

ZUSAMMENFASSUNG

Hoffmann Nele
Marklowski Laura
Müller Laura
Röll Sophie

Detailerfassung dezentrale Wasserversorgungsanlagen im Bayerischen Wald am Beispiel der Stadt Furth im Wald

Fakultät:	Bauingenieurwesen
Studiengang:	Bachelor Bauingenieurwesen
Abgabefrist:	30.06.2025
Betreuerin/Prüferin:	Prof. Dipl.-Ing. Andreas Ottl; Prof. Dr.-Ing. Theresa Knoblach
Externe Betreuung:	Martin Pongratz, Gesundheitsamt Cham

Gliederung

1. DeTriC
2. Begriffserklärung
3. Grundlagen der dezentralen und Eigentrinkwasserversorgung
 - 3.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen
 - 3.2 Risiken und Gefährdungspotenzial
 - 3.4 Aufbereitungsanlagen
4. Datenerfassung
5. Datenvorbereitung und Auswertung
6. Kartenanalyse mit Erläuterungen

1. DeTriC

Das vom Gesundheitsamt initiierte Projekt „DeTriC“ (Detailerfassung Trinkwasseranlagen Landkreis Cham) dient der Analyse und langfristigen Optimierung der dezentralen und privaten Trinkwasserversorgung in dieser Region. Der Schwerpunkt liegt auf der Erstellung einer fundierten, digitalen Datengrundlage, um eine risikoorientierte Bewertung durchzuführen und Überwachungsmaßnahmen gemäß der Trinkwasserverordnung und dem Infektionsschutzgesetz umzusetzen. Im Landkreis Cham, insbesondere in den schwer erschließbaren, ländlich geprägten Gebieten wie der Further Senke oder dem Zellertal, erfolgt die Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung vielfach dezentral. Dadurch weist der Landkreis eine deutlich erhöhte Anzahl an Wasserversorgungsanlagen im Vergleich zu den anderen Regionen in der Oberpfalz auf, in denen zentralisierte Versorgungsmodelle zum Einsatz kommen. Hinzu kommt, dass die Verantwortung für die einzelnen Wasserversorgungsanlagen bei den jeweiligen Eigentümern liegt. Die private und dezentrale Trinkwasserversorgung ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Eine zentrale Rolle spielen hierbei die geologischen Gegebenheiten wie beispielsweise die Beschaffenheit des Grundwasserkörpers. Hinzu kommen topografische Herausforderungen wie die Höhenlage oder die erschwerte Erreichbarkeit vieler versorgter Objekte. Die Art der Wasserversorgung wird zudem durch historisch gewachsene Institutionen oder den nutzerspezifischen Wasserverbrauch auf lokaler Ebene geprägt. Ebenso wirken sich gesetzliche Vorgaben auf die Planung und den Betrieb solcher Trinkwasserversorgungsanlagen aus. Dazu zählt beispielsweise die Verpflichtung zur kontinuierlichen Betreuung und Überwachung der Anlagen. Ziel des Projekts ist die Erfassung und Analyse der besonderen Rahmenbedingungen und strukturellen Gegebenheiten der Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung im Landkreis. Dabei soll insbesondere, ein umfassendes Bild der spezifischen Versorgungssituation der im Landkreis ansässigen Gemeinde Furth im Wald gewonnen werden.

2. Begriffserklärung

Wasserversorgungsanlagen:

„[...]“

b) dezentrale Wasserversorgungsanlagen: Anlagen einschließlich dazugehöriger Wassergewinnungsanlagen und eines dazugehörenden Leitungsnetzes, aus denen pro Tag weniger als 10 Kubikmeter Trinkwasser entnommen oder im Rahmen einer gewerblichen oder öffentlichen Tätigkeit genutzt werden, ohne dass eine zentrale Wasserversorgungsanlage oder eine Eigenwasserversorgungsanlage vorliegt;

c) Eigenwasserversorgungsanlagen: Anlagen einschließlich dazugehöriger Wassergewinnungsanlagen und einer dazugehörenden Trinkwasserinstallation, aus denen pro Tag weniger als 10 Kubikmeter Trinkwasser zur eigenen Nutzung entnommen werden;”¹

¹

Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch 2023, §2 Absatz 2)

3. Grundlagen der dezentralen und Eigentrinkwasserversorgung

In diesem Kapitel erhält man einen Überblick über die vorgefundenen Anlagenformen sowie über die relevanten technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen. Dabei stehen die im Furth im Wald vorhandenen drei Anlagentypen im Fokus: Schachtbrunnen, Bohrbrunnen und Quelfassungen. Der Bau und Betrieb dieser Anlagen muss sich nach den anerkannten Regeln der Technik richten, insbesondere nach den DIN-Normen 2000 und 2001, den technischen Regelwerken des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) sowie den Vorgaben der Trinkwasserverordnung. Das Ziel besteht darin, eine hygienisch einwandfreie, technisch zuverlässige und naturschonende Wasserversorgung zu gewährleisten, die an die jeweilige geologische Situation vor Ort angepasst ist.

Schachtbrunnen werden bei flach anstehendem Grundwasser – zwischen einem und zehn Metern - eingesetzt. Sie werden typischerweise zylindrisch mit einem Durchmesser von etwa einem bis eineinhalb Metern gebaut und unvollkommen ausgeführt, das heißt, sie enden in der wasserführenden Schicht, durchdringen diese aber nicht vollständig. Der Wasserzulauf erfolgt über eine durchlässige Brunnensohle oder -wandung, während ein umliegender Kiesfilter das Wasser vor groben Partikeln schützt. Um das Eindringen von verunreinigtem Oberflächenwasser zu verhindern, wird der Schacht rundum abgedichtet, beispielsweise mit Lehmschlag oder Brunnenschaum. Das gesammelte Rohwasser wird anschließend über eine Pumpe oder durch natürliches Gefälle in das angeschlossene Gebäude geleitet. Wichtig ist, dass der Brunnen mit einer verschließbaren Abdeckung versehen ist, die mindestens 30 cm über das Geländeniveau hinausragt, entlüftet werden kann und nur für berechtigte Personen zugänglich ist.

Bohrbrunnen sind eine tiefere Alternative und müssen maschinell hergestellt werden. Da sie die gesamte Grundwasserschicht durchdringen, zählen sie zu den sogenannten „vollkommenen“ Brunnen. Das Brunnenrohr, das meist aus Kunststoff oder Stahl besteht, wird wasserdicht eingebaut und von außen mit Filterkies ummantelt. Auch hier ist der Vorschacht mit Lehmschlag abgedichtet und die Abdeckung entspricht den Standards für Schachtbrunnen. Im Gegensatz zu diesen ist bei einem Bohrbrunnen stets eine Pumpe notwendig.

Die dritte Form der Wassererschließung ist die Quelfassung. Dabei werden oberflächennahe Grundwässer mithilfe eines horizontal verlegten Fassungsrohrs – meist aus Steinzeug – gesammelt und in einen Beton-Sammelschacht geleitet. Auch hier kommt Filterkies zur Vorreinigung zum Einsatz, auch muss der Schacht verschließbar sowie be- und entlüftet sein. Um vor Verschmutzungen durch Oberflächenwasser zu schützen muss auch hier der Schacht mit einem mindestens 30 cm hohen Deckel über Gelände ausgestattet sein. Zusätzlich ist ein Überlauf mit Froschkappe vorzusehen, um einen stetigen Durchfluss zu gewährleisten und Kleintiere fernzuhalten. Da Quellen sehr nah an der Geländeoberfläche liegen, sind sie besonders anfällig für äußere Einflüsse – entsprechend großzügig muss die Schutzzone bemessen werden.

Insgesamt zeigen die drei vorgestellten Bauformen, wie unterschiedlich eine technische Umsetzung je nach geologischer Lage und Wasseraufkommen aussehen kann – stets jedoch mit dem Ziel, den hohen hygienischen Anforderungen der Trinkwasserverordnung gerecht zu werden und die natürliche Ressource Grundwasser bestmöglich zu schützen.

3.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die Qualität des Trinkwassers in Deutschland unterliegt grundsätzlich den Vorgaben des Infektionsschutzgesetzes (IfSG) sowie der Trinkwasserverordnung (TrinkwV). Trinkwasser muss gemäß Infektionsschutz so beschaffen sein, dass durch seinen Genuss oder Gebrauch keine Schädigung der menschlichen Gesundheit – insbesondere durch Krankheitserreger – zu befürchten ist. Bei allen Maßnahmen zur Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung müssen zudem die allgemein anerkannten Regeln der Technik (a. a. R. d. T.) eingehalten werden. Die Einhaltung dieser Anforderungen wird durch gesetzliche Pflichten der Betreiber sowie durch regelmäßige Untersuchungs- und Kontrollmaßnahmen sichergestellt.

Diese Pflichten lassen sich wie folgt gliedern:

- Die Betreiber sind verpflichtet, dem Gesundheitsamt Bau, Inbetriebnahme, technische Änderungen und Stilllegungen der Anlage anzuzeigen.
- Die Planung, Errichtung, Instandhaltung und der Betrieb von Wasserversorgungsanlagen müssen nach den a. a. R. d. T. erfolgen, wobei Mischsysteme (Trink-/Brauchwasser) strikt getrennt werden müssen.
- Es dürfen nur zugelassene, hygienisch unbedenkliche Werkstoffe und Materialien verwendet werden.
- Eine Aufbereitung muss erfolgen, wenn Grenzwerte überschritten werden oder eine hygienische Gefahr auftritt. Bei einer mikrobiologischen Belastung darf eine Desinfektion nur mit Zustimmung des Gesundheitsamtes (GA) erfolgen. Mängel der Anlage sind zu beseitigen.
- Die Anschlussnehmer und Verbraucher sind zu informieren. Hierzu ist ein jährlicher Qualitätsbericht in schriftlicher Form zu erstellen. Zusätzlich werden die Aufbereitungsstoffe wöchentlich dokumentiert und sechs Monate bereitgestellt.
- Die Besichtigung der Schutzzone muss mindestens einmal jährlich erfolgen. Werden dabei Auffälligkeiten festgestellt, muss eine sofortige Rohwasseruntersuchung erfolgen.
- Die Untersuchungspflicht muss anhand eines jährlichen Probenplans erfolgen, der in Abstimmung mit dem GA erstellt wird. Grenzwertüberschreitungen sind unverzüglich zu melden.
- Eine wasserrechtliche Erlaubnis ist grundsätzlich erforderlich, außer bei häuslichem Eigenbedarf ohne nachteilige Auswirkungen.

Auf die Anforderungen bezüglich der Untersuchungs- und Kontrollmaßnahmen wird ebenfalls gesondert eingegangen. Diese dienen in erster Linie dem Schutz der menschlichen Gesundheit, insbesondere von Risikogruppen wie Kindern und älteren Menschen. Die Kontrollen können frühzeitig auf mögliche Probleme bei den Trinkwasseranlagen hinweisen. Dabei werden insbesondere die Parameterklassen der E. coli und der Intestinalen Enterokokken überprüft. Hierbei handelt es sich um Bakterien, die natürlicherweise im Darm von Warmblütern vorkommen. Ein weiterer Parameter sind die chemischen Anforderungen. Es gibt 34 verschiedene, die in die Gruppen Schwermetalle, toxische Elemente, anorganische Ionen und organische/industrielle Rückstände unterteilt werden. Eine weitere wichtige Gruppe sind die Indikatorparameter. Sie zeigen Systemveränderungen an, allerdings keine akuten Gefahren. Sie dienen der Überwachung und Qualitätskontrolle, da sie Parameter enthalten, welche frühzeitig Hinweise auf Probleme liefern.

Untersuchungen werden jährlich bei allen mikrobiologischen Parametern sowie bei Geruch, Geschmack, Färbung, Trübung, Leitfähigkeit, pH-Wert und Koloniezahlen durchgeführt. Alle drei Jahre wird eine umfangreichere Untersuchung durchgeführt, in der alle chemischen und Indikatorparameter untersucht werden.

3.2 Risiken und Gefährdungspotenzial

Dezentrale Trinkwasserversorgungsanlagen und Eigenwasserversorgungsanlagen sind denselben Gefahren ausgesetzt wie eine zentrale Wasserversorgung. In diesen Fällen liegt die Verantwortung für Überwachung und Instandhaltung bei den Betreibern, die in der Regel keine Fachleute sind. Die Risiken ergeben sich dabei vor allem aus dem Bereich des Einzugsgebietes und der Bausubstanz.

Im Bereich des Einzugsgebietes muss ein besonderes Augenmerk auf die landwirtschaftliche Nutzung (z. B. Pflanzenschutzmittel, Düngemittel, Tierhaltung), Abwasser und wassergefährdende Stoffe (z. B. undichte Leitungen, Gruben, Oberflächenwasser), Bauarbeiten und Vegetation gelegt werden. Bei der Bausubstanz muss hingegen vor allem auf werkstoffbedingte Risiken (z. B. ungeeignetes Material, Geschmack) geachtet werden. Zusätzlich gefährden fehlende bauliche Schutzmaßnahmen, wie mangelnde Dichtigkeit oder fehlende technische Einrichtungen das Trinkwasser, da dies dritten bzw. Fremdkörpern Zutritt ermöglichen kann. Eine regelmäßige Wartung und Kontrolle aller Komponenten ist für qualitativ hochwertiges Trinkwasser ebenfalls erforderlich.

3.3 Aufbereitungsanlagen

Eine Aufbereitung des Rohwassers ist erforderlich, wenn das Grundwasser die Anforderungen der Trinkwasserverordnung nicht erfüllt. Die unerwünschten Inhaltsstoffe müssen mithilfe verschiedener Verfahren entfernt oder zurückgehalten werden. Welche Verfahren zum Einsatz kommen, hängt von der Wasserqualität, der Schadstoffart und der Zulassung des Umweltbundesamts ab.

Dabei lassen sich die, im Bereich Furth im Wald vorkommenden, Aufbereitungsverfahren wie folgt zusammenfassen:

- Beim Filtrationsverfahren kommen ein Quarzkiesfilter zur Grobfiltration und ein Feinfilter zur weiteren Reinigung des Wassers zum Einsatz..
- Bei der Membranfiltration gibt es verschiedene Filterfeinheiten. Je nach Feinheit werden Bakterien, Viren und auch kleinste Partikel entfernt. Allerdings wird bei diesem Verfahren oft eine Vorbehandlung durch chemische Reinigung benötigt.
- Das Desinfektionsverfahren mithilfe von UV-Bestrahlung ist die einzige Methode, die im Untersuchungsgebiet Furth im Wald verwendet wurde. Hierbei entstehen keine chemischen Nebenprodukte. Allerdings wird hierfür eine geringe Trübung benötigt.
- Zu den Spezialverfahren zählen die Nitrateliminierung, die im Gebiet Furth im Wald überwiegend durch Membranfiltration erreicht wird, sowie die Entsäuerung bei einem niedrigen pH-Wert. Auch sie sind Aufbereitungsanlagen.

4. Datenerfassung

Zwischen Mitte Februar und Ende März erfassten zwei Einsatzteams systematisch 95 Anlagen. Die Besichtigungen dauerten durchschnittlich 20 bis 40 Minuten und waren abhängig von der Größe, Zugänglichkeit und Lage der jeweiligen Anlage. Pro Team konnten täglich vier bis acht Anlagen aufgenommen werden. Zur digitalen Erfassung der Daten kam die Software ArcGIS Survey123 zum Einsatz, die auf einem Dienst-Tablet installiert war. Damit konnten einerseits mittels eines vom Gesundheitsamt vorgefertigten digitalen Formulars die technischen, hygienischen und baulichen Merkmale der jeweiligen Anlage abgefragt werden. Zum anderen ermöglichte die Software eine digitale Standorterfassung sowie eine Fotodokumentation. Zur präzisen Bestimmung der Koordinaten kamen zusätzlich Vermessungsgeräte der OTH Regensburg zum Einsatz. Soweit möglich, erfolgte im Rahmen der Erhebung auch eine Sichtkontrolle der Brunnen- bzw. Quelfassungen. In einzelnen Fällen konnte dies aufgrund fehlender technischer Hilfsmittel wie etwa einer geeigneten Hebevorrichtung zum Öffnen massiver Abdeckungen, nicht erfolgen.

Die untersuchten Trinkwasserversorgungsanlagen werden im Folgenden mithilfe eines Ampelsystems kategorisiert. Die Einordnung der Anlagen in eine von drei Ampelkategorien basiert auf Grundlage einer systematischen Bewertung von 16 vordefinierten Kriterien. Diese Kriterien wurden aus dem standardisierten Erhebungsbogen des Projekts DeTriC ausgewählt. Sie erfassen zentrale Aspekte der baulichen Beschaffenheit, des äußeren Schutzes, potenzieller Gefährdungen sowie der hygienischen Sicherheit. Dabei wurden die folgenden Aspekte einzeln betrachtet und bewertet:

1. Sind die Objekte verschließbar?
2. Ist starker Bewuchs in unmittelbarer Objektnähe vorhanden (10m)?
3. Quellschacht deutlich über GOK (30cm)?
4. Sind die Objekte dicht?
5. Zustand der Objektsohlen
6. Wurzeleinwuchs vorhanden?
7. Kann Regen oder Schmelzwasser ungehindert ablaufen?
8. Sind Oberflächenbeschädigungen vorhanden?
9. Ist Getier in das oder die Objekte eingedrungen?
10. Sind Überläufe und sonstige Öffnungen als freier Auslauf oder mit passenden Schutzklappen versehen?
11. Sind gravierende Bauwerksschäden vorhanden?
12. Wasseruntersuchung der letzten beiden Jahre unauffällig
13. Havarie-Möglichkeiten Chemisch (z.B. Treibstofflagerung, sonst. Wassergefährdungen, Öltanks)
14. Ist eine Beeinflussung der Trinkwasserqualität durch vorhandene Gefährdungspotenziale zu befürchten?
15. Einzugsgebiet mit Gefährdungen
16. Landwirtschaftliche Abwässer im Nahbereich

Jedes Kriterium wurde auf Basis der erhobenen Informationen mit einer bestimmten Punktezahl bewertet. Mithilfe dieser numerischen Kodierung konnten die Einzelaspekte einheitlich gewichtet und ein Gesamtpunktestand für jede der 95 untersuchten Anlagen in Furth im Wald ermittelt werden. Die Punktevergabe erfolgte auf Grundlage einer dreistufigen Bewertungsskala:

+1 Punkt: Das Kriterium ist erfüllt. Das bedeutet, dass der entsprechende Aspekt keine Mängel oder Risiken aufweist. Auch das Nichtvorhandensein potenziell negativer Faktoren, beispielsweise das Fehlen von Wurzeleinwuchs oder Getier, wurde positiv bewertet.

0 Punkte: Das Kriterium kann nicht eindeutig beurteilt werden. Dies betrifft beispielsweise Fälle, in denen der Zustand bestimmter Bauteile, wie die Objektsohle bei Bohrbrunnen nicht überprüfbar ist oder das Kriterium auf die jeweilige Anlage nicht zutrifft (z.B. fehlende Havarie Potenziale). In solchen Fällen fließt das Kriterium zwar formal in die Erhebung ein, beeinflusst die Bewertung jedoch nicht.

-1 Punkt: Das Kriterium ist nicht erfüllt oder weist auf einen mangelhaften Zustand hin. Solche Negativbewertungen betreffen beispielsweise beschädigte oder nicht vorhandene Dichtungen, vorhandene Wurzeleinwüchse oder beschädigte Bauwerke.

Durch die Addition der vergebenen Punktwerte wurde für jede Anlage ein Gesamtwert ermittelt, der als Grundlage für die abschließende Einordnung in eine der drei Kategorien des Ampelsystems dient:

- **Grün (10 bis 14 Punkte):** Guter Gesamtzustand, die Anlage befindet sich in einem guten Zustand oder weist lediglich geringfügige Mängel auf.
- **Orange (4 bis 9 Punkte):** Mittlerer Zustand, die Anlage zeigt einzelne Schwachstellen oder potenzielle Risiken, die mittelfristig behoben werden sollten.
- **Rot (-4 bis 3 Punkte):** Mangelhafter Zustand, die Anlage weist gravierende bauliche oder hygienische Defizite auf. Hier besteht ein akuter Handlungsbedarf zur Sicherstellung der Trinkwasserqualität und Anlagensicherheit.

Das theoretisch mögliche Punktespektrum reichte von -15 bis +15. In der praktischen Auswertung der 95 untersuchten Anlagen lag der niedrigste, ermittelte Wert bei -4 und der höchste bei +14 Punkten. Das Punktesystem gewährleistet eine transparente, nachvollziehbare und vergleichbare Bewertung der untersuchten Trinkwasserversorgungsanlagen in Furth im Wald. Es dient somit als belastbare Entscheidungsgrundlage für weitere Maßnahmen im Rahmen von Instandhaltung, Sanierung oder Risikomanagement. Die nachfolgende Tabelle zeigt die prozentuale Verteilung der untersuchten Anlagen auf die drei Ampelkategorien: Grün, Orange und Rot. Mit 46 Anlagen (48,42 %) stellt die orange Kategorie die größte Gruppe dar. Dahinter folgt die grüne Kategorie mit 41 Anlagen (43,16 %). Lediglich acht der untersuchten Anlagen (8,42 %) wurden der roten Kategorie zugeordnet.

Kategorie	Anzahl Anlagen	Prozentualer Anteil
grün	41	43,16 %
orange	46	48,42 %
rot	8	8,42 %

Tabelle 1

Wie Tabelle 1 zeigt, befinden sich 91,58 % der Anlage entweder in einem guten oder mittleren Zustand. Dies deutet auf ein insgesamt solides Niveau der technischen und hygienischen Infrastruktur in der untersuchten Region hin. Der geringe Anteil von 8,42 % fällt in den roten Bereich. Die Kategorisierung der Anlagen ist für das Gesundheitsamt Cham ein wichtiges Hilfsmittel, um Anlagen mit möglichem Havariepotenzial schnell und zielorientiert identifizieren zu können. Aus infektionshygienischer Sicht müssen Anlagen der roten Kategorie schnellstmöglich einer genaueren Inspektion durch die Hygienekontrolleure unterzogen werden. Im Rahmen einer Einzelfallentscheidung und gegebenenfalls einer erneuten Ortsbesichtigung bietet der Sachbearbeiter eine fachliche Beratung an oder ordnet erforderliche Maßnahmen zur Verbesserung der Trinkwasserqualität amtlich an. Auf diese Weise können sukzessive alle Anlagen je nach Ampelfarbe und erreichter Punktzahl geordnet abgearbeitet werden.

5. Datenvorbereitung und Auswertung

Eine fundierte Auswertung im WebGIS-Modell basiert auf einer sorgfältigen Aufbereitung der Geodaten, insbesondere des digitalen Geländemodells (DGM). Nur ein konsistentes und hydrologisch korrigiertes DGM ermöglicht die präzise Berechnung von Geländeparametern wie Höhenlage, Neigung oder Fließverhalten. Diese vorbereiteten Rasterdaten werden im QGIS-Modell-Designer automatisiert weiterverarbeitet, wodurch die Analyse standardisiert, nachvollziehbar und effizient wird. Zur besseren Einordnung werden die berechneten Parameter in klassische Geländemerkmale und hydrologisch relevante Eigenschaften unterteilt.

- Schummerung: Erzeugt durch simuliertes Sonnenlicht eine plastische, 3D-ähnliche Darstellung des Geländes und ist somit hilfreich zur Interpretation von Formen wie Tälern oder Rücken.
- Krümmung: Die Profilkrümmung (entlang des Gefälles) beeinflusst die Fließgeschwindigkeit des Wassers, während die planare Krümmung (quer zur Fließrichtung) die Sammlung oder Zerstreuung des Wassers bestimmt. Konkave Formen begünstigen Wasseransammlungen (z. B. Rinnen), konvexe Strukturen eher Abfluss oder Versickerung.
- Ausrichtung (Aspect): Gibt die Hangexposition an. Südhänge sind trockener und Nordhänge kühler und oft feuchter, was für Verdunstung und Bodenfeuchte relevant ist.
- Gefälle: Steile Hänge führen zu raschem Abfluss und erhöhter Erosion, während flache Bereiche Versickerung und längere Verweilzeiten begünstigen.
- Gefüllte Senken eliminieren künstliche Abflussbarrieren im DGM und schaffen die Basis für realistische Fließrichtungen.
- Fließakkumulation: Zeigt, wie viele Zellen oberhalb in eine Rasterzelle entwässern und visualisiert somit potenzielle Rinnenstrukturen.
- Flussrichtung: Nach dem D8-Modell fließt Wasser stets in die Richtung des steilsten Gefälles zu einer der acht Nachbarzellen.
- Ein Kanalnetzwerk wird basierend auf einem Schwellenwert als Linienlayer extrahiert. Je nach Schwellenwert werden kleinere Rinnsale mit erfasst oder unterdrückt.

- Einzugsgebiete: Sie zeigen die Fläche, aus der Wasser zu einem bestimmten Punkt fließt. Dies ist entscheidend für die Beurteilung der Wassermenge und potenzieller Einträge.
- Die Kanalrichtung beschreibt die spezifische Fließrichtung innerhalb des abgeleiteten Kanalnetzes.

Mithilfe eines modellbasierten Arbeitsablaufs im QGIS-Modell-Designer wurden diese Parameter automatisiert mit den Standorten der Quell- und Brunnenanlagen verschnitten. Mithilfe der Funktion „Rasterwerte abtasten“ konnten die Rasterdaten den Anlagen punktgenau zugeordnet werden. Das Ergebnis ist ein zusammengeführter Vektorlayer, der alle relevanten Gelände- und Fließinformationen je Standort bündelt und die Grundlage für die weitere Risiko- und Standortbewertung bildet.

Nach der Vorbereitung der Daten folgte die Auswahl der analytischen Methode. Dazu standen verschiedene Ansätze zur Auswahl. Mit dem im vorherigen Abschnitt erklärten Modell-Designer ist es möglich, automatisierte Abläufe zu erstellen, wobei z.B. auffällige Werte herausgefiltert werden. Auch Cluster-Analysen mit Hilfe eines Q-GIS-Plug-Ins und Python Skripten ermöglichen benutzerdefinierte Analysen. Mithilfe der Erstellung einer Pearson-Korrelationsmatrix, welche als Heatmap ausgegeben wird, kann die positive oder auch negative Korrelation zwischen jeweils zwei der Kriterien in Form einer Tabelle mit einem Wert zwischen -1 und 1 aufgezeigt werden. Der bei allen oben genannten Analysemethoden einschränkende Faktor ist die Beschränkung auf lediglich numerische Attribute, was unserem Kriterienkatalog nicht genügt.

Bei der Analyse der Attributtabelle des Quell- und Brunnenlayers ist eine Auswertung der nicht-numerischen (kategorischen) Attribute relevant, weshalb eine Kontingenztafel (auch Kreuztafel) mithilfe eines Python-Skripts in Q-GIS erstellt wurde. Anhand dieser ist schnell ersichtlich, welche Merkmalsausprägungen der zwei verglichenen Attribute wie häufig gemeinsam auftreten. Der Cramérs V-Koeffizient – dieser weist Ähnlichkeit zur Pearson-Matrix auf, kann jedoch auch kategoriale Daten auswerten - ist eine weitere Möglichkeit zur Korrelationsüberprüfung. Die Verarbeitung der Daten mit Cramérs V sind in unserer Arbeit allerdings nur begrenzt nutzbar, da viele Korrelationen sehr hoch sind, unabhängig davon, welche Variablen miteinander verglichen werden. Durch die hohe Anzahl an Analysedaten ist daher eine strukturierte Anwendung nur eingeschränkt möglich.

Eine weitere Lösung für eine fundiertere Analyse bietet eine codierte Attributtabelle. Sämtliche nicht-numerische Parameter werden numerisch formatiert, um dann eine Korrelationsmatrix mit Hilfe von Excel zu erstellen. Beispielsweise wird das Attribut „Aufbereitungsanlagen?“ welches mit 'Ja' oder 'Nein' beantwortet wurde, zu '1' steht für 'Ja' und '2' steht für 'Nein' kategorisiert.

Bei der Überprüfung der Korrelationsmatrix waren allerdings kaum nennenswerte Zusammenhänge zu erkennen. Vereinzelt höher aufgetretene Korrelationen finden sich beispielsweise zwischen der Fassungsart und der Höhe. Daraus geht hervor, dass Quelfassungen tendenziell höher liegen als andere Anlagenarten, was sich auf die Art der Entstehung von Quellen zurückführen lässt.

6. Kartenanalyse mit Erläuterungen

Im Zuge der Arbeit wurden fünf Karten erstellt. Es handelt sich um eine Allgemeine Übersichtskarte, diese zeigt die verschiedenen Anlagen auf das Erfassungsgebiet verteilt mit dem digitalen Geländemodell, was die Erkennung der Geländereiefs möglich macht. Des Weiteren wurde eine Karte über die Bodenverhältnisse und die Nutzung im Kontext der Anlagenstandorte erstellt, diese visualisiert die räumliche Verteilung der unterschiedlichen Bodenarten mit den dazugehörigen Durchlässigkeitsbeiwerten und die verschiedenen Bodennutzungen anhand der ALKIS-Daten, welche von Landwirtschaft über Wohnbaufläche bis hin zur Fläche gemischter Nutzung reichen. Diese Karte dient als wichtige Grundlage zur Einschätzung der hydrogeologischen Situation und ermöglicht eine kombinierte Auswertung bodenkundlicher und nutzungsbezogener Aspekte in Bezug auf die Lage und potenzielle Gefährdungen der Anlagen. Auch die nächste Karte hilft das Gefährdungspotenzial rund um die verschiedenen Anlagen einzustufen. Das obengenannte Ampelsystem hilft die bauliche Substanz der Quellen und Brunnen zu beurteilen. Die aufgenommenen Havarieobjekte zeigen, ob es Gefahren aufgrund beispielsweise von Öllagern oder Pflanzenschutzmittellagern gibt. Und auch hier wird anhand der landwirtschaftlichen Nutzung von oben genannten ALKIS-Daten eine mögliche Gefahrenquelle abgeschätzt. Diese drei Gefährdungspotenziale treffen lediglich auf zwei der 95 Anlagen zu. Mithilfe der oben genannten Kanalnetzwerke wurde eine Karte über die Einzugsgebiete und deren Entwässerungsinfrastruktur erstellt. Diese zeigt, wie Oberflächenwasser nach Regenereignissen abfließen würde und weisen so auf eine weitere mögliche Gefahr durch den Eintrag von Oberflächenwasser hin. Zuletzt werden auf einer Karte sämtliche Schutzgebiete dargestellt, um Nutzungskonflikte zu erkennen und die Sensibilität der Standorte besser zu beurteilen.