

Abschätzung der radiologischen Auswirkungen von Nuklearunfällen auf die städtische Trinkwasserversorgung und Stadtentwässerung

C Staudt¹, PB Amoo², S Ulbrich², HW Fischer², JC Kaiser¹

¹Helmholtz Zentrum München, Institut für Strahlenschutz, Arbeitsgruppe Anthropogene Umweltstrahlung
Ingolstädter Landstraße 1, Neuherberg

²Universität Bremen, IUP-Institut für Umweltphysik, Otto-Hahn-Allee 1, Bremen
christian.staudt@helmholtz-muenchen.de

Einleitung

Nach dem Fukushima-Unfall im März 2011 wurde es deutlich, dass durch radioaktive Kontamination von großen Gebieten Strahlenrisiken für die Wasserversorgung von Städten entstehen können. Kurzzeitig wurden im städtischen Trinkwasser von Tokyo Radionuklidkonzentrationen gemessen, die die gesetzlichen Grenzwerte zur Verwendung von Leitungswasser als Nahrungsmittel für Kleinkinder überschritten (Amano und Kinoshita 2012). Aus diesem Grund sollen in dieser Arbeit für hypothetische Nuklearunfälle die potentiellen Strahlenbelastungen aus 1) der städtischen Trinkwasserversorgung und 2) der Stadtentwässerung mit Hilfe geeigneter Simulationsmodelle identifiziert werden.

Mit Hilfe eines Modells zur Auswaschung von Radionukliden aus dem Boden (Urso *et al.* 2013) wurde für das Einzugsgebiet einer Talsperre der Eintrag von Radionukliden über ein Flusssystem in die Talsperre abgeschätzt. Zur Modellierung der Trinkwasserversorgung wird das freie Programmpaket EPANET der Environmental Protection Agency (EPA) am Beispiel eines generischen Wasserversorgungsnetz mit einem See als Trinkwasserquelle verwendet. In dem Projekt unter Beteiligung des ISS Helmholtz Zentrums München, IUP Universität Bremen und der hanseWasser GmbH soll ein ++Systems (Tandler) Modell zum Eintrag von Radionukliden in das Kanalsystem der Altstadt Bremen durch Regenwasser erstellt und anhand von ⁷Be Messungen verifiziert werden.

Radionuklideintrag in eine Talsperre

Zur Berechnung des Radionuklideintrags in eine Talsperre wurde eine topographische Karte verwendet. Dazu wurden entlang der Höhenlinien der Karte eine Punktemenge zur Erstellung eines Oberflächenmodells in ++Systems in dem Modell implementiert. Anhand dieses Oberflächenmodells wurden anschließend Einzugsgebiete definiert. Die zwei Fließgewässer, die die Talsperre speisen wurden anschließend als Knoten und Haltungen in Form von Bachprofilen eingefügt (Abbildung 1). Die ¹³⁷Cs Schmutzfracht und Zuflussmengen werden am Zusammenfluss der beiden Fließgewässer berechnet.

Der Radionuklideintrag wurde mit der in Urso *et al.* 2013 beschriebenen radioökologischen Schnittstelle im ++Systems Programm simuliert wobei eine Oberflächenkontamination mit einer Aktivität von 3000 kBq/m² ¹³⁷Cs angenommen wurde. Da es sich bei dem Einzugsgebiet größtenteils um Wälder, Wiesen und Äcker handelt, wurde in dem Modell angenommen, dass 99% der Fläche wasserundurchlässig ist.

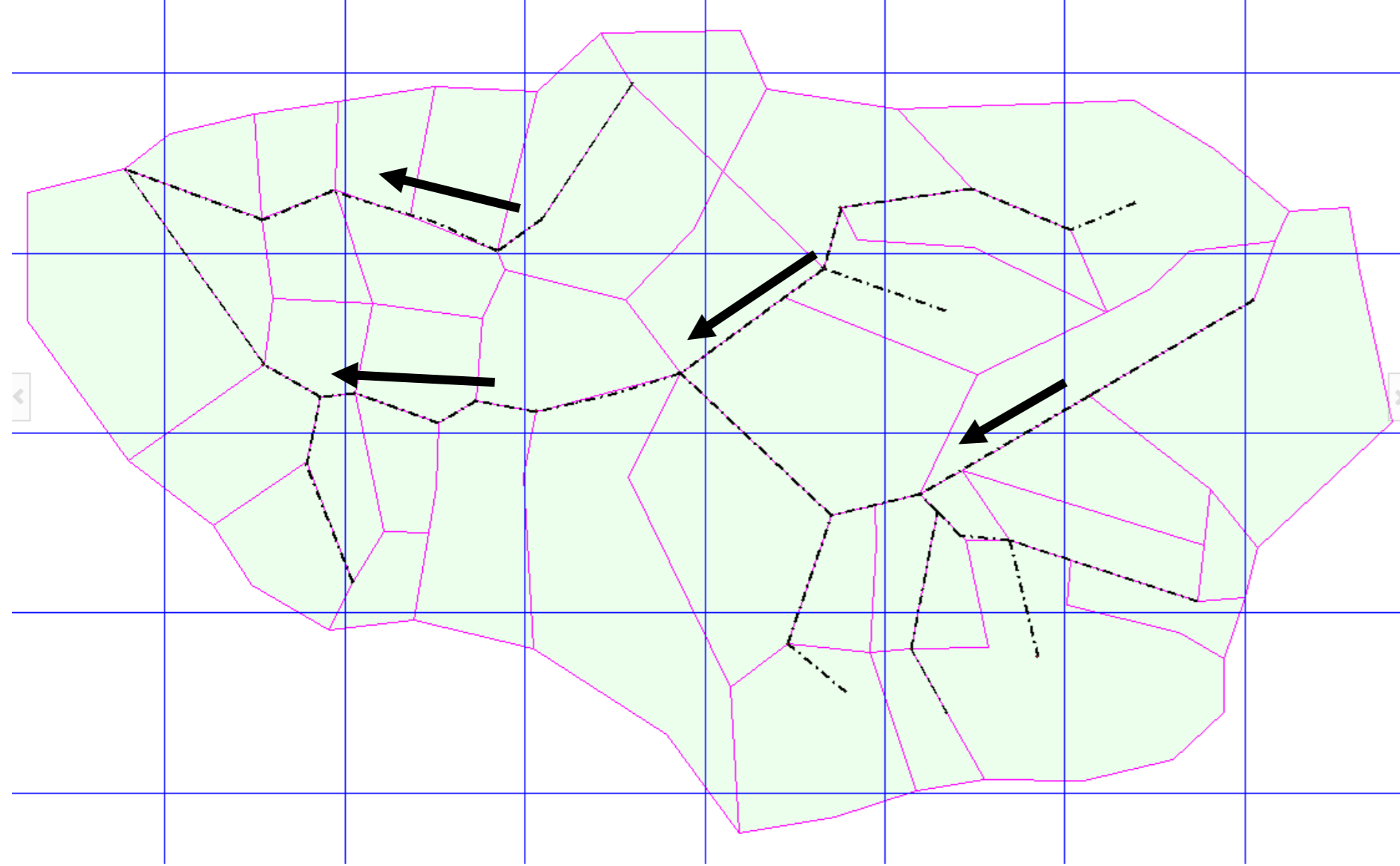


Abbildung 1: In ++Systems implementiertes Modellgebiet. Die Kantenlänge der blauen Gitterkästen ist 1 km. In schwarz sind die beiden Fließgewässer, in lila die entsprechenden Einzugsgebiete markiert. Die schwarzen Pfeile zeigen die Fließrichtung des Wassers an. Die Gesamtlänge der Fließgewässer beträgt 20,5 km, die Gesamtfläche der Einzugsgebiete 2268 ha.

Zur Verifizierung des hydrologischen Modells wurden die bekannte jährliche Zuflussmenge der Talsperre mit Modellergebnissen verglichen. Dazu wurden aus Regendaten des Gebietes (European Climate Assessment & Dataset) die Anzahl der täglichen Regenereignisse im Jahr 2013 ermittelt. Diese Regenereignisse wurden in sieben Gruppen aufgeteilt, denen anschließend in ++Systems vordefinierte Modellregen zugeordnet wurden. Regenereignisse mit weniger als 4 mm pro Tag wurden nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass bei diesen aufgrund von Muldenverlusten und Verdunstung keine relevanten Wassermengen in die Gewässer eingebracht werden. Zählt man die berechneten Durchflussmengen für die modellierten Regenereignisse zusammen, erhält man eine Durchflussmenge von 1,6 Mio. m³ wenn man einen Anteil an durchlässigen Flächen von 99% annimmt. Nimmt man einen Anteil von 99% undurchlässiger Flächen an, um den Großteil des gefallenen Regens in die Fließgewässer einzuleiten, erhält man eine Durchflussmenge von 10,6 Mio. m³. Die bekannte jährliche Zuflussmenge ist etwa 11 Mio. m³.

Dieses Ergebnis legt nahe, dass ein Großteil des Zuflusses in die Fließgewässer nicht über Oberflächenabfluss, sondern über versickertes Wasser geschieht, welches dann als Quelle über undurchlässigen Bodenschichten in die Fließgewässer eingespeist wird. Da ¹³⁷Cs stark in den oberen Bodenschichten zurückgehalten wird, sollte dieses Sickerwasser im Vergleich zum Oberflächenabfluss relativ schwach belastet sein.

Regen	Intensität des Modellregens [mm]	Spanne der täglichen Regenmessungen [mm]	Anzahl der Regenereignisse innerhalb der Spanne	Zuflussmenge Pro Regen [m ³]	Gesamtzuflussmenge [m ³]	Zuflussmenge Pro Regen [m ³]	Gesamtzuflussmenge [m ³]
				99% durchlässige Fläche		99% undurchlässige Fläche	
1	5,8	4-8	40	925	37012	78352	3134080
2	12,5	8-14	15	16218	243274	228104	3421564
3	16,3	15-18	4	58584	234337	312090	1248359
4	22,3	19-25	3	127895	383686	443267	1329801
5	28	26-31	2	209420	418841	478929	957859
6	34,6	32-xx	1	312551	312551	517761	517761
					1629701		10609423

Im nächsten Schritt der Arbeit soll der Radionuklideintrag mit der in Urso *et al.* 2013 beschriebenen radioökologischen Schnittstelle im ++Systems Programm simuliert werden, wobei eine Oberflächenkontamination mit einer Aktivität von 3000 kBq/m² ¹³⁷Cs angenommen wird. Da es sich bei dem Einzugsgebiet größtenteils um Wälder, Wiesen und Äcker handelt, soll vor diese Berechnung angenommen werden, dass 99% der Fläche wasserundurchlässig ist.

Danksagung

Diese Arbeit wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Verbundprojekts TransAqua: Transfer von Radionukliden in aquatischen Ökosystemen, Teilprojekt A, Förderkennzeichen 02NUK030A, gefördert. Wir möchten den Kollegen der hanseWasser Bremen GmbH, vor allem Herrn Gatke und Frau Wehrhahn für die Bereitstellung von Kanalisationsplänen und die Durchführung von Probenentnahmen für Messungen danken.

Literatur

Amano, H., Akiyama, M., Chunlei, B., Kawamura, T., Kishimoto, T., T. Kuroda, Muroi, T., Odaira, T., Ohta, Y., Takeda, K., *et al.* (2012). Radiation measurements in the Chiba Metropolitan Area and radiological aspects of fallout from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plants accident. *Journal of Environmental Radioactivity* 111, 42-52.

Urso, L., Astrup, P., Helle, K., Raskob, W., Rojas-Palma, C., and Kaiser, J. (2013). Improving evaluation criteria for monitoring networks of weak radioactive plumes after nuclear emergencies. *Environmental Modelling & Software* 38, 108-116.

Eintrag von Radionukliden aus Niederschlag in ein Kanalnetz

Zur Verifizierung eines Modells zum Eintrag von Radionukliden in ein Kanalnetz wurde ein Kanalmodell der Altstadt Bremen in ++Systems erstellt (Abbildung 2). Die Daten für das Kanalsystem wurden von der hanseWasser Bremen GmbH zur Verfügung gestellt. Nach Import des Modells in die ++Systems Software wurden die berechneten Durchflussmengen des ++Systems Modells mit den der hanseWasser Bremen vorliegenden Modelldaten verglichen. Das ++Systems Modell wurde so angepasst, dass die Durchflussmengen mit denen von hanseWasser Bremen übereinstimmen.

In dem Modell können nun mit Hilfe des ++Systems Modells an verschiedenen Stellen des Kanalnetzes die Konzentrationen von Radionukliden im Abwasser berechnet werden. Im vorliegenden Fall wurden die Konzentrationen von ⁷Be im Abwasser berechnet. Das ⁷Be gelangt dabei über Regenwasser in das Kanalsystem.

Um die Modellergebnisse zu verifizieren wurden von hanseWasser Bremen vom 30.06.14 bis zum 03.07.14 und vom 20.10.14 bis zum 23.10.14 Probenahmen an drei Stellen des Kanalsystems durchgeführt. Dabei wurden mit automatischen Probennehmern im 6 Stunden Abstand 12 Proben entnommen. Diese Proben wurden anschließend am Institut für Umweltphysik der Universität Bremen auf ⁷Be Aktivität untersucht. Zusätzlich wurde die ⁷Be Aktivität im Regenwasser im entsprechenden Zeitraum vom IUP gemessen. Die gemessenen Regenmengen und ⁷Be Aktivitäten in Messzeiträumen wurden in das Modell eingetragen um theoretische ⁷Be Aktivitäten im Abwasser zu berechnen.

Bedauerlicherweise waren die gemessenen ⁷Be Aktivitäten in den entnommenen Proben unterhalb der Nachweisgrenze, da die Regenmengen zu den Messzeitpunkten geringer waren als vorhergesagt. Allerdings berechnete das Modell ebenfalls ⁷Be Aktivitäten unterhalb der Nachweisgrenze für die entsprechenden Regenereignisse (Abbildung 3). Wenn möglich sollen 2015 weitere Probenahmen durchgeführt werden.

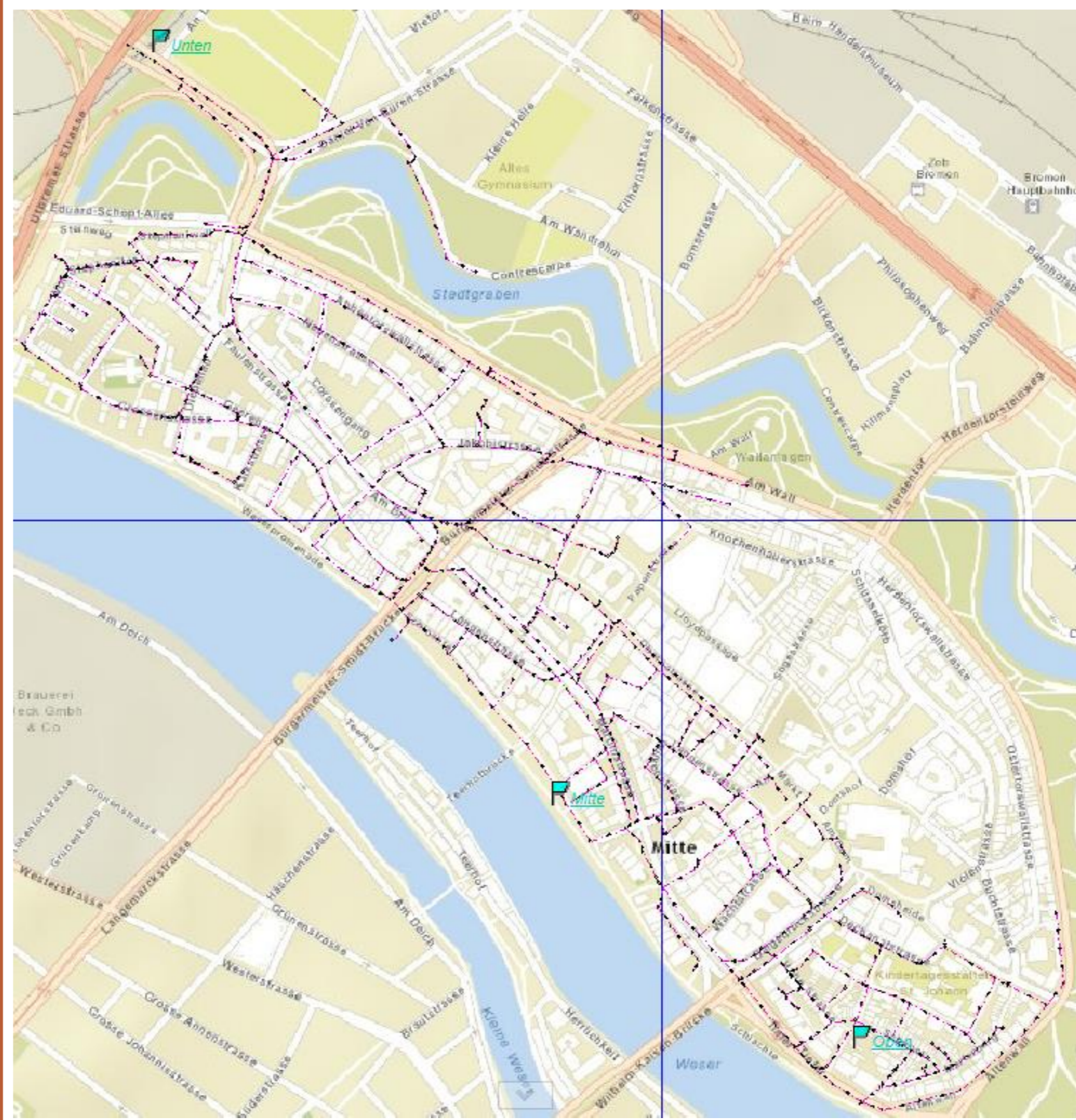


Abbildung 2: ++Systems Modell des Kanalnetzes in der Altstadt Bremen. Die Kantenlänge der blauen Gitterkästen ist 1 km.

Kanalhaltungen sind in lila, Knoten in schwarz markiert. An drei Stellen im Kanalnetz wurden Proben entnommen. Diese Stellen sind auf der Karte mit blauen Fahnen (Oben, Mitte und Unten) markiert. Der Knoten, der mit Unten markiert ist, ist der Auslaufpunkt aus dem modellierten System.

Jeder Kanalhaltung sind eine Einwohnerzahl und Einzugsgebiete zugeordnet. Über die Einwohnerzahl wird eine konstante Menge Abwasser in die Kanalisation eingebracht. Dieses häusliche Abwasser ist im Modell nicht mit ⁷Be belastet, da Bremen mit Wasser aus Grundwasserwerken versorgt wird. Über die Einzugsgebiete wird die Menge des während eines Regens in den Kanal einfließenden Regenwassers berechnet. Dieses Regenwasser hat eine definierte ⁷Be Konzentration, die durch Messungen ermittelt wurde.

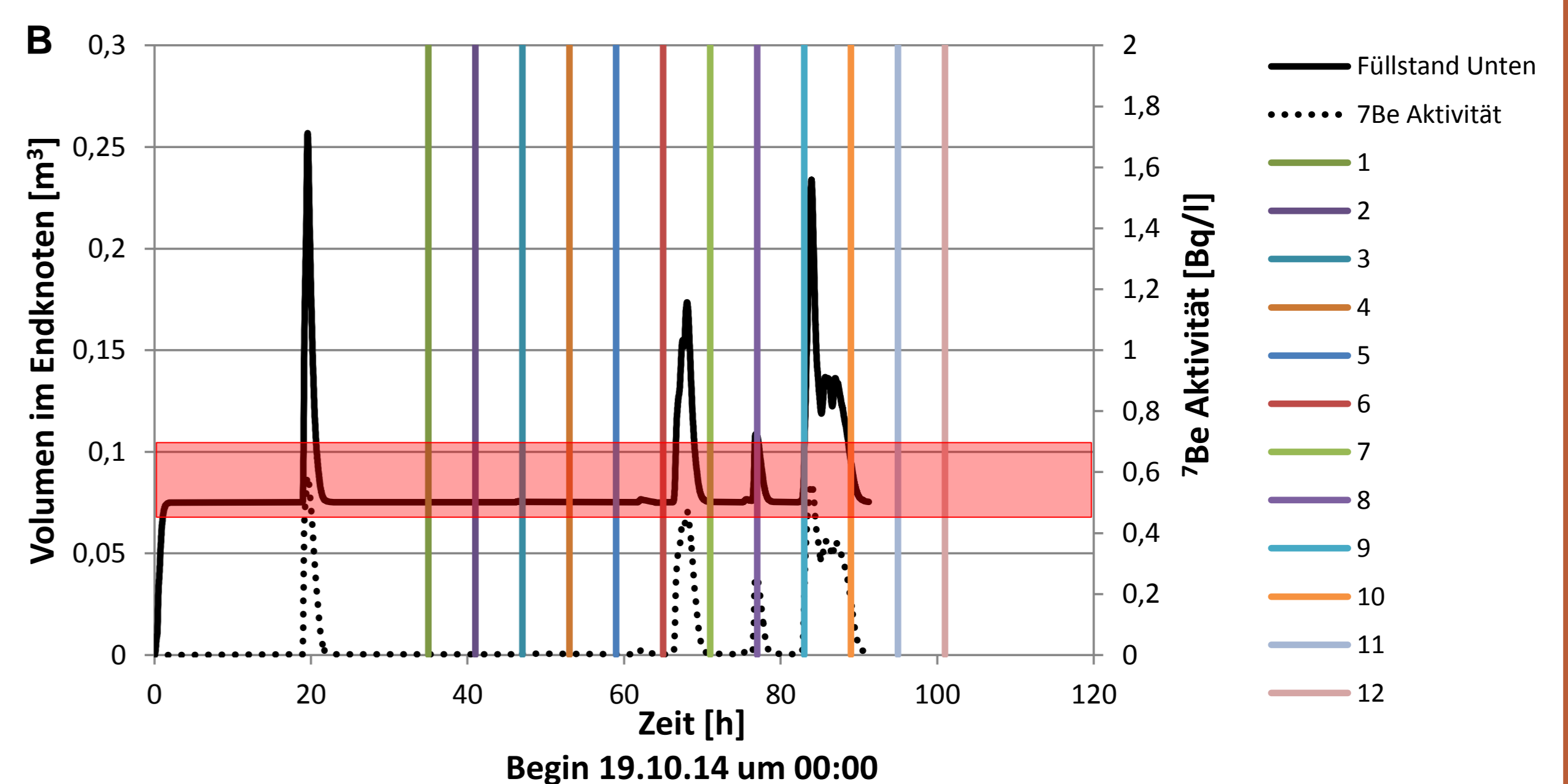
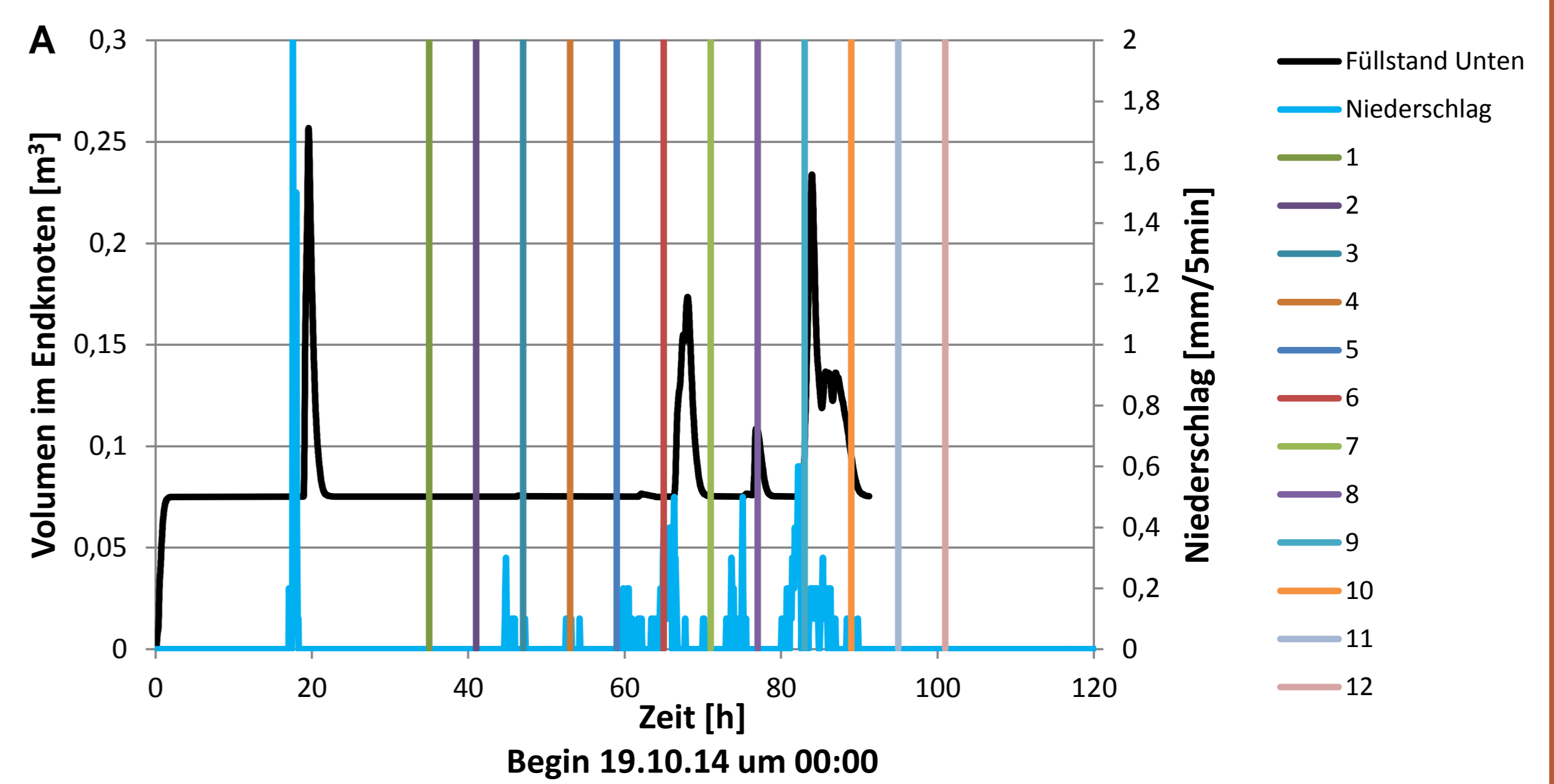


Abbildung 3: Modellergebnisse zu dem Messzeitraum vom 19.10.14 bis 21.10.14 für den Auslaufknoten (Unten). A) zeigt die gefallene Regenmenge und die im unteren Kanalnetzen berechnete Durchflussmenge. B) zeigt die berechnete Durchflussmenge und die theoretisch berechnete ⁷Be Aktivität. Die ⁷Be Aktivität im Regen wurde bei 0,83 Bq/l festgesetzt. Der Rote Kasten markiert die Nachweisgrenze für ⁷Be im Abwasser. Diese Aktivität wurde zwischen dem 21.10.14 bis 22.10.14 im Regenwasser gemessen. Der Beginn der einzelnen Chargen der Messungen im Kanal sind mit den Linien 1-12 markiert.