



Université de Neuchâtel

Centre d'hydrogéologie
et géothermie

Statistische Abschätzung des voraussichtlichen Flächenbedarfs der Zuströmbereiche

Roman Lindegger, Robin Volland und Daniel Hunkeler

Zentrum für Hydrogeologie und Geothermie (CHYN)
Universität Neuenburg

2023

Kurzfassung

Das Zentrum für Hydrogeologie und Geothermie (CHYN) der Universität Neuenburg erarbeitete im Auftrag des Bundesamts für Umwelt ein automatisiertes Verfahren, um anhand der verfügbaren Datengrundlage schweizweit Flächen bei Grundwasserfassungen (inkl. Quelfassungen) zu berechnen, welche den wahrscheinlichen Fassungseinzugsgebieten entsprechen könnten. Das Fassungseinzugsgebiet umfasst das Gebiet, aus welchem das Grundwasser einer Fassung stammt. Falls aufgrund gesetzlich noch festzulegender Kriterien der Zuströmbereich einer Grundwasserfassung bezeichnet werden muss, so kann dieser kleiner oder maximal gleich gross sein wie das Fassungseinzugsgebiet. In diesem Verfahren wird das Fassungseinzugsgebiet als Näherung an den Zuströmbereich verwendet. Die Ausgabe dieses Verfahrens wurde verwendet, um die potentiell betroffenen Ackerbau- und Spezialkulturflächen abzuschätzen, welche im Bereich eines Fassungseinzugsgebietes als Näherung zum «Zuströmbereich» einer Trinkwasserfassung zu liegen kommen könnten. Dabei werden aber noch keine Kriterien für die Pflicht zur Bezeichnung eines Zuströmbereichs angewendet. Das heisst, dass davon ausgegangen wird, dass für alle berücksichtigten Fassungen ein Zuströmbereich bezeichnet wird, welcher die maximale Grösse des Fassungseinzugsgebietes umfasst.

Die verwendete Datengrundlage stützt sich auf folgende schweizweit verfügbare Datensätze:

- Geologische Generalkarte der Schweiz 1:200'000
- Digitales Höhenmodell der Schweiz (25 m x 25 m)
- Kantonale Gewässerschutzkarten
- Gebietsspezifische Grundwasserneubildungskarte der Schweiz (CHYN im Auftrag des BAFU, in Bearbeitung)
- Datensatz zu Förder- und Schüttungsmengen von Trinkwasserfassungen, zur Verfügung gestellt vom BAFU
- Wasserstatistik des SVGW
- Interne Datenbank zu Karstgebieten des SSKA

Bei der Berechnung wurde zwischen Quell-, Karst- und Brunnenfassungen unterschieden. Für Brunnenfassungen wurde die Fläche anhand einer analytischen Lösung zur Berechnung der Strömungsumhüllenden ermittelt. Für Quelfassungen wurde ein numerisches Verfahren mittels eines Fast-marching Algorithmus entwickelt. Die Berechnung wurde für insgesamt 12'396 Fassungen durchgeführt, wobei innerhalb der Tal- und Hügelzone nach landwirtschaftlichen Zonenverordnung die Fassungen mit rechtskräftigen oder provisorischen Grundwasserschutzzonen und ausserhalb dieser Zonen nur Fassungen mit rechtskräftigen Grundwasserschutzzonen berücksichtigt sind. Von den berücksichtigten Fassungen liegen etwa 50% in der Tal- und Hügelzone gemäss landwirtschaftlicher Zonenverordnung.

Würde man für alle Trinkwasserfassungen in der Schweiz einen Zuströmbereich in der Grösse des Fassungseinzugsgebietes definieren, in dem Acker- und Sonderkulturen betroffen sein könnten, so ergäbe sich, dass etwa 14 bis 16 % dieser Agrarflächen darin zu liegen kommen könnten. In Flächenmass ausgedrückt könnte dies, insofern bei jeder Fassung ein Zuströmbereich in der Grösse des Fassungseinzugsgebietes bezeichnet werden würde, etwa mindestens 56'000 bis maximal 65'000 ha Ackerbau- und Spezialkulturflächen betreffen. Bei etwa einem Viertel der Fassungseinzugsgebiete beträgt der Anteil Ackerbau- und Spezialkulturflächen im modellierten Fassungseinzugsgebiet mehr als 20% und bei etwa 10% der Fassungseinzugsgebiete beträgt dieser Anteil mehr als 50%.

Zitierung:

CHYN 2023. Statistische Abschätzung des voraussichtlichen Flächenbedarfs der Zuströmbereiche. 10p.

Inhaltsverzeichnis

A	Einleitung	3
B	Verwendete Datengrundlage	4
B.1	<i>Standorte der Fassungen und Fassungstyp</i>	<i>4</i>
B.1.1	Fassungen in Lockergesteinen	4
B.1.2	Karstgebiete	4
B.1.3	Fassungen in Kluftgebieten	4
B.2	Fördermengen	4
C	Methodologie	5
C.1	Quellgebiete	5
C.2	Brunnenfassungen	6
C.3	Karstgebiete	6
C.4	Fassungen in Kluftgebieten	6
C.5	Berechnung der betroffenen Fläche an Ackerbau- und Spezialkulturen	6
C.5.1	Plausibilisierung der Annahmen zur Schüttungsmenge	7
D	Resultate	7
D.1	Validierung des Modells	10
E	Diskussion der Methode und Resultate	10

A Einleitung

Das Zentrum für Hydrogeologie und Geothermie (CHYN) der Universität Neuenburg wurde vom Bundesamt für Umwelt (BAFU), Sektion Gewässerschutz beauftragt anhand der verfügbaren Datengrundlage, eine schweizweite Abschätzung Ackerbau- und Spezialkulturflächen vorzunehmen, welche künftig in einem Zuströmbereich liegen könnten. Als Näherung für den Zuströmbereich wurde das Fassungseinzugsgebiet verwendet. Da noch nicht klar ist, nach welchen gesetzlichen Kriterien künftig ein Zuströmbereich bezeichnet werden muss, wurden alle Grundwasserfassungen im öffentlichen Interesse berücksichtigt. Hierzu wurde ein statistisches Modell erstellt, welches auf näherungsweise Annahmen zu den Standorten der Fassungen sowie Schätzungen zu den Förder- resp. Schüttungsmengen beruht.

In der Schweiz werden rund 80% des Trinkwassers aus Grundwasser gewonnen. Somit ist das Grundwasser die wichtigste Ressource zur Trinkwasserversorgung. Das Grundwasser umfasst das Wasser, welches Hohlräume im Untergrund zusammenhängend ausfüllt und diese durchströmt. Das zur Trinkwassergewinnung gefasste oder geförderte Grundwasser wird laufend durch einsickerndes Niederschlagswasser oder einsickernde Flüsse oder Bäche erneuert. Dieser Prozess wird Grundwasserneubildung genannt. Der geologische Untergrund, welcher ein Grundwasservorkommen beherbergt, bestimmt den Grundwasserleiter-Typ. Es wird zwischen folgenden drei Typen unterschieden:

- Lockergesteins-Grundwasserleiter

Die Lockergesteins-Grundwasserleiter (Kies, Sand und Schotter) liegen hauptsächlich im Mittelland und den Alpentälern vor. Diese Ablagerungen wurden in den (Zwischen-)Eiszeiten von Eis und Gletscherschmelzflüssen verfrachtet und abgelagert. Sie bilden den mit Abstand wichtigsten Grundwasserleiter-Typ für die Trinkwassergewinnung in der Schweiz. Das Grundwasser strömt sehr langsam durch die Lockergesteine (wenige Centimeter bis mehrere Zehnermeter pro Tag).

- Kluft-Grundwasserleiter

Eine Kluft ist ein offener Riss im Festgestein (Granit, Gneis, etc.). Dieser Grundwasserleiter-Typ kommt hauptsächlich in alpinen Gebieten vor. Die tektonischen Kräfte bei der Gebirgsbildung (Orogenese) führten zu Rissbildung (Klüfte) in den Gesteinen. Dieser Grundwasserleiter-Typ wird in der Schweiz nur an wenigen Standorten für die Trinkwassergewinnung verwendet.

- Karst-Grundwasserleiter

Unter Karst versteht man durch Korrosion gebildete Hohlräume in Kalkstein. In Karstgebieten kommen unterirdische Höhlen, Bäche und sogar stellenweise Seen vor. In der Schweiz liegen die grössten Karstgebiete im Juragebirge und in den kalkigen Voralpen. Im Speziellen im Juragebirge sind die Karst-Grundwasserleiter von grosser Bedeutung für die Trinkwasserversorgung.

B Verwendete Datengrundlage

B.1 Standorte der Fassungen und Fassungstyp

In der Schweiz existieren keine einheitlichen, digital verfügbaren Datensätze zu Fassungsstandorten, Fassungstyp und assoziiertem Grundwasserleiter-Typ. Die kantonalen Geodaten sind von unterschiedlicher Qualität und lassen keine zuverlässige Bestimmung der Anzahl Fassungen oder Fassungsgebiete in der Schweiz zu. Daher wurden für die folgenden Betrachtungen verschiedene Näherungen anhand der in den kantonalen Geoportalen aufgeschalteten Grundwasserschutzzonen gemacht.

Die Lokalisierung und Typisierung der einzelnen Grundwasser- und Quelfassungen wurden auf Basis der Grundwasserschutzzonen vorgenommen. Hierbei wurden innerhalb der Tal- und Hügelzone nach landwirtschaftlicher Zonenverordnung sämtliche Grundwasserschutzzonen und ausserhalb dieser Zonen nur die rechtskräftig ausgeschiedenen Grundwasserschutzzonen berücksichtigt. Weiter wurden Duplikate in den Geodaten herausgefiltert. Es wurde angenommen, dass die somit erhaltenen S1 Zonen den zur Trinkwasserversorgung verwendeten Fassungen entsprechen. Schlussendlich wurden auf diese Weise 12'396 Fassungsstandorte in das Modell integriert.

B.1.1 Fassungen in Lockergesteinen

Die Fassungsstandorte ausserhalb der Karstgebiete wurden in Quellgebiete und Brunnenfassungen unterteilt. Fassungsstandorte, welche in den Bereichen, wo Alluvionen und fluvioglaziale Schotterablagerungen vorliegen, wurden als Brunnenfassungen (vertikale oder horizontale Filterbrunnen) in das Verfahren integriert. Die restlichen Fassungsstandorte, welche weder in Karstgebieten, noch als Brunnenfassung identifiziert wurden, wurden als Quelfassungen erfasst.

B.1.2 Karstgebiete

Die Identifizierung von Standorten, welche sich in Karstgebieten befinden, wurde in Zusammenarbeit mit dem Schweizerischen Institut für Speläologie und Karstforschung (SISKA) in La Chaux-de-Fonds durchgeführt. Sämtliche Abschätzungen zu den Flächen der Fassungseinzugsgebiete in den Karstgebieten wurden vom SISKA durchgeführt. Diese Abschätzung stützt sich auf die interne Datenbank des Instituts und das Expertenwissen der Mitarbeitenden des SISKA.

B.1.3 Fassungen in Kluftgebieten

Die Fassungen in den Kluftgebieten wurden mittels der für Quelfassungen entwickelten Methode berechnet. Da in Kluftgebieten praktisch keine Ackerbau- und Spezialkulturen vorhanden sind, wurde die Berechnungsmethode für diese Gebiete nicht spezifisch weiter verfeinert.

B.2 Fördermengen

Es liegen keine vollständigen und verlässlichen, schweizweiten Daten zu den Förder- und Schüttungsmengen vor. Diese Information ist von grundlegender Bedeutung für eine verlässliche Abschätzung des voraussichtlichen Flächenbedarfs eines Fassungseinzugsgebietes einer Fassung. Diese Information ist jedoch nur lokal, beispielweise bei den Brunnenmeisterinnen oder Brunnenmeistern verfügbar.

Das BAFU stellte einen Datensatz zur Verfügung, worin für 570 der berücksichtigten Quellgebiete und für 295 der berücksichtigten Brunnenfassungen eine Förder- resp. Schüttungsmenge verzeichnet ist. Weiter stellte der Schweizerische Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW) die

im Rahmen ihrer Wasserstatistik erhobenen Daten zur Verfügung. Dieser Datensatz enthält keine georeferenzierte Information auf Ebene Fassung, sondern beschränkt sich auf Erhebungen auf Ebene der Wasserversorgungen.

Um die Daten der Erhebung des SVGW ins Verfahren zu integrieren, wurden diese folgendermassen aufbereitet:

- Es wurden nur Daten von Wasserversorgungen integriert, deren Verwaltungsstandort in der gleichnamigen Versorgungsgemeinde liegen. Weiter wurden nur Gemeinden mit einem Selbstversorgungsgrad von über 90% berücksichtigt.
- Der Datensatz zu Förder- resp. Fassungsmengen ist nach Quell- und Grundwasser aufgeteilt: Diese Daten wurden georeferenziert und hierdurch die jährlichen Fördermengen einer Wasserversorgung der Standortgemeinde zugeordnet und auf die sich darin befindenden Fassungsstandorte aufgeteilt.

Es wurden die Erhebungen des SVGW aus dem Jahr 2020 verwendet. Hiermit wurde für insgesamt 2'034 der berücksichtigten Quelfassungen eine Schüttungs- resp. Fördermenge anhand dieser Daten zugeordnet. Unrealistisch hohe Angaben oder unrealistisch tiefe Angaben bei Brunnenfassungen wurden herausgefiltert.

Für die restlichen Fassungen wurden zufällige Werte anhand der statistischen Verteilungen der Schüttungs- und Fördermengen der Datensätze des SVGW und BAFU mittels Umkehrung der Verteilungsfunktion generiert, sodass das Histogramm der generierten Schüttungs- resp. Fördermengen, demjenigen der Eingangsdaten entspricht. Die somit generierten Schüttungs- resp. Fördermengen wurden zufällig auf diese Fassungsstandorte verteilt.

Aus diesem Grund können sich lokal abweichende Fördermengen ergeben. Beispielsweise kann dies dazu führen, dass mittels der Automatisierung und zufälligen Schüttungs- und Fördermengenverteilung an einem Standort, wo die Grundwasserneubildungsrate gering ist, eine bedeutende Schüttung zugeordnet werden kann, was schliesslich lokal zu einer Überschätzung der voraussichtlichen Fläche führt. Analog gilt das Gleiche für Standorte mit grosser Grundwasserneubildungsrate, wo Flächen dadurch zu klein bemessen werden. Zudem befinden sich Förderbrunnen in einigen Gebieten in der Nähe voneinander, was in der Realität zur Folge haben kann, dass sich diese gegenseitig hydrodynamisch beeinflussen. Diese Superpositionseffekte der Förderbrunnen konnten im Modell nicht berücksichtigt werden. Ohne ein regionales numerisches Strömungsmodell, können sich überlagernde Fassungseinzugsgebiete von Förderbrunnen nicht zufriedenstellend berücksichtigt werden.

C Methodologie

Die Schweiz kann in drei verschiedene hydrogeologische Einheiten unterteilt werden, welche sich in der Hydrodynamik der Grundwasserströme unterscheiden. Dies sind: Karstgebiete, Lockergesteins- und Kluftgrundwasserleiter. Weiter wird Grundwasser mittels zwei Fassungsstypen gefasst: Quelfassungen und Brunnenfassungen (vertikale oder horizontale Filterbrunnen). Entsprechend wird für die jeweilige hydrogeologische Situation ein angepasstes Verfahren benötigt, um Berechnungen durchzuführen. Nachfolgend werden die angewandten Methoden beschrieben.

C.1 Quellgebiete

In den im Modell berücksichtigten Quellgebieten wurden alle Fassungen (S1 Zonen) innerhalb einer S2 Zone zusammengefasst. Die angenommenen Schüttungsmengen der Fassungen innerhalb derselben S2 Zone wurden aufsummiert und als Schüttung des Fassungsgebiets interpretiert.

Die Berechnung der Fassungseinzugsgebiete von Quellfassungen beruht auf einer einfachen Wasserbilanz, wobei die Fläche, wo das Grundwasser neugebildet wird mit der angenommenen Schüttung übereinstimmen muss. Im Mittelland wurden als Eingangsdaten ein schweizweites Grundwasserneubildungsmodell (CHYN 2022, in Bearbeitung) verwendet, das eine Rasterauflösung von 100 m x 100 m aufweist. In alpinen Gebieten wurde eine grobe gebietsspezifische Annahme basierend auf einem Modell nach dem Ansatz von Thornthwaite-Mather mit einer Rasterauflösung von 250 m x 250 m (CHYN 2022, in Bearbeitung) verwendet. Diese modellierten Neubildungsraten wurden in das Bilanzierungsmodell integriert und schliesslich mit dem digitalen Höhenmodell (Rasterauflösung 25 m x 25 m) interpoliert, was im Modell erlaubte gebietsspezifisch modellierte Grundwasserneubildungsraten zu berücksichtigen. Folgende Herangehensweise wurde für die Berechnung der Quellgebiete gewählt:

Falls die Grundwasserneubildung in den Grundwasserschutzzonen genügt, um die am Standort angenommene Quellschüttung zu bilanzieren, wurden die Schutzzonen S1, S2 und S3 als zusammengeführte Flächen berücksichtigt. Hiermit wurde sichergestellt, dass die modellierten Fassungseinzugsgebiete nicht kleiner als die Gesamtfläche der Grundwasserschutzzonen ausfallen können. Falls die Bilanzierung ein Defizit aufwies, wurde das Fassungseinzugsgebiet ausgehend von den Schutzzonen mittels eines Fast-marching Algorithmus erweitert und die Fläche anschliessend mit der Schüttungsmenge bilanziert.

C.2 Brunnenfassungen

Die Flächen der Brunnenfassungen wurden anhand einer analytischen Funktion berechnet. Die Lösung beruht auf der Berechnung der stationären Strömungsumhüllenden eines gespannten, homogenen Grundwasserleiters mit uniformer Grundwasserneubildung (Bear und Jacob 1965). Die erhaltene Form kann in der Theorie unendlich in die Länge gezogen werden. Als Grenze wurde hierzu ein lineares Verhältnis zur Bilanzierung der Fördermenge mit dem modellierten Fassungseinzugsgebiet verwendet, wobei 1'000 L/min der Fläche von 1 km² entsprechen müssen. Diese Annahme beruht auf im Schweizer Mittelland typischen mittleren Grundwasserneubildungsraten. Die hiermit erhaltenen Polygone wurden entlang eines auf 250 m x 250 m ausgemittelten regionalen topographischen Gradienten ausgerichtet. Dort, wo die erhaltenen Polygone die Flüsse (grösser Ordnung 3, Flussordnung BAFU) oder einen See überlagern, wurden diese als hydraulische Randbedingung interpretiert.

C.3 Karstgebiete

Die Bestimmung der Gebiete in Karstgebieten beruht, wo verfügbar, auf regionalen geologischen Modellen. Hieraus wurden mittels der KARSYS-Methode die Karsteinzugsgebiete abgeleitet. Bei sämtlichen kleineren, vermutlich oberflächlichen Fassungen, welche innerhalb eines grösseren Einzugsgebiets vorkommen, wurde jeweils das grössere Einzugsgebiet berücksichtigt.

Wo keine regionalen geologischen Modelle vorliegen, wurden die Grundwasserschutzzonen S1, S2 und S3 als Fassungseinzugsgebiet, bzw. als «wahrscheinlicher» Zuströmbereich betrachtet. Die Bestimmung dieser Fassungseinzugsgebiete im Karst erfolgte unabhängig von den Förder- resp. Fassungsmengen.

C.4 Fassungen in Kluftgebieten

In Kluftgebieten werden fast ausschliesslich Quellfassungen zur Trinkwassergewinnung genutzt. Die Flächen für diese Fassungen wurden mittels des oben beschriebenen Fast-Marching Algorithmus berechnet.

C.5 Berechnung der betroffenen Fläche an Ackerbau- und Spezialkulturen

Die Auswahl der zu berücksichtigenden Ackerbau- und Spezialkulturflächen wurde vom BAFU vorgegeben. Zur Abschätzung der voraussichtlich betroffenen Ackerbau- und Spezialkulturflächen wurden sämtliche Flächen der modellierten Fassungseinzugsgebiete zusammengeführt und mit den Ackerbau- und Spezialkulturflächen verschnitten. Damit das Resultat und die Sensibilität der

angewandten Methode beurteilt werden konnte, wurden insgesamt 10 zufällig unterschiedliche Simulationen für die Brunnenfassungen und 7 zufällig unterschiedliche Simulationen für die Quelfassungen durchgeführt. Mit zufälligen Kombinationen der zufällig unterschiedlichen Modellresultate wurde jeweils der Flächenanteil betroffener Ackerbau- und Spezialkulturen berechnet.

C.5.1 Plausibilisierung der Annahmen zur Schüttungsmenge

Der SVGW geht schweizweit (Hochrechnung 2020) von insgesamt von etwa 350 Mio. m³ gefasstem Quellwasser und etwa 380 Mio. m³ gefördertem Grundwasser im Jahr 2020 aus.

Im Modell wurde für die Quelfassungen abzüglich der Karstquellen ein Total von 340 Mio. m³ berücksichtigt. Die angenommene totale Fassungsmenge der berücksichtigten Quelfassungen liegt demnach in einem ähnlichen Bereich. Mit den Karstquellen würde die berücksichtigte Fördermenge über dem SVGW Wert liegen. Die verwendete Gesamtfördermenge entspricht einer konservativen Annahme.

Bei den Brunnenfassungen beträgt die schweizweite Fördermenge gemäss Hochrechnung 2020 des SVGW etwa 380 Mio. m³. Die Summe der Fördermengen der Brunnenfassungen im Modell beträgt 1'070 Mio. m³. Der Wert liegt deutlich über der Schätzung des SVGW. Hierbei sollte jedoch berücksichtigt werden, dass die Angaben des SVGW auf den tatsächlich geförderten Mengen beruhen und nicht konzessionierte Förderleistungen einer Brunnenfassung repräsentieren. Ausgehend davon, dass die allermeisten Pumpwerke intermittierend fördern (Annahme: 8h pro Tag), kommt die Schätzung der totalen Fördermenge im Modell wiederum in einem ähnlichen Bereich zu liegen. Die Annahmen bezüglich der Fördermengen der Brunnenfassungen sind konservativ gewählt.

D Resultate

Zusammenfassend wurden die 12'396 Fassungen in

- 2'945 Fassungen in Karstgebieten,
- 8'093 Quelfassungen
- und 1'358 Grundwasserfassungen mittels Filterbrunnen typisiert.

Fassungen, welche sich innerhalb der gleichen Grundwasserschutzzone S2 befinden, wurden nach oben beschriebenen Verfahren zu einem Betrachtungsraum zusammengefasst. Für sämtliche Fassungsgebiete resp. Betrachtungsräume wurde ein Fassungseinzugsgebiet mit den oben beschriebenen Methoden berechnet. Mittels dieser Methoden wurden demnach von den total 6'220 Fassungsgebieten resp. Betrachtungsräume:

- 3'812 Fassungsgebiete (gruppierte Quelfassungen)
- 1'358 Grundwasserfassungen (Filterbrunnen)
- 1'050 Karstfassungsgebiete

berechnet.

Ausgehend von diesen 6'220 berechneten Fassungseinzugsgebieten, sind es 3'048 (49%) dieser Bereiche, welche überhaupt Ackerbau- und Spezialkulturflächen beinhalten.

Die Abbildung 1 zeigt den normierten prozentualen Anteil der betroffenen Fassungseinzugsgebiete als Funktion des Schwellenwerts bezüglich des Flächenanteils Ackerbau-/Spezialkulturen innerhalb eines modellierten Fassungseinzugsgebietes.

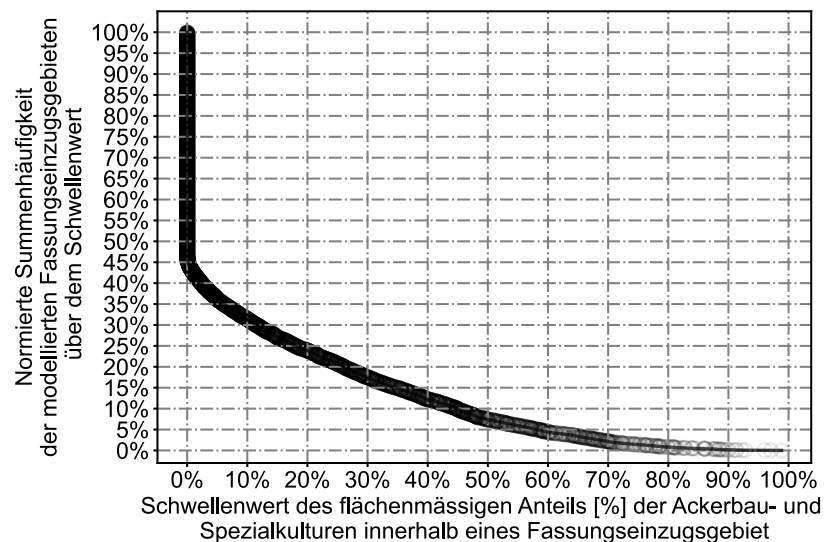


Abbildung 1: Prozentualer Anteil der modellierten Fassungseinzugsgebiete, welche über einem bestimmten Schwellenwert des flächenmässigen Anteils der Ackerbau- und Spezialkulturen liegt

Die Abbildung 2 zeigt auf, wie sich die Grösse der Fläche [ha] der betroffenen Ackerbau- und Spezialkulturen in Abhängigkeit des flächenmässigen Anteils [%] dieser Kulturen in den modellierten Fassungseinzugsgebieten verhält.

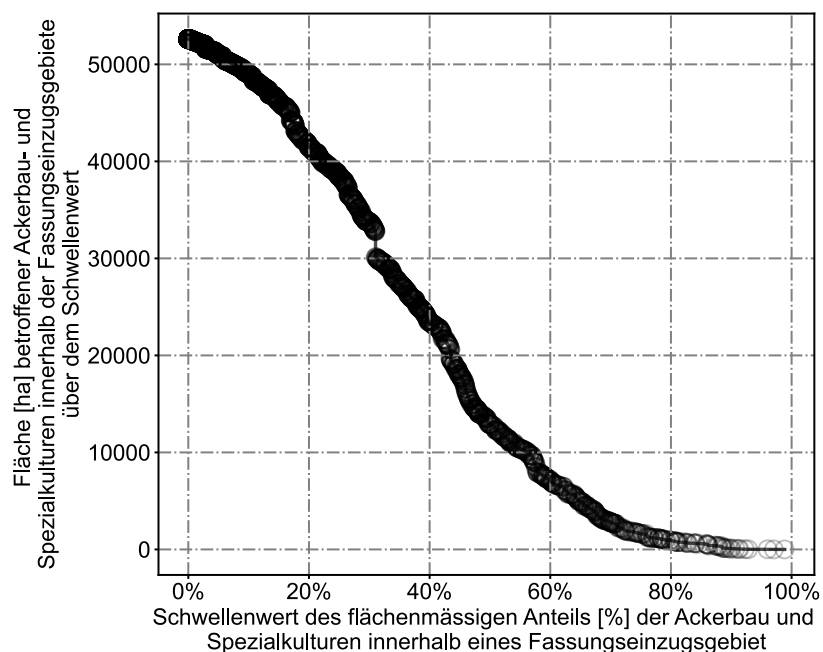


Abbildung 2: Auswertung der betroffenen Ackerbau- und Spezialkulturflächen in den modellierten Fassungseinzugsgebieten

Die Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Häufigkeit der jeweiligen prozentualen Flächenanteile an Ackerbau- und Spezialkulturflächen in den modellierten «Fassungseinzugsgebieten, welche diese Flächen überhaupt beinhalten. Von den insgesamt 6'220 modellierten Fassungsgebieten, die alle 12'396 Fassungen umfassen, sind es nur 49%, welche Ackerbau- oder Spezialkulturflächen berühren. Die Verteilung der Abbildung 3 zeigt demnach 3'048 Fassungseinzugsgebiete.

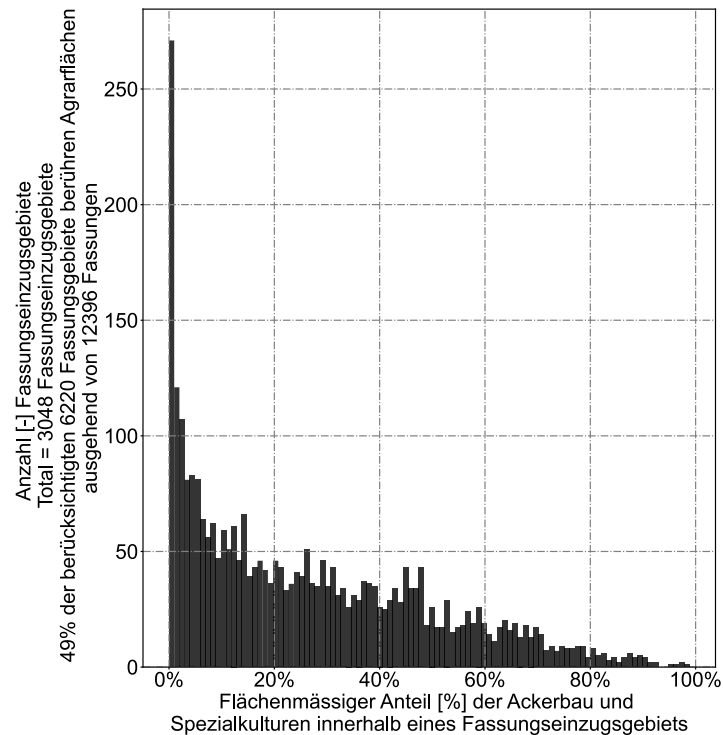


Abbildung 3: Verteilung der Häufigkeit der flächenmässigen Anteile der Ackerbau- und Spezialkulturflächen innerhalb der modellierten Fassungseinzugsgebiete, welche diese überhaupt beinhalten

Die Abbildung 4 zeigt den Boxplot mit dem minimalen und maximalen Wert sowie das obere und untere Quartil der in Abbildung 3 gezeigten Verteilung. Der Median, das 90., 80. und 75. Perzentil sowie der Mittelwert sind angegeben.

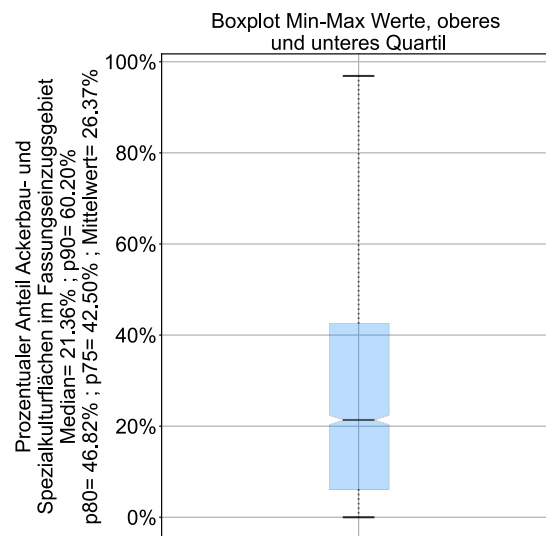


Abbildung 4: Boxplot der prozentualen Anteil Ackerbau- und Spezialkulturflächen in den modellierten Fassungseinzugsgebieten, welche diese Flächen überhaupt beinhalten

Die Auswertung der einzelnen zufälligen Modellresultate zeigte, dass die angewandte Methode nur Unterschiede im Bereich von bis zu 3% bezüglich dem betroffenen Flächenanteil an Ackerbau- und Spezialkulturen aufwies. Dies bestätigt, dass der gewählte Ansatz robust ist. Hiermit wurde einzig die Sensibilität der Methode geprüft, was jedoch keine Aussage zur Modellunsicherheit erlaubt. Falls kein Schwellenwert für den prozentualen Anteil Agrarfläche innerhalb eines Fassungseinzugsgebiet gewählt würde, ergaben die zufälligen Modellkombinationen einen maximalen Flächenbedarf zwischen 14% bis 16% der Flächen mit Ackerbau/Spezialkulturen. In Hektaren ausgedrückt sind dies ausgehend von schweizweit insgesamt 408'700 ha Ackerbau-/Spezialkulturflächen mindestens insgesamt 56'000 ha bis maximal 65'000 ha, welche innerhalb der berechneten Flächen liegen dürften.

D.1 Validierung des Modells

Schweizweit liegen, soweit bekannt, einzig im Kanton St. Gallen fachkundig dimensionierte Daten zu Fassungseinzugsgebieten der zur Trinkwassergewinnung genutzten Grundwasserfassungen eines gesamten Kantons vor. Die Dimensionierung der Gebiete wurde fachkundig mit lokalem Expertenwissen vorgenommen.

Um die Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten, wurden die Fassungseinzugsgebiete aus dem kantonalen Datensatz nach den im automatischen Berechnungsverfahren verwendeten Kriterien ausgewählt. Es wurden diejenigen Fassungseinzugsgebiete des kantonalen Datensatzes berücksichtigt, welche innerhalb der Tal- und Hügelzone gemäss landwirtschaftlicher Zonenverordnung über rechtskräftige oder provisorische Grundwasserschutzzonen verfügen. Ausserhalb der Tal- und Hügelzone gemäss landwirtschaftlicher Zonenverordnung wurden nur die rechtskräftigen Grundwasserschutzzonen berücksichtigt, da in diesen Gebieten keine Ackerbau- und Spezialkulturflächen vorkommen.

Zur Validierung des statistischen Modells wurde einerseits die Ausgabe bezüglich der gesamten Fläche der Fassungseinzugsgebiete und andererseits der betroffene Flächenanteil der Ackerbau- und Spezialkulturen betrachtet. Die Resultate der Auswertungen sind in der Tabelle 1 angegeben. Die modellierten Werte stimmen gut mit den Daten des Kantons St. Gallen überein sowohl was die Gesamtfläche, wie auch den Flächenanteil an Ackerbau- und Spezialkulturen betrifft.

Tabelle 1: Vergleich der Ausgabe des statistischen Modells und der Analyse fachkundig dimensionierter Fassungseinzugsgebieten im Kanton St. Gallen

	Fachkundig dimensionierte Fassungseinzugsgebiete	Automatisiert modellierte Fassungseinzugsgebiete
Gesamtfläche	21'500 ha	22'000 - 25'000 ha
Flächenanteil Ackerbau- und Spezialkulturflächen	9 %	9 bis 11 %

E Diskussion der Methode und Resultate

Die insgesamt berücksichtigte Wassermenge zur Modellierung der Fassungseinzugsgebiete als Näherung an die Zuströmbereiche übertrifft die Hochrechnung des SVGW für das Jahr 2020. Diese zur Berechnung der Flächen grundlegende Grösse kann als konservative Annahme betrachtet werden. Die Auswertung der Ausgabe auf Basis von zufällig unterschiedlichen Modelleingangsdaten ergab nur einen geringen Unterschied bezüglich der potentiell betroffenen Ackerbau- und Spezialkulturflächen, was die Robustheit der Methode untermauert. Zwar entstehen durch die zufällige Verteilung von Schüttungsmengen lokale Ungenauigkeiten, jedoch wies die Auswertung zufälliger Modellkombinationen keinen bedeutsamen Unterschied der betroffenen Fläche auf. Aufgrund der oft ähnlichen Struktur der Landnutzung im Schweizer Mittelland, wo das meiste Grundwasser gefasst wird, haben lokale Abweichungen der modellierten Fassungseinzugsgebiete im Mittel über alle Fassungen nur einen geringen Einfluss auf die berechneten Flächen an Ackerbau- und Spezialkulturen. Die Plausibilität der modellierten Flächen wird auch durch den Vergleich mit den Flächen der fachlich bemessenen Fassungseinzugsgebiete im Kanton St. Gallen bestätigt. Die zufällig unterschiedlichen Modellläufe beeinflussen die Flächenschätzung für den Kanton St. Gallen nur geringfügig (vgl. Tabelle 1) und die Werte des automatisierten Verfahrens liegen in einem ähnlichen Bereich wie die vom Kanton ermittelte Fläche (vgl. Tabelle 1).