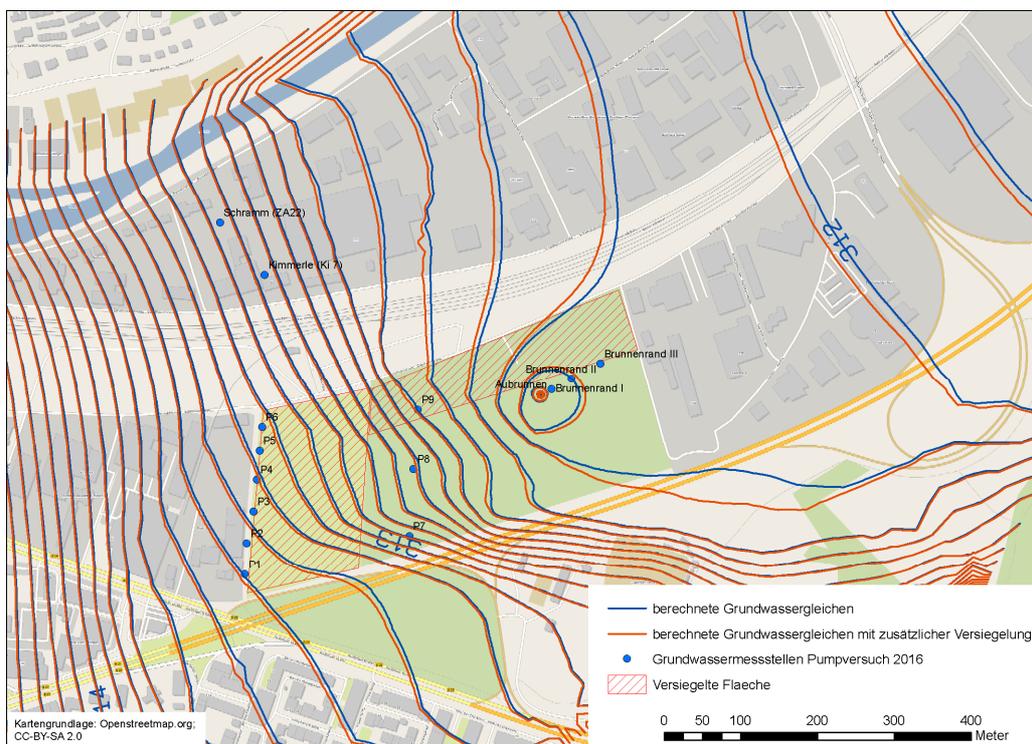


Abbildung 5-2: Grundwassergleichen (10 cm-Abstand) ohne und mit Versiegelung der Flächen A und B

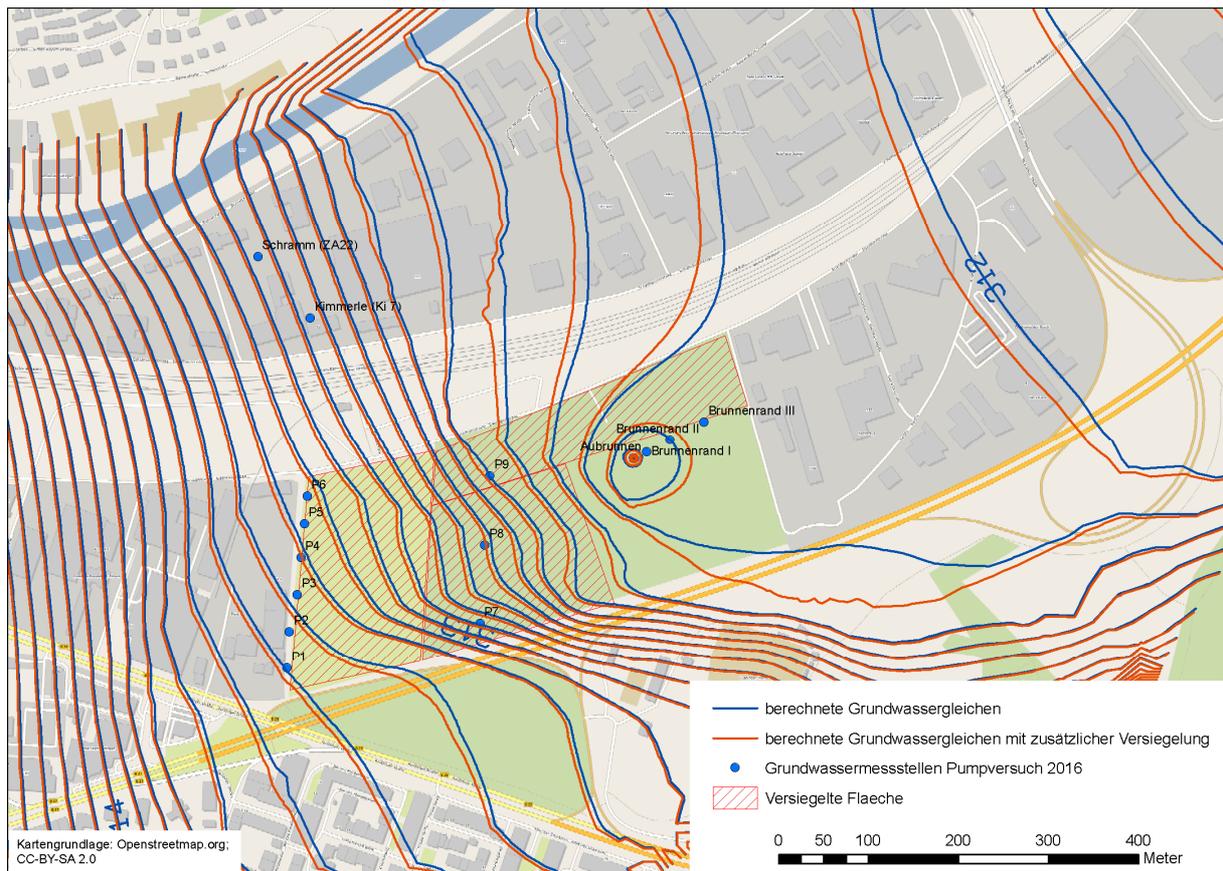


Abbildung 5-3: Grundwassergleichen (10 cm Abstand) ohne und mit Versiegelung der Flächen A, B und C

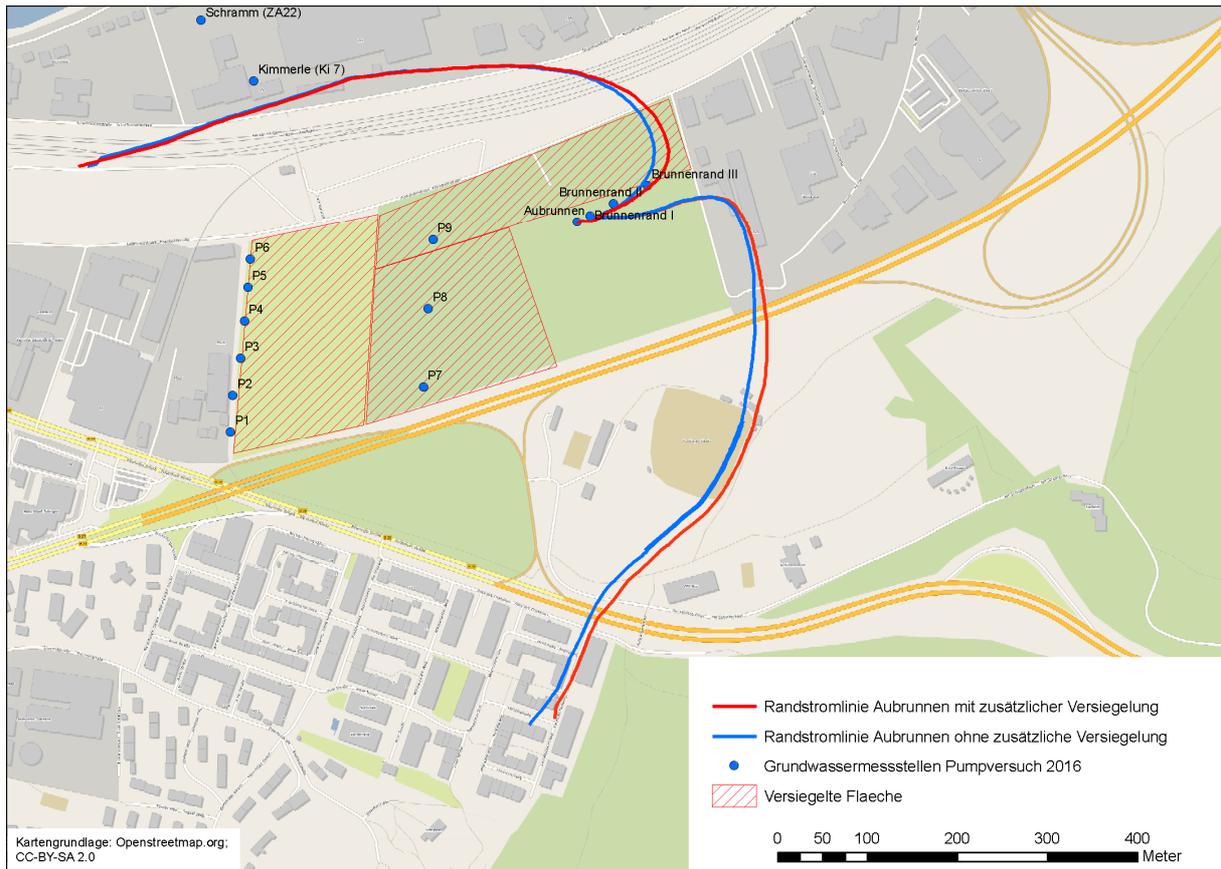


Abbildung 5-4: Brunneneinzugsgebiet mit und ohne Versiegelung der Flächen A, B und C

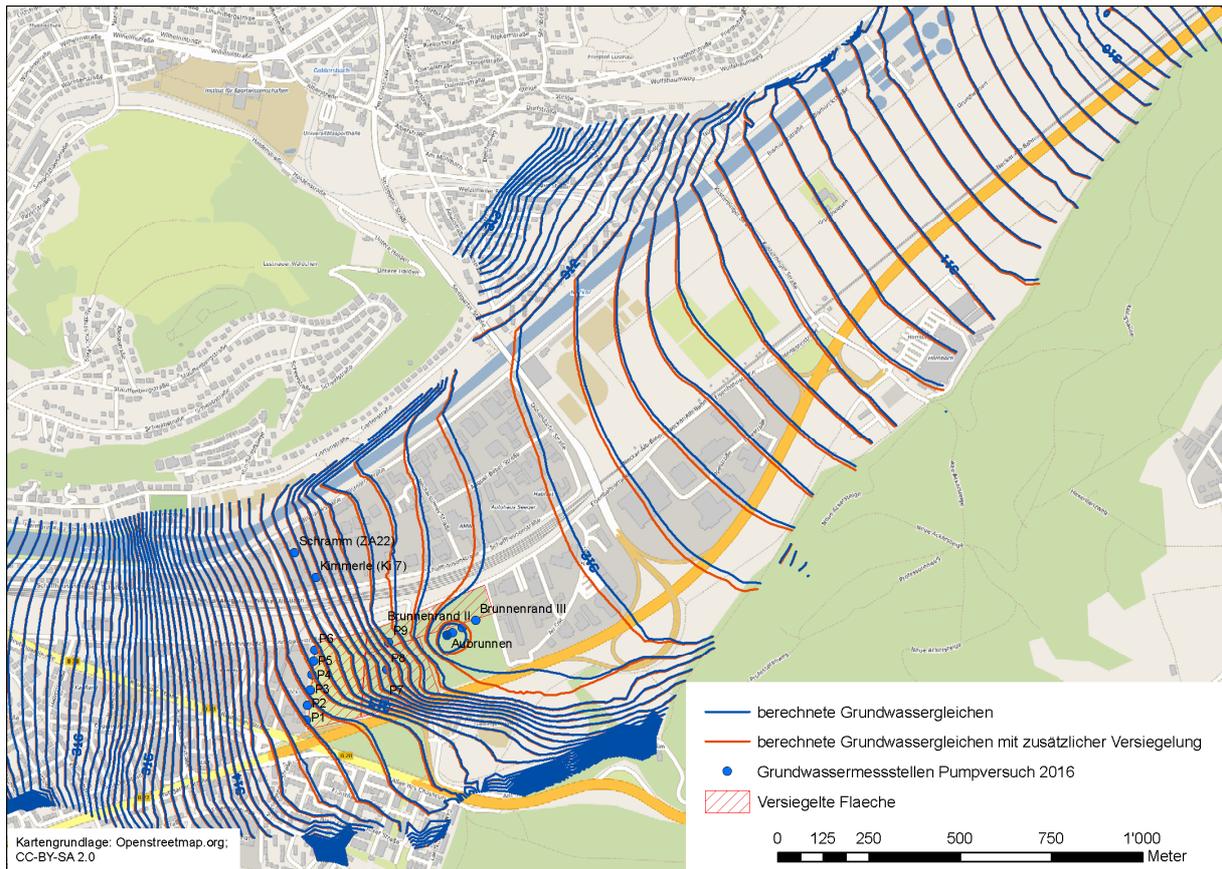


Abbildung 5-5: Auswirkungen einer Versiegelung der Flächen A, B und C im Bereich der Au auf das Untere Neckartal