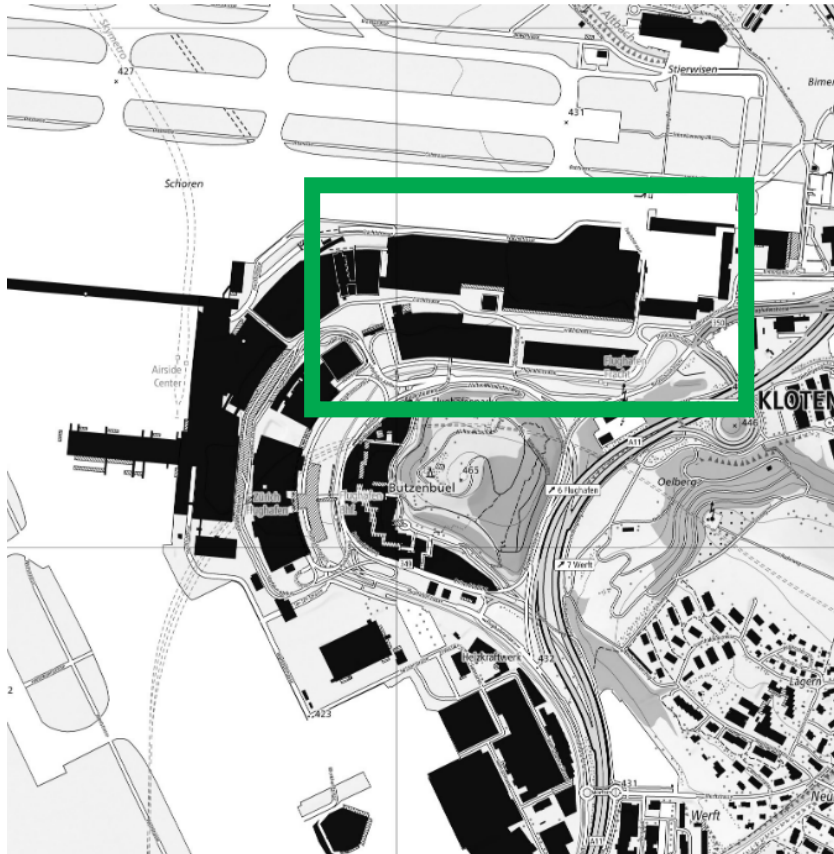


Aquiferspeicher Flughafen Zürich

SC + P



Umweltverträglichkeitsbericht

Auftraggeber

Flughafen Zürich AG

Energieversorgung

8058 Zürich-Flughafen

Planer

IG Rinne

c/o Sieber Cassina + Partner AG

Geerenweg 2

8048 Zürich

Koordinaten / Höhe

2'685'233 / 1'256'378

433 m ü.M.

Datum

31.08.2026

Sachbearbeiter/-in

David Reist

Daniel Hasen

Romana Rechsteiner

Jeannette Kneubühler

Projektnummer

ZH2665D

Bern

Olten

Winterthur

Wollerau

Zürich Geerenweg 2
CH - 8048 Zürich
+41 44 297 70 90
scpzuerich@scpag.ch
www.scpag.ch

**Impressum:**

Filename / Version	Verfasser	Koreferat	Versand an	Datum
ZH2665D_Aquiferspeicher_UVB_ZRH_PGG2_v1.4	Dre – 31.08.26	-	1, 2	31.08.26
ZH2665D_Aquiferspeicher_UVB_ZRH_PGG2_v2.3	Dre – 11.09.26	Tsc – 15.09.26	1, 2,	16.09.26
ZH2665D_Aquiferspeicher_UVB_ZRH_PGG2_v3.1	Dre – 21.09.26	Tsc – 21.09.26	1, 2,	21.09.26

Name	Firma	Empfänger
Andreas Eckert	Flughafen Zürich AG	1
Caterina Talerico Plas	Flughafen Zürich AG	2

Inhalt

1. Einleitung	5
1.1. Ausgangslage und Zielsetzung	5
1.2. Auftraggeber / Bauherrschaft	5
1.3. Vorgehen und Projektorganisation	6
1.4. Ziele	7
2. Verfahren	7
2.1. Genehmigungsverfahren und Übereinstimmung mit der Raumplanung	7
2.2. UVP-Pflicht	8
2.3. Bewilligungen	8
3. Projektbeschreibung	8
3.1. Standort	8
3.2. Vorhaben	9
3.3. Bauphase	11
3.4. Betriebsphase	11
4. Grundlagen	11
4.1. Geologie	11
4.2. Energienutzung Flughafen Zürich	13
5. Systemabgrenzung und Relevanzmatrix	14
5.1. Zeitliche Systemgrenzen	14
5.2. Räumliche Systemgrenzen	14
5.3. Relevanzmatrix	14
6. Nicht relevante Umweltbereiche	15
6.1. Natur und Landschaft	15
6.2. Licht	15
6.3. Wald	15
6.4. Oberflächengewässer und aquatische Ökosysteme/Fischerei	15
6.5. Störfallvorsorge	16
6.6. Altlasten	16
6.7. Boden	16
6.8. Fruchtfolgeflächen	16
6.9. Nichtionisierende Strahlung (NIS)	16
6.10. Denkmalpflege und Ortsbildschutz	16
6.11. Archäologie und Paläontologie	16
6.12. Historische Verkehrswege	17
6.13. Langsamverkehr	17
6.14. Naturgefahren: Hochwasser, Massenbewegungen, Lawinen, Erdbeben	17
7. Relevante Umweltbereiche	17
7.1. Grundwasser	17
7.2. Entwässerung	29
7.3. Abfälle und Materialbewirtschaftung	31
7.4. Luft	32

7.5. Lärm / Erschütterungen	35
8. Beurteilung der Umweltverträglichkeit, inkl. Massnahmenübersicht	37
9. Ausblick	40

Anhang

- A1 Situationsplan 1:3'000, SC+P, 31.08.26
- A2 Situationsplan 1:3'000 Nicht relevante Umweltbereiche, SC+P, 31.08.26
- A3 Situationsplan 1:5'000 Relevante Umweltbereiche, SC+P, 31.08.26
- A4 Mikrofaunabericht TaxLab Bericht ZH2025 CO1 eDNA v1
- A5 Mikrofaunabericht TaxLab Bericht ZH2025 16S eDNA v1

Beilagen

- B1 Abschlussbericht Erkundung, IG Rinne, 05.12.2025
- B2 Ergebnisse Abtastbohrung, Geo Explorers AG, 29.04.2026
- B3 Bericht Simulation GW-Bewirtschaftung, Geo Explorers AG, 25.08.2026

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage und Zielsetzung

Die vom Bund erteilte Betriebskonzession berechtigt und verpflichtet die Flughafen Zürich AG (nachfolgend FZAG), den Flughafen Zürich bis ins Jahr 2051 zu betreiben. Dafür baut, unterhält und betreibt die FZAG grossflächig Infrastrukturbauten am Flughafen Zürich mit den dazugehörigen technischen Installationen und Anlagen sowohl im Wärme- als auch im Mittelspannungsbereich. Zur Versorgung der Infrastruktur mit Wärme und Kälte sind im Systemperimeter aktuell umfangreiche Anlagen im Einsatz u.a. eine grosse Heizzentrale mit Wärme-Kraft-Kopplung (120 MW_{th}, 10 MW_{el}; 75 GWh_{th}/Jahr, 25 GWh_{el}/Jahr), deren Wärme über ein Fernwärmenetz abgegeben wird. Weitere Energiezentralen mit Wärmepumpen und Abwärme bestehen z.B. im Dock E und Circle mit Energiepfählen und Erdwärmesonden zur Nutzung von Kälte und Wärme, sowie zwei Kältezentralen mit Kompressionsmaschinen, Rückkühlern und Abwärmenutzung (vgl. Beilage B1).

Ausgangslage

Mit dem Energiekonzept 2040 der Flughafen Zürich AG stehen eine sichere, wirtschaftliche und ökologische Energieversorgung des Flughafens Zürich im Fokus. Im Rahmen ihrer Klimastrategie übernimmt die Flughafen Zürich AG als Betreiberin der Flughafeninfrastruktur Verantwortung. Sie will ihre selbst verursachten Treibhausgasemissionen bis 2040 ohne den Einsatz von Kompensationsmassnahmen auf Netto-Null senken. Dies erfolgt einerseits durch eine Reduktion des Verbrauchs und andererseits durch den Einsatz erneuerbarer Energien und nachhaltiger Brenn- und Treibstoffe (vgl. Beilage B1).

Energiestrategie 2040

Das vorliegende Projekt «Aquiferspeicher Flughafen Zürich» sieht vor, im Zusammenhang mit dem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien künftig im Grundwasserleiter einen grosstechnischen saisonalen Aquiferspeicher zur Speicherung von Wärme- und Kälteenergie zu realisieren. Damit soll die Abwärme im Sommer gespeichert werden, um diese dann im Winter zu nutzen, anstatt diese über Rückkühler an die Umgebung abzugeben. Dafür bietet sich eine unterhalb des Flughafens verlaufende, eiszeitliche Rinne an, deren Eigenschaften in den Jahren 2023, 2024, 2025 und 2026 bereits mit geophysikalischen Methoden, Abtastbohrungen und mit Brunnen erkundet und getestet wurden.

Aquiferspeicher

1.2. Auftraggeber / Bauherrschaft

Flughafen Zürich AG
Energieversorgung
Postfach
8058 Zürich-Flughafen

1.3.

Vorgehen und Projektorganisation

Zur Erkundung des Untergrunds und als Vorbereitungsarbeiten für die Grundwassernutzung wurden folgende Arbeiten ausgeführt, welche jedoch nicht Teil des vorliegenden Berichts sind und nur zum besseren Projektverständnis hier zusammengefasst werden:

- **Geophysikalische Erkundung (2022):** Definition der Bohrziele anhand von Seismik und ERT (Electrical Resistivity Tomography)
- **Sondierbohrungen (2023):** Pilotbohrungen im Stil von Erdwärmesonden-Bohrungen. Mit den Sondierbohrungen wurden wichtige Grundlagen für die nachfolgenden Brunnen hinsichtlich benötigtem Bohrgerät, Bohrdurchmesser, Absetztiefen, benötigter Kernstrecken usw. geliefert.
- **Testbrunnen (2024–2025):** Bei Sondierbohrungen, mit denen erfolgsversprechende Schichten angebohrt wurden, wurde in unmittelbarer Nähe ein Testbrunnen erstellt. In diesem Testbrunnen erfolgten Pumptestes, welche es erlaubten, die Brunnenleistung, Ergiebigkeit, Speicherfähigkeit sowie Wasserchemie usw. zu quantifizieren.
- **Abtastbohrungen (2026):** An zukünftigen Brunnenstandorten wurden zur Planungssicherheit je eine Abtastbohrung erstellt. Dabei handelte es sich um einfache, schlanke und destruktive Bohrungen, die nicht ausgebaut, sondern zurückgebaut werden [17][18][B2].

Auf Basis dieser Erkenntnisse konnte das Brunnenkonzept für die saisonale Energiespeicherung definiert werden. Es umfasst insgesamt sechs potenzielle Brunnenstandorte für die Ausbaustufe der Energiezentrale Mitte. Zwei Brunnen (P6-1 und P18-1) wurden bereits erstellt, jedoch noch nicht für den späteren Betrieb ausgebaut. Mit dem vorliegenden Plangenehmigungsgesuch wird die Realisierung von vier Schachtbauwerken an den Standorten V5-2, FO-2, FO-1 und P6-1 inkl. Anergieleitung beantragt sowie deren Grundwassernutzung. Der Ausbau der zusätzlich ausgewiesenen Brunnenstandorte P18-1 und P16-1 wird in einem späteren Plangenehmigungsgesuch eingereicht. Die Bewilligungen für den Bau der Brunnen erfolgte jeweils bereits kantonale Bewilligung für eine Sondierbohrung. Der vorliegende UVB beurteilt bereits die Bau- und Betriebsphase des Endausbaus, d.h. der Bau von sechs Schachtbauwerken inkl. Anergieleitung zur Energiezentrale sowie die thermische Grundwassernutzung aller sechs Brunnen.

Das Projekt weist gemäss der Zusammenstellung des «Abschlussberichts Erkundung» der Geo Explorers AG (vgl. Beilage B1) die folgende Organisation und Projektbeteiligten auf:

Tabelle 1: Projektorganisation.

Firma	Person	Aufgabe bzw. verantwortlich für
Bauherr und Auftraggeber		
Flughafen Zürich AG	Andreas Eckert	Bauherr, Auftraggeber
	Markus Kunz	Projektleiter Bau
	Caterina Talerico Plas	Projektleiterin Nachhaltigkeit & Umwelt
Gesamtprojektleitung Erkundung		
IG Rinne	Thomas Schirmer (SC+P)	Gesamtprojektleiter IG Rinne
	Andreas Ebert (Geo Explorers AG)	Projektleiter Testbrunnen / Pumptestes, Planung und Bericht-Verfassung
	Tobias Frei (E-Axiom GmbH)	Projektleiter Planung Leitungsbau, Einbindung, Bewirtschaftung

bisherige Untersuchungen



Thermische GW-Nutzung

Projektorganisation

Geophysikalische Bohrlochvermessung

Terratec	Daniel Fischer und andere	Ausführung Bohrloch-Logging
----------	---------------------------	-----------------------------

Begleitende Analysen

Uni Basel	Jannis Epting, Michel Walde	BactoSense
ITaxLab GmbH	Lucas Blattner	eDNA Makro- & Mikrofauna-Analyse
Hydroisotop		Altersdatierungen
Bachema		Chemische Wasserzusammensetzung

SC + P
1.4.
Ziele

Mit dem vorliegenden Umweltverträglichkeitsbericht (UVB) über die Auswirkungen auf die Umwelt, nachstehend kurz UVB genannt, wird das Ziel verfolgt, die Auswirkungen des Projekts «Aquiferspeicher – Flughafen Zürich» auf sämtliche umweltrelevanten Bereiche in der Bau- und Betriebsphase der 6 Brunnen aufzuzeigen und zu beurteilen. Der Bericht bildet für die zuständigen Behörden die Grundlage für die abschliessende Beurteilung der Umweltverträglichkeit sowie der Konzessionierung der Wasserentnahme sowie -rückgabe zu thermischen Zwecken.

Ziel

Die nachfolgenden Ausführungen stützen sich hauptsächlich auf das Umweltschutzgesetz USG [21] sowie die Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung UVPV [23] ab. Die Auswirkungen des Projekts auf die umweltrechtlich relevanten Bereiche werden in diesem Bericht in Analogie der bereits etablierten Leitfäden für Umweltverträglichkeitsberichte bzw. Umweltberichte beim Bahn- und Nationalstrassenbau aufgezeigt und beurteilt [46][47]. Die Bearbeitungsweise und -tiefe des vorliegenden UVB richten sich nach dem UVP-Handbuch des BAFU [36] sowie nach weiteren Empfehlungen der kantonalen Fachstellen.

Berichtsform
2.
Verfahren
2.1.
Genehmigungsverfahren und Übereinstimmung mit der Raumplanung

Gemäss Art. 37 des Luftfahrtgesetzes (LFG) [21] dürfen Bauten und Anlagen, die ganz oder überwiegend dem Betrieb eines Flugplatzes dienen, nur mit einer Plangenehmigung erstellt oder geändert werden. Die Nutzung des Aquiferspeichers als saisonaler Wärme- und Kälte-Speicher bedingt den Bau von Produktionsbrunnen und die Anbindung dieser Brunnen an die bestehenden Wärme- und Kälteanlagen des Flughafens. Die zuständige Genehmigungsbehörde für das Vorhaben ist das Eidgenössische Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK). Für das Vorhaben ist ein ordentliches Plangenehmigungsverfahren nach Art. 37 des Luftfahrtgesetzes (LFG) festgelegt worden. Mit der Plangenehmigung werden sämtliche nach Bundesrecht erforderlichen Bewilligungen erteilt. Kantonale Bewilligungen und Pläne sind nicht erforderlich. Das kantonale Recht ist zu berücksichtigen soweit es den Bau und Betrieb des Flugplatzes nicht unverhältnismässig einschränkt.

PGV

Mit Ausnahme der Brunnen P18-1 und P16-1 liegen alle Bauten innerhalb des SIL (Sachplan Infrastruktur der Luftfahrt) Perimeters des Flughafens Zürich und sind daher auf die Vorgaben der Raumplanung abgestimmt (Art. 9 Abs. 4 UVPV [4]). Die Brunnen P18-1 und P16-1 liegen gemäss Nutzungsplanung in der Zone für öffentliche Bauten IV.

Sachplan

Wie in den beiden nachstehenden Kapiteln 2.2 und 2.3 beschrieben, besteht für das Projekt eine UVP-Pflicht. Für den Betrieb der thermischen Grundwassernutzung ist zusätzlich eine kantonale wasserrechtliche Konzession erforderlich. Das Konzessionsgesuch wird nach Vorliegen der Testergebnisse über die Ergiebigkeit der Brunnen P6-1, FO-1, FO-2, V5-2 beim Kanton eingereicht.

*Konzession***SC + P****2.2.****UVP-Pflicht**

Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) ist grundsätzlich im Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG) [21] unter Art. 10 geregelt. Anlagentypen mit einer UVP-Pflicht sind im Anhang der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) aufgeführt. Der Anlagentyp Nr. 21.4, «Anlagen zur Nutzung der Erdwärme (einschliesslich der Wärme von Grundwasser) mit mehr als 5 MWth» ist vorliegend, weil die aus den projektierten Clustern geförderte Leistung 10.5 MWth beträgt und daher deutlich über 5 MWth liegt. Aus diesem Grund besteht für das vorliegende Projekte eine UVP-Pflicht.

*UVP-Pflicht***2.3.****Bewilligungen**

Es sind folgende Bewilligungen erforderlich:

Bewilligungen

- Gewässerschutzbewilligung nach Art. 19 Abs. 2 GSchG [29] für die Erstellung und die Änderungen von Bauten und Anlagen sowie Grabungen, Erdbewegungen und ähnliche Arbeiten in besonders gefährdeten Bereichen.
- Ausnahmegewilligung nach Anhang 4, Ziffer 211, Abs. 2 GSchV [39] für die Erstellung von Anlagen im Gewässerschutzbereich A_w, welche unter den mittleren Grundwasserspiegel liegen.
- Die Voraussetzung zur Grundwassernutzung gemäss Art. 32 Abs. 3 GSchV i. V. m. Anh. 2 Ziff. 21 Abs. 3 GSchV [39] ist erfüllt. Die wasserrechtliche Konzession für die Grundwasser-Nutzung wird in einem separaten kantonalen Konzessionsverfahren erteilt.

3.**Projektbeschreibung****3.1.****Standort**

Der Projektperimeter befindet sich am südöstlichen Ende des Flughafenareals (siehe Abbildung 1) in der Gemeinde Kloten. Die genaue Lage ist in der Abbildung 2 ersichtlich sowie im Übersichtsplan im Anhang A1.

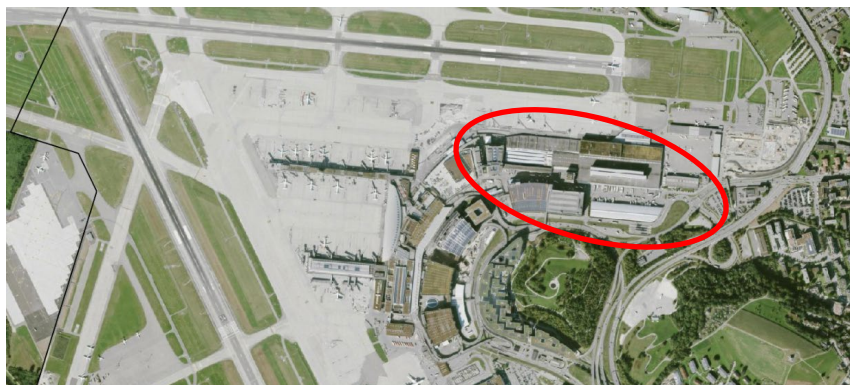
Lage

Abbildung 1: Projektperimeter (mit rotem Oval markiert), GIS-Karte Orthofoto ZH aktuell (2024/25) (Quelle: Geoportal Kt. ZH, zuletzt abgerufen am 13.08.2026).

3.2.

Vorhaben

Ziel des Projekts ist die Erschliessung der eiszeitlichen Kiesrinne mit einer thermischen Grundwassernutzung zur klimafreundlichen Versorgung des Flughafens mit Wärme und Kälte. Hierzu sind im Rahmen des Aquiferspeicherprojekts der Bau und die Anbindung mehrerer Brunnenanlagen mit der im Bau stehenden Energiezentrale Mitte geplant.

*Aquiferspei-
cherprojekt*

Die Brunnen sollen saisonal wechselweise als Entnahme- und Rückgabebrunnen betrieben werden. Der Wärmeentzug bzw. die Einspeicherung von Wärme soll in Clustern mit kalten bzw. warmen Brunnen erfolgen. Das Wärme-Cluster bestehend aus den Brunnen FO-1, P16-1 und P18-1 liefert Wärme im Winterhalbjahr. Das Kälte-Cluster bestehend aus den Brunnen V5-2, FO-2 und P6-1 liefert Kälte im Sommerhalbjahr. Dem geförderten Grundwasser wird Wärme entzogen oder zugeführt und das abgekühlte resp. erwärmte Wasser wird in denselben Grundwasserleiter (Aquifer) zurückgegeben. Mit Pumpversuchen in den Testbrunnen (P6-1, P18-1) wurde gezeigt, dass der tiefe Grundwasserleiter in der eiszeitlichen Rinne als Aquiferspeicher geeignet ist und pro Brunnen Förderraten von bis 5'000 l/min möglich sind.

*Thermische
GW-Nutzung*

Die im UVB zu beurteilenden Projektbestandteile sind die Folgenden:

*Projektbe-
standteile*

- Anergieleitungen mit Durchmesser von DN 250 bis DN 400 in offener Bauweise innerhalb des gespriessten Leitungsgraben; Leitungstiefe: ca. 1.5-2.0 m, Grabenbreite: ca. 1.50-1.80 m
- Pressvortrieb bei Leitungsbau für P18-1
- Spülbohrung bei Leitungsbau für P16-1
- Schachtbauwerke (Brunnenkeller); Grösse: 5.0 x 3.1 x 3.7 m
- Betrieb der thermischen Grundwassernutzung mittels der jeweiligen Cluster

Nicht durch den UVB zu beurteilen sind:

Nicht relevant

- Brunnenbau (wurden bereits als Testbrunnen bewilligt)

Die Lage der Anergieleitung und die erwähnten Brunnen sind in der folgenden Abbildung 2 ersichtlich (vgl. Anhang A1). Die Leitungsführung und die damit verbundenen Bauweisen sind im untenstehenden Abschnitt beschrieben.



Abbildung 2: Übersicht Projektperimeter mit den Brunnen P6-1, FO-1, V5-2, P18-1, FO-2, P16-1 und den Anergieleitungen.

Die Leitung des Brunnens P16-1 wird mittels Spülbohrung unter der Butzenbühlstrasse/Flughafenstrasse an die Leitung des Brunnens FO-1 angeschlossen und ist ca. 140 m lang.

Leitungsführung P16-1

Der geplante Brunnen FO-1 liegt nordöstlich der Speditionshalle. Von dort werden eine Anergieleitung DN 400 und zwei Leerrohre DN 110 im offenen Graben (ca. 10 m) bis an den bestehenden Medienkanal geführt (siehe violett gestrichelte Linie in Abbildung 2). Von dort verläuft die Leitung im Medienkanal bis zur Energiezentrale (vgl. Anhang A1).

Leitungsführung FO-1

Die Leitung des Brunnens P18-1 wird im offenen Graben von 160 m sowie im mittleren Abschnitt in einem grabenlosen Verfahren (Pressvortrieb) (rund 30 m) gebaut und im Bereich der Speditionstrasse an den Medienkanal angeschlossen.

Leitungsführung P18-1

Der Brunnen P6-1 wird in einem kurzen Stück im offenen Graben von ca. 3.5 m Länge ebenfalls bis zum Medienkanal und von dort im bestehenden Medienkanal bis zur Energiezentrale geführt (vgl. Anhang A1).

Leitungsführung P6-1

Die Brunnen V5-2 und der Brunnen FO-2 werden im offenen Grabenbau von ca. 300 m Länge bis unter die Fabrikhalle Ost in den Medienkanal geführt und anschliessend über den Medienkanal mit der Energiezentrale verbunden.

Leitungsführung V5-2 und FO-2

Der gesamte Leitungsverlauf der Anergieleitungen, welche Aushubarbeiten bedingen, verläuft in bereits versiegelten Flächen.

Leitungsbau

Für alle Brunnen ist der Neubau von begehbaren Brunnenschächten aus Stahlbeton vorgesehen (siehe Abbildung 3). Diese Schachtbauwerke dienen der Anbindung der Brunnen-Steigleitung an die Anergieleitung, welche mit der Energiezentrale verbunden ist. Die wasserdicht ausgeführten Brunnenschächte dienen auch dem Unterhalt. Über Öffnungen in der Decke können die Grundwasserpumpen zu Revisionszwecken ausgebaut werden. Die Grösse der Brunnenschächte ist wie folgt: L x B x H = 4.50 m x 2.60 m x 3.20 m, bei einer Wandstärke von 25 cm.

Brunnen-schächte

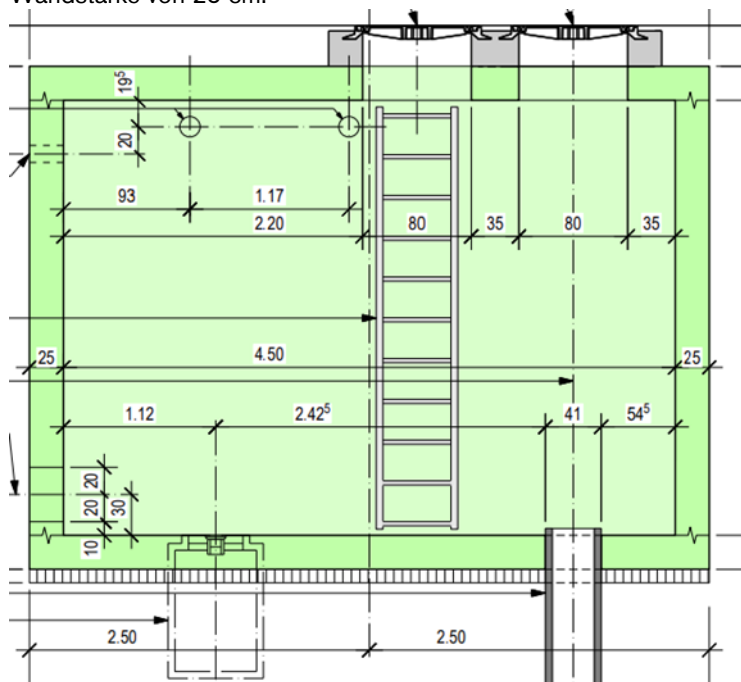


Abbildung 3: Grundriss des begehbaren Schachtbauwerks für die Brunnen.

3.3.**Bauphase**

Die Bauphase dauert in etwa 10 Monate und beinhaltet die im Kapitel 1.1 beschriebenen baulichen Massnahmen. Der Baustart ist im März 2027 vorgesehen. Die Bauarbeiten finden ausschliesslich am Tag (7 bis 12 Uhr und 13 bis 19 Uhr) statt.

*Dauer Bau-
phase*

Während der Bauphase von ca. 10 Monaten fallen Materialtransport in einer Gesamtmenge (Abtransport und Zulieferungen) von rund 5'000 m³ an. Insgesamt ist während der gesamten Bauzeit von rund 340 LKW-Fahrten bei einer Annahme von 50% Leerfahrten auszugehen. Dies entspricht ca. 9 Fahrten pro Woche über die gesamte Bauzeit betrachtet.

Bautransporte

In den Bereichen der Brunnen werden während der Bauzeit lokal Flächen als Installationsfläche genutzt und stehen dem Flughafen als Betriebsfläche temporär nicht zur Verfügung.

*Installations-
plätze*

3.4.**Betriebsphase**

Die Betriebsphase beginnt ab Januar 2028 und beinhaltet den Betrieb der Brunnen P6-1, V5-2, FO-2, FO-1 zur Förderung von Grundwasser zu thermischen Zwecken. Die Schachtbauwerke und Zuleitungen zu den Brunnen P16-1 und P18-1 werden zu einem späteren Zeitpunkt bewilligt und gebaut. Der Zeitpunkt der Erschliessung und der Inbetriebnahme dieser zwei Brunnen ist noch unbekannt.

Förderung

4.**Grundlagen****4.1.****Geologie**

Die vermuteten Umriss und Tiefen der tiefen quartären Rinnen im Bereich des Flughafens sind der Abbildung 4 ersichtlich. Die Rinnen entstanden während den Eiszeiten. Unter dem Eis sammelte sich das Schmelzwasser zu Flüssen. Aufgrund der mächtigen Eisschilde (mehrere 100 m) stand das Schmelzwasser unter hohem Druck und hatte somit ein grosses erosives Potential. Auf diese Weise konnten sich die tiefen subglazialen Tunneltäler unter dem Eis bilden. Diese haben sich entsprechend der Abflussrichtung ca. in N-S Richtung ausgebildet. An der Stirn der Gletscher im Norden konnten die Flüsse frei austreten und erodierten sich weniger tief in den Untergrund ein. Entsprechend haben die Rinnen eine Art Muldencharakter [15][16][B1].

*Entstehung
Rinnen*



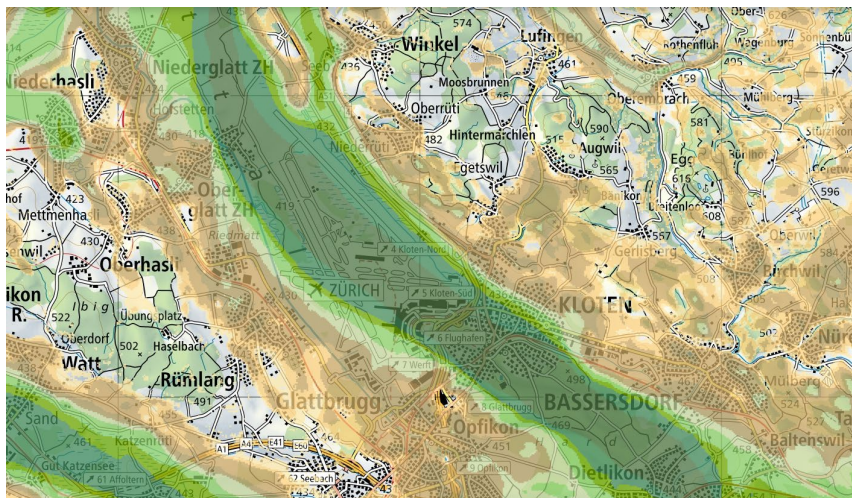


Abbildung 4: Quartäre Lockergesteinsrinne unter dem Flughafen Areal (Quelle: mag.geo.admin.ch; Zugriff: 24.11.2025).

Die Rinnen im Mittelland zeigen untereinander jeweils einen ähnlichen Aufbau (siehe Abbildung 4). Unter oberflächennahen groben Lockergesteinen (häufig fluviatile Schotter) folgen mächtige Stillwasserablagerungen (meist siltige Tone). Letztere wurden während der Verlandungsphase abgelagert, als sich nach dem Rückzug der Gletscher die tiefen Rinnen zu Schmelzwasserseen verwandelten. An der Basis der Rinnen findet man die Ablagerungsrelikte aus der hochenergetischen Phase, als sich die Schmelzwasserflüsse unter dem Eis in den Untergrund einschnitten (fluvioglaziale Schotter). Oft verzahnen oder wechseln sich die Schotter mit Moränen-Ablagerungen ab [15][16][B1].

Aufbau Rinne

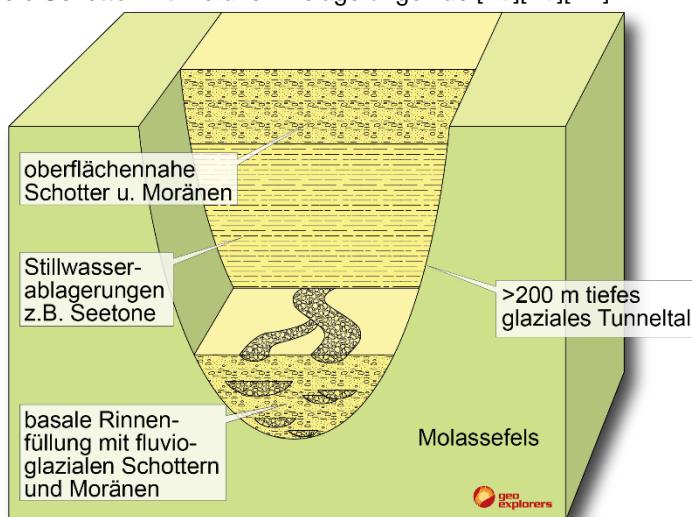


Abbildung 5: Schematischer Aufbau der quartären Rinnen.

Im Bereich der Entnahme- und Rückgabebrunnen liegt die Rinnenbasis bei ca. 310 m u. T. bis 330 m u. T. Unter oberflächennahen Stillwasserablagerungen und der grobklastischen Lage wurden mächtige Stillwasserablagerungen bzw. Seetone angetroffen. Darunter wurden Abfolgen von glaziofluvialen Schottern, umgelagertes Moränenmaterial und feinkörnige Lagen erbohrt. Zur Grundwassernutzung eignen sich nur die basalen glaziofluvialen Schotter [15][16][B1]. Darunter folgt der Fels der Oberen Meeresmolasse (OMM).

Geologie

Von oben nach unten wurden grob folgende Einheiten erbohrt (siehe Tabelle 2):

Tabelle 2: Lithostratigraphische Abfolge der Bohrung SE1 (= Brunnen P18-1) im Bereich der geplanten Grundwassernutzung [15].

Top [m u.T.]	Basis [m u.T.]	Stratigraphie	Lithologie, dominierend
0	2	Künstliche Auffüllung	Verlehmt Kies mit Sand
2	42	Hochterrassenschotter	Siltiger/ toniger Kies mit reichlich Sand
42	172	Glaziolakustrine Stillwasserablagerungen	graue bis beige graue siltige Tone
172	228	Stillwasser-, Deltaablagerungen, umgelagerte Moräne	Beige graue siltige Tone mit wenig bis reichlich Sand und Feinkies
228	260	Glaziofluviale Schotter	leicht siltiger/ toniger Kies mit reichlich bis viel Sand
260	320	Stillwasser-, Deltaablagerungen, umgelagerte Moräne	Grauer, toniger Silt mit viel Feinsand und wenig bis reichlich Mittel-Grobsand und Feinkies
320	330	Glaziofluviale Schotter	Kies mit wenig bis reichlich Sand
330	346	Molasse OMM	Grauer Fein-Mittelquarzsand mit Glaukonit

lithostratigraphische Abfolge



4.2.

Energienutzung Flughafen Zürich

Die Flughafen Zürich AG weist einen Gesamtenergieverbrauch von ungefähr 280 Gigawattstunden (GWh) pro Jahr auf. Dies entspricht dem Energiekonsum einer mittelgrossen Stadt. Der grösste Teil, rund 160 GWh, entfällt dabei auf den Strombedarf für Gebäude und Anlagen. Weitere 85 GWh werden für das Heizen und 35 GWh für das Kühlen der Gebäude gebraucht. Bei den Treibhausgasemissionen sind es sogar 90%, welche auf Heizen und Kühlen zurückzuführen sind. Somit liegt hier der grösste Hebel, bzw. der stärkste Handlungsdruck, um bis 2040 Netto-Null zu erreichen. Neben der Energieeffizienz der Gebäude ist die Wärmequelle ausschlaggebend für die Reduktion des Treibhausgasausstosses. Zurzeit erfolgt die Wärmeerzeugung im eigenen Heizkraftwerk, hauptsächlich aus Erdgas, zu einem kleineren Teil aus Heizöl.

Energieverbrauch

Zur Versorgung der Infrastruktur mit Wärme und Kälte sind im Systemperimeter umfangreiche Anlagen im Einsatz u.a. eine grosse Heizzentrale mit Wärme-Kraft-Kopplung (120 MWth, 10 MWel; 75 GWhth/Jahr, 25 GWhel/Jahr), deren Wärme über ein Fernwärmenetz abgegeben wird. Weitere Energiezentralen mit Wärmepumpen und Abwärme bestehen z.B. im Dock E, Werkhof und The Circle mit Energiepfählen und Erdwärmesonden zur Nutzung von Kälte und Wärme sowie drei Kältezentralen mit Kompressionsmaschinen, Rückkühlern und Abwärmenutzung. Deren Kennzahlen sind:

Wärme- und Kälteversorgung

- Dez. Energiezentralen (The Circle, M1, W23, etc.): ca. 6 MWth (Wärme), ca. 9 MWth (Kälte); ca. 12 GWh/Jahr (Wärme), ca. 10 GWh/Jahr (Kälte)
- Kältezentralen (A11, A40, B): ca. 26 MWth (Kälte)
- Abwärmenutzung Kältezentralen (A11, A4): ca. 3 GWh/Jahr

Mit der Nutzung des Aquifers als saisonalen Speicher soll der gesamte Flughafenkopf, d.h. 470'000 m², mithilfe der Aquifere beheizt und gekühlt werden. Die Einzel-Cluster (Dock E, The Circle, Werkhof) sollen weiterhin über die bereits bestehenden Erdsonden und Energiepfähle mit Wärme beziehungsweise Kälte versorgt werden.

Nutzung Aquifere

SC + P

5. Systemabgrenzung und Relevanzmatrix

5.1. Zeitliche Systemgrenzen

Für die Zustände Ist-Zustand, Bauphase und Betriebsphase können gemäss dem aktuellen Bauprogramm die folgenden zeitlichen Systemgrenzen definiert werden.

zeitliche Systemgrenzen

Tabelle 3: Zeitliche Systemgrenzen.

Zustände	Bezeichnung	Bezugsjahr
Ist-Zustand	Z0	2026
Bauphase	Z1	2027
Betriebszustand	Z2	2028

5.2. Räumliche Systemgrenzen

Die räumlichen Systemgrenzen entsprechen in Bezug auf die horizontale Ausbreitung dem Projektperimeter gemäss Abbildung 2 (Verlauf der Anergieleitungen und sechs Schachtbauwerke) im Kapitel 3.2. Aufgrund des Betriebs der thermischen Grundwassernutzung ist für den Umweltbereich Grundwasser die räumliche Systemgrenze deutlich grösser und umfasst umliegende Fassungen, das oberflächennahe Grundwasser sowie die Aquifere in der eiszeitlichen Rinne.

räumliche Systemgrenzen

5.3. Relevanzmatrix

In der folgenden **Tabelle 4** ist die Relevanz der Umweltbelastung pro Fachbereich für die im vorangehenden Abschnitt erläuterten, relevanten zeitlichen Zustände dargestellt. Die entsprechenden Erwägungen und Begründungen für die Relevanzbeurteilungen sind den nachfolgenden Kapiteln zu entnehmen.

Erläuterungen Relevanzmatrix

Tabelle 4: Relevanzmatrix.

Bereich	Bauphase	Betriebsphase
Natur und Landschaft	-	-
Licht	-	-
Wald	-	-
Grundwasser	x	x
Entwässerung	x	-
Oberflächengewässer und aquatische Ökosysteme/Fischerei	-	-
Störfallvorsorge	-	-
Belastete Standorte	-	-
Abfälle und Materialbewirtschaftung	x	-
Boden	-	-
Fruchtfolgeflächen	-	-
Luft	x	-
Nichtionisierende Strahlung (NIS, elektromagnetische Felder)	-	-

Lärm / Erschütterungen	x	-
Denkmalpflege und Ortsbildschutz	-	-
Archäologie und Paläontologie	-	-
Historische Verkehrswege	-	-
Langsamverkehr	-	-
Naturgefahren: Hochwasser, Massenbewegungen, Lawinen, Erdbeben	-	-

Legende: x relevant, Auswirkungen auf die Umwelt vorhanden (mit Massnahmen)
 - nicht relevant, keine bzw. unbedeutende Auswirkungen auf die Umwelt (ohne Massnahmen)



6. Nicht relevante Umweltbereiche

Die folgenden Umweltbereiche wurden bezüglich Auswirkungen auf die Umwelt während der Bau- und/oder Betriebsphase für das Projekt «Aquiferspeicher Flughafen Zürich» als nicht relevant eingestuft (vgl. Anhang A2).

keine Auswirkung

6.1. Natur und Landschaft

Die Flächen, in welchen Aushub erfolgt, liegen ausschliesslich im Bereich von bereits mit Belag versiegelten Flächen. Das Bauvorhaben hat keine Auswirkungen auf den Umweltbereich Natur und Landschaft. Der Bereich Natur und Landschaft wird als nicht relevant beurteilt.

nicht relevant

6.2. Licht

Menschen, Tiere, Pflanzen und ihre Lebensgemeinschaften, aber auch die Artenvielfalt mit ihren zum Teil spezifischen Lebensräumen sowie die nächtliche Landschaft sind vor zu viel Kunstlicht zu schützen. Für das Bauvorhaben ist voraussichtlich keine Nacharbeit und somit keine Beleuchtung der Baustelle vorgesehen. Der Umweltbereich Licht ist für die Bauphase demnach nicht relevant. Die Betriebsphase hat ebenfalls keinen Einfluss – es entstehen durch das Bauprojekt keine zusätzlichen Lichtemissionen. Der Umweltbereich Licht ist somit nicht relevant.

nicht relevant

6.3. Wald

Der Projektperimeter befindet sich ausserhalb des Waldgebiets und hält den notwendigen Waldabstand ein. Aus diesem Grund ist der Umweltbereich Wald nicht relevant.

nicht relevant

6.4. Oberflächengewässer und aquatische Ökosysteme/Fischerei

Im Bereich des Bauvorhabens befinden sich keine Oberflächengewässer. Eine Ausnahme bildet der Hochwasserentlastungskanal des Altbaches. Gemäss der Gewässerkarte des Kantons Zürich [2] handelt es sich bei diesem Gewässer um ein Objekt der Kategorie «Weitere Gewässer eingedolt/überdeckt» (vgl. Anhang A2), ohne Ausscheidung eines Gewässerraumes. Die Querung des Altbachkanals durch die Anergieleitung erfolgt im grabenlosen Verfahren mittels Pressvortrieb oberhalb des Kanalquerschnittes. Das Objekt wird somit durch das Bauvorhaben nicht tangiert. Aus diesem Grund ist der Umweltbereich Oberflächengewässer während der Bauphase sowie in der Betriebsphase nicht relevant.

nicht relevant

6.5. Störfallvorsorge

Das vorgesehene Bauvorhaben unterliegt nicht der Verordnung über den Schutz vor Störfällen (StFV) [33]. Der Umweltbereich Störfallvorsorge ist somit nicht relevant.

*nicht relevant***6.6. Altlasten**

Im Bereich des Projektperimeters sind im Kataster der belasteten Standorte (KbS) des Bundesamtes für Zivilluftfahrt (BAZL) keine Einträge vermerkt [8]. Auch in den übrigen KbS-Katastern (KbS Kantons Zürich [7], KbS Militär [10], KbS ÖV [9]) bestehen keine Einträge. Der Umweltbereich Altlasten ist somit nicht relevant.

*nicht relevant***6.7. Boden**

Die Flächen, in welchen Aushub erfolgt, liegen ausschliesslich im Bereich von bereits mit Belag versiegelten Flächen. Da im Rahmen des Bauvorhabens kein Bodenabtrag erfolgt und keine Bodenflächen temporär tangiert werden, ist der Umweltbereich Boden als nicht relevant einzustufen.

*nicht relevant***6.8. Fruchtfolgeflächen**

Der Projektperimeter befindet sich nicht auf Fruchtfolgeflächen. Es sind keine Fruchtfolgeflächen betroffen. Der Umweltbereich Fruchtfolgeflächen ist somit nicht relevant.

*nicht relevant***6.9. Nichtionisierende Strahlung (NIS)**

Das Bauvorhaben betrifft kein Objekt gemäss Anhang 1 der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) [34]. Der Umweltbereich Nichtionisierende Strahlung ist nicht relevant.

*nicht relevant***6.10. Denkmalpflege und Ortsbildschutz**

In der GIS-Karte «Archäologische Zonen und Denkmalschutzobjekte» [3] sind im Bereich des Projektperimeters keine Objekte des Denkmalschutzes eingetragen. Bei dem Bauvorhaben handelt es sich um unterirdische Bauwerke, welche keinen Einfluss auf den Ortsbildschutz haben. Für den Projektperimeter sind keine Einträge im Bundesinventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz von nationaler Bedeutung (ISOS) [1] erfasst. Es liegen auch keine Objekte im kantonalen Inventar der Landschaftsschutzobjekte im Untersuchungsgebiet vor. Es bestehen innerhalb des Projektperimeters generell keine Schutzobjekte auf Bundesebene oder kantonaler und kommunaler Ebene für den Umweltbereich Landschaft und Ortsbild. Der Umweltbereich Denkmalpflege und Ortsbildschutz ist somit nicht relevant.

*nicht relevant***6.11. Archäologie und Paläontologie**

In der GIS-Karte «Archäologische Zonen und Denkmalschutzobjekte» [3] sind im Bereich des Projektperimeters keine Objekte eingetragen. Das Bauvorhaben tangiert zudem keine ungestörten Bodenflächen, bei welchen neue archäologischen Fundstellen möglich wären. Das Terrain wurde im Rahmen von früheren Bauvorhaben bereits bis in grössere Tiefe umgestaltet. Der Umweltbereich Archäologie und Paläontologie ist somit nicht relevant.

nicht relevant

6.12.**Historische Verkehrswege**

Innerhalb des Projektperimeters in der näheren Umgebung befinden sich keine Objekte im Inventar historischer Verkehrswege der Schweiz IVS [4]. Der Umweltbereich Historische Verkehrswege ist nicht relevant.

nicht relevant

6.13.**Langsamverkehr**

Gemäss den GIS-Karten «Velonetz Alltag»[11] und «Wanderwege Zürich»[12] verläuft ein Rad- und ein Wanderweg entlang der Flughafenstrasse. Der Rad- und Wanderweg wird während den Bauarbeiten mit Pressvortrieb unterstossen und bleibt während der gesamten Bauzeit begeh- und befahrbar. Der Umweltbereich Langsamverkehr ist somit nicht relevant.

nicht relevant

6.14.**Naturgefahren: Hochwasser, Massenbewegungen, Lawinen, Erdbeben**

Die synoptische Gefahrenkarte [5] zeigt eine Restgefährdung im Bereich der Brunnen P6-1, FO-1, P16-1, FO-2 und V5-2. Die Restgefährdung hat keinen Einfluss auf die Bau- und Betriebsphase des Projekts Aquiferspeicher Flughafen Zürich. Der Umweltbereich Naturgefahren hat keine Relevanz.

nicht relevant

7.**Relevante Umweltbereiche****7.1.****Grundwasser**

Die nachstehenden Ausführungen wurden den Berichten «Abschlussbericht Phase 4» (vgl. Beilage B1), Erkenntnisse zu den Abtastbohrungen FO-1, FO-2, P16-1, V5-2, F12-1 im 2026» (vgl. Beilage B2), «Eckdaten zu geplantem Brunnen FO-1» [17] und «Simulation Bewirtschaftung Brunnen» (vgl. Beilage B3) entnommen. Für detailliertere Ausführungen wird daher auf diese Berichte verwiesen.

7.1.1.**Ausgangslage und gesetzliche Grundlagen**

Für den Fachbereich Grundwasser sind folgende Fragestellungen massgebend:

Fragestellungen

- Bauphase: Sind während der Bauphase temporäre Eingriffe in das Grundwasser vorgesehen oder wird das Grundwasser durch bauliche Massnahmen gefährdet? Entstehen permanente Bauten unterhalb des Grundwasserspiegels?
- Betriebszustand: Welche Einflüsse sind auf die Grundwasserkörper zu erwarten. Entstehen negative Auswirkungen betreffend Grundwasserqualität und -quantität? Wird der Grundwasser- und Gewässerschutz gewährleistet?

Rechtliche Grundlagen zur Beurteilung der entsprechenden Fragestellungen sind in erster Linie das Gewässerschutzgesetz (GSchG) [29] und die Gewässerschutzverordnung (GSchV) [30].

rechtliche Grundlagen

Die Nutzbarkeit von Grundwasservorkommen ist zu erhalten, indem deren Speichervolumen wie auch die Durchflusskapazität durch Bauteile gesamthaft nicht verändert werden sowie die Grundwasserspiegellage nicht dauernd erhöht oder erniedrigt wird. Ausserdem ist die Qualität des Grundwassers zu sichern. Gemäss Anhang 4 Ziffer 211 Abs. 2 der GSchV [30] dürfen im Gewässerschutzbereich A_u keine Anlagen erstellt werden, die unter dem langjährigen, natürlichen mittleren Grundwasserspiegel liegen. Ausnahmen können bewilligt werden, wenn die Durchflusskapazität gegenüber dem natürlichen Zustand um maximal

Einbauten ins Grundwasser





10% reduziert wird (vgl. Art. 31, GSchV [30]). Aufgrund der grossen Abhängigkeit der Trinkwasserversorgung von den Grundwasservorkommen wird im Kanton Zürich (AWEL) grundsätzlich die vollständige Erhaltung der Durchflussskapazität (d.h. 100%) verlangt [41], welche mittels Kompensationsmassnahmen bis zum Grundwasserstand-Hochstand gewährleistet wird.

Der Anhang 2 Ziffer 21 der GSchV [30] regelt die allgemeinen Anforderungen an die Wasserqualität unterirdischer Gewässer. So darf gemäss Absatz 3 die Temperatur des Grundwassers durch Wärmeeintrag oder Wärmeentzug gegenüber dem natürlichen Zustand um höchstens 3 K verändert werden, wobei örtlich eng begrenzte Temperaturveränderungen vorbehalten bleiben. Die Wegleitung Grundwasserschutz des BUWAL (heute BAFU) von 2004 [49] präzisiert, dass die Wärmenutzung insgesamt, also unter Berücksichtigung aller im betrachteten Grundwassergebiet installierten Anlagen, die natürliche saisonale Temperatur des Grundwassers um nicht mehr als 3 K verändern darf. Im Umkreis von maximal 100 m um das Rückversickerungsbauwerk ist jedoch eine Temperaturveränderung von mehr als 3 K zulässig. Für thermische Grundwassernutzungen gilt ebenfalls die Vollzugshilfe «Wärmenutzung aus Boden und Untergrund» [50] sowie die kantonale Planungshilfe «Energienutzung aus Untergrund und Grundwasser» [51].

*Thermische
Grundwas-
sernutzung*

Die gesetzlichen Grundlagen bzgl. der Bewilligung der Grundwassernutzung zu thermischen Zwecken (Konzession) ist im Wassergesetz (WsG) [31] sowie in der Wasserverordnung (WsV) [32] des Kantons Zürich geregelt. Für die Nutzung von Grundwasser zu Wärme- und/oder Kühlzwecken ist zusätzlich eine wasserrechtliche Konzession des Kantons notwendig (Art. 68 ff. und Art. 96 WsG) [31].

Konzession

7.1.2. Ist-Zustand

Die geologischen Verhältnisse sind im Kapitel 4.1 zusammengefasst. Der Projektperimeter befindet sich im Gewässerschutzbereich A_u ausserhalb von Grundwasserschutzzonen und -arealen. Im Projektperimeter der Cluster befindet sich ein Gebiet mit zwei Grundwasserstockwerken. Das oberflächennahe Grundwasservorkommen weist eine mittlere Grundwassermächtigkeit (2–10 m) auf. Der mittlere Grundwasserspiegel liegt gemäss Geoportal des Kantons Zürich auf 424 bis 428 m ü. M. (siehe Abbildung 6 und Anhang A3). Der Hochwasserstand liegt bei 425.5 bis 431.5 m ü. M. Der Schwankungsbereich des Grundwassers im oberen Stockwerk beträgt demnach ca. 3 m. In der Grundwasserkarte ist auch noch ein tieferes Grundwasservorkommen mit gespannten Grundwasserverhältnissen eingetragen. Dieses Vorkommen wurde in beiden Sondierungen nicht explizit beobachtet, resp. es ist zu vermuten, dass – falls es vorhanden ist – es sich auf besser wasserdurchlässige Zonen innerhalb der als glaziofluviatile Schicht bezeichnete Lithologie bezieht [B1].

*Grundwasser-
vorkommen
oberflächennah*

Das tiefe mit den abgeteuften Bohrungen erstmals sondierte tiefe Grundwasservorkommen der glazialen Rinne ist vom oberflächennahen Grundwasservorkommen durch ca. 180 m mächtige feinkörnige Seeablagerungen getrennt. Zwischen dem unteren und den oberen Grundwasservorkommen bestehen keine direkten hydraulischen Verbindungen. Detailliertere Informationen sind dem Abschlussbericht Phase 4 der Ingenieurgemeinschaft IG Rinne zu entnehmen (vgl. Beilage B1).

*Tiefes Grund-
wasservorkom-
men der glazia-
len Rinne*

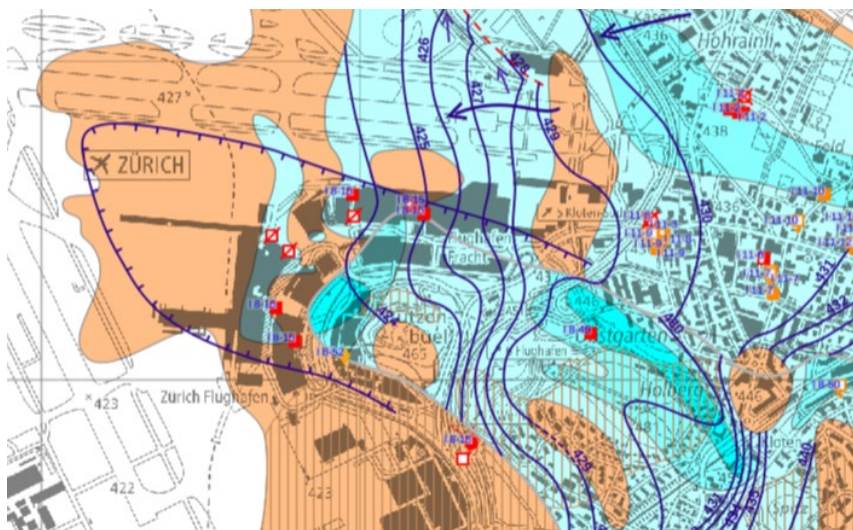


Abbildung 6: Auszug aus Grundwasserkarte (Mittelwasserstand), (Quelle: Geoportal Kt. ZH, zuletzt abgerufen am 13.08.2026).

In östlicher und nordöstlicher Richtung vom Projektperimeter bestehen die Trink- und Brauchwasserfassungen Holberg (Entfernung rund 470 m) sowie Thal (Entfernung rund 1'040 m). Weiter befinden sich auf dem Flughafenareal deutlich näher gelegen zahlreiche Grundwasserfassungen. Alle diese Fassungen fördern Grundwasser aus dem oberen Grundwasservorkommen. In Raum Kloten und Bassersdorf bestehen zudem jeweils eine thermische Grundwasserfassung, welche Wasser aus dem Felsen der Oberen Meeresmolasse (OMM) nutzen. Diese Fassungen liegen 1.4 km resp. 4.2 km entfernt.

Fassungen

7.1.3. Bauphase

Während der Bauphase ergibt sich eine erhöhte Gefährdung des Grundwasserträgers durch allenfalls versickernde, schadstoffhaltige Flüssigkeiten (Treibstoffe, Hydrauliköle, etc.), was qualitative Auswirkungen auf das Grundwasser haben kann. Um das Risiko einer Grundwasserverunreinigung zu minimieren, sind die allgemeinen kantonalen [41] und eidgenössischen Gewässerschutzauflagen und -empfehlungen (vgl. SIA-Norm 431, Entwässerung von Baustellen [40]) umzusetzen (vgl. Massnahme GW01).

Wassergefährdende Flüssigkeiten

Die Anergieleitungen werden in offener Bauweise innerhalb des gesperrten Leitungsgrabens verlegt. Die Leitungszone wird entsprechend mit geeignetem Bettungs- und Verfüllmaterial erstellt und lagenweise verdichtet. Die Leitungsgräben weisen je nach Leitungsabschnitt Tiefen von bis zu rund 3.00 m (meist ca. 1.5-2.0 m) auf. Aufgrund dieser Grabentiefen ist mehrheitlich ein Grabenverbau (Spriessung) erforderlich. Der mittlere Grundwasserspiegel im Projektperimeter liegt bei ca. 424 resp. ca. 428 m ü. M. bei einer Terrainhöhe von 428 resp. bis 433 m ü. M. Der Graben tangiert teilweise den Schwankungsbereich des oberflächennahen Grundwasserleiters. Ein Eingriff unter den mittleren Grundwasserspiegel kann für den Grabenbau ausgeschlossen werden. Als Ersatzmassnahme wird die Leitung bis zum maximalen Grundwasserspiegel mit durchlässigem Kiessand hinterfüllt (vgl. Massnahme GW03). Diese Ersatzmassnahme führt zu einem verbesserten Durchfluss als im Ausgangszustand. Aufgrund des sehr minimalen Eingriffs in die grundwasserführenden Schichten des Grundwasserbeckens von Wallisellen wird auf die Berechnung der Durchflusserhaltung verzichtet. Falls es im Graben wider Erwarten zu einem

Graben

Wasseranfall kommt, ist eine temporäre Wasserhaltung notwendig, welche mittels Pumpensumpf umgesetzt wird. Der Umgang mit dem abgepumpte Baugrubenabwasser (Grundwasser) wird in Kapitel 7.2 beschrieben.

Für die Querung der Glattalbahn wird die Anergieleitung von P18-1 mittels Pressvortrieb eingebracht. Für den Pressvortrieb sind nördlich und südlich der Glattalbahn eine Start- und Zielgrube notwendig. Gemäss Grundwasserkarte des Kantons Zürich verläuft der Pressvortrieb oberhalb des Schwankungsbereich des Grundwassers (Hochwasserstand: 430 m ü.M.). Die Start-/Zielgruben weisen Sohlenhöhen von 431.46 m ü.M. bzw. 430.34 m ü.M. auf und befinden sich über dem Schwankungsbereich des Grundwassers. Falls es in der Start- und Zielgrube wider Erwarten zu einem Wasseranfall kommt, ist eine temporäre Wasserhaltung notwendig, welche mittels Pumpensumpf bewerkstelligt wird. Der Umgang mit dem abgepumpte Baugrubenabwasser (Grundwasser) wird in Kap. 7.2 beschrieben. Die Baugrubensicherung ist noch offen, wird aber voraussichtlich mittels temporären Spundwänden gewährleistet.

*Pressvortrieb
P18-1*

Für die Querung der Glattalbahn sowie diversen Strassen (Flughafenstrasse/ Butzenbühlstrasse) wird die Anergieleitung von P16-1 mittels Spülbohrung eingebracht. Für die Spülbohrung sind westlich und östlich der Strassenkreuzung eine Start- und Zielgrube notwendig. Gemäss Grundwasserkarte des Kantons Zürich verläuft die Spülbohrung voraussichtlich über dem mittleren Grundwasserspiegel (Mittelwasserstand: 428 m ü.M.). Falls es in der Start- und Zielgrube zu einem Wasseranfall kommt, ist eine temporäre Wasserhaltung notwendig, welche mittels Pumpensumpf bewerkstelligt wird. Der Umgang mit dem abgepumpten Baugrubenabwasser (Grundwasser) wird in Kap. 7.2 beschrieben. Die Baugrubensicherung ist noch offen, wird aber voraussichtlich mittels temporären Spundwänden gewährleistet.

*Spülbohrung
P16-1*

Die Brunnenschächte (4.5 m x 2.6 m x 3.2 m) bestehen aus Stahlbeton und reichen 3.7 m in die Tiefe. Die Schachtbauwerke sind flach fundiert. Die Baugrubensicherungen sind zum jetzigen Planungstand noch unklar, dürfte jedoch mittels Spundwänden erstellt werden. Beim Brunnen P18-1 führt der Bau des Brunnenschachts aufgrund des Flurabstandes zu keinem Eingriff ins Grundwasser – eine Wasserhaltung ist nicht notwendig. Im Bereich des Brunnens P6-1 liegt der mittlere Grundwasserspiegel auf ca. 425 m ü. M. bei einer Kote OK Terrain von 429.5 m ü. M. und einer Sohle des Schachtbauwerks auf einer Kote von ca. 426 m ü. M. Aus diesem Grund erfolgt beim Bau dieses Schachtbauwerks voraussichtlich ein Eingriff in den Schwankungsbereich des Grundwassers. Im Bereich des Brunnens FO-1 liegt der mittlere Grundwasserspiegel auf ca. 428 m ü. M. bei einer Kote OK Terrain von 431 m ü. M. und einer Sohle des Schachtbauwerks auf einer Kote von ca. 427.3 m ü. M. Das Schachtbauwerk beim Brunnen FO-1 stellt einen Eingriff unterhalb des mittleren Grundwasserspiegels dar, was eine Ausnahmegewilligung der Bewilligungsbehörde erfordert. Im Bereich des Brunnens P16-1 liegt der mittlere Grundwasserspiegel auf ca. 428.5 m ü. M. bei einer Kote OK Terrain von 432.7 m ü. M. Aus diesem Grund erfolgt beim Bau dieses Schachtbauwerks ein Eingriff in den Schwankungsbereich des Grundwassers. Bei den Brunnen FO-2 und V5-2 liegt der mittlere Grundwasserspiegel auf ca. 425.5 m ü. M. bzw. ca. 424.5 m ü. M. bei einer Kote OK Terrain von 430.1 m ü. M. bzw. 428.2 m ü. M. Aus diesem Grund erfolgt beim Bau dieses Schachtbauwerks ein Eingriff in den Schwankungsbereich des Grundwassers. Für die Betonierung der Brunnenschächte im Schwankungsbereich bzw. im Grundwasser ist eine temporäre Wasserhaltung notwendig,

Schachtbauwerke



welche mittels Pumpensumpf bewerkstelligt wird. Der Umgang mit dem abgepumpte Baugrubenabwasser (Grundwasser) wird im Kapitel 7.2 beschrieben.

Zur Erhaltung der Nutzbarkeit des oberflächlichen Grundwasservorkommens und zur Wahrung der Rechte Dritter werden für die minimalen Eingriffe in den Schwankungsbereich des Grundwassers Ersatzmassnahmen vorgesehen. Die Durchflusskapazität wird mit der Hinterfüllung von durchlässigem, primärem Kiessand ($k_E = 1 \times 10^{-2}$) bis zum maximalen Grundwasserspiegel erhalten (vgl. Massnahme GW03). Diese Ersatzmassnahme mit einem geeignetem Materialersatz führt zu einem höheren Durchfluss als im Ausgangszustand, wie die untenstehende beispielhafte Berechnung für 1 Schacht zeigt. Der Grundwasserfluss kann alleine mit der Hinterfüllung problemlos aufrechterhalten werden.

Massgebend für den Grundwasserdurchfluss ist der Bauwerkschnitt mit der grössten Durchflussverminderung, also mit der grössten Einbaudichte senkrecht zur Grundwasserfliessrichtung (=Diagonale: 6.5 m).

Ersatzmass-
nahme

SC + P

Berechnung

Durchflusssnachweis:

Durchlässigkeit des Grundwasserleiters	$k_L = 10^{-4} \text{ m/s}$
Durchlässigkeit des Ersatzmaterials (Kies 16/32)	$k_E = 1 \times 10^{-2} \text{ m/s}$
Vom Schachtbauwerk P6-1 verbaute Durchfluss- fläche	$A_D = 1.3 \text{ m} \cdot 6.5 \text{ m} = 8.45 \text{ m}^2$
Durchfluss durch verbaute Durchflussfläche mit $i=0.5\%$	$V = A_D \cdot k_L \cdot i = \mathbf{0.25 \text{ l/min}}$
Fläche seitliche Hinterfüllung mit Ersatzmaterial	$A_E = 2 \cdot 0.5 \cdot 1.3 = 1.3 \text{ m}^2$
Durchfluss durch seitlich Hinterfüllung mit $i=0.5\%$	$V = A_E \cdot k_E \cdot i = \mathbf{3.9 \text{ l/min}}$

Durchfluss-
nachweis

Beim Bau des Schachtbauwerks FO-1 wird voraussichtlich in den Bereich unterhalb des mittleren Grundwasserspiegels eingegriffen. Gemäss der Praxis des BAFU infolge des Bundesgerichtsurteils 1C_460/2020 vom 30. März 2021 ist bei solchen Eingriffen eine Interessenabwägung vorzunehmen. Dabei ist aufzuzeigen, dass die Interessen am Einbau unterhalb des mittleren Grundwasserspiegels gegenüber den entgegenstehenden Interessen überwiegen.

Interessensab-
wägung

Die Schachtbauwerke sind für die technischen Installationen der Brunnen sowie für deren Betrieb und Unterhalt erforderlich. Die Standorte der einzelnen Brunnen werden durch die Eigentums- und Platzverhältnisse auf dem Flugplatzareal sowie durch das Vorkommen der eiszeitlichen Rinne bestimmt. Aufgrund dieser Rahmenbedingungen ist die Standortgebundenheit der Schachtbauwerke gegeben. Würde die Ausnahmegewilligung für den Eingriff unterhalb des mittleren Grundwasserspiegels nicht erteilt, können die beiden Cluster (Wärme- und Kälte-Cluster) nicht vollständig in Betrieb genommen werden. Dadurch würde die nutzbare thermische Leistung der geplanten Grundwassernutzung reduziert. Dies würde dem im Energiekonzept 2040 vorgesehenen Ausbau der erneuerbaren Energieversorgung entgegenstehen. Die Realisierung eines alternativen Brunnenstandorts erweist sich aufgrund der bestehenden räumlichen und hydrogeologischen Rahmenbedingungen als sehr schwierig.

Interessen am
Bau

Aufgrund des äusserst geringen Umfangs des Eingriffs und der vorgesehenen Ersatzmassnahme sind keine relevanten nachteiligen Auswirkungen auf das oberflächennahe Grundwasservorkommen sowie dessen Durchfluss- und Fliessverhältnisse zu erwarten. Auch bestehende Grundwassernutzungen im Umfeld des Brunnens FO-1 werden durch den geplanten Einbau nicht beeinträchtigt.

keine relevan-
ten Nachteile

Den Interessen an der Realisierung des Schachtbauwerks FO-1 stehen keine wesentlichen Beeinträchtigungen der Grundwassernutzung oder der Grundwasserverhältnisse gegenüber. Unter Berücksichtigung der Standortgebundenheit, der technischen Erfordernisse sowie der vorgesehenen Ersatzmassnahme ist der Eingriff unterhalb des mittleren Grundwasserspiegels aus Sicht des Projekts erforderlich und verhältnismässig.

Fazit Interessensabwägung

SC + P

Gemäss der Wegleitung Grundwasserschutz [49] ist für den Eingriff in den Schwankungsbereich des Grundwassers eine gewässerschutzrechtliche Bewilligung gemäss Art. 32 GSchV [29] notwendig. Eine Ausnahmegewilligung nach Ziffer 211, Abs. 2 GSchV [29] ist für das Erstellen von Anlagen unter den mittleren Grundwasserspiegel erforderlich. Dementsprechend stellt die Flughafen Zürich AG den Antrag, die erforderliche Ausnahmegewilligung zu erteilen.

Bewilligung

7.1.4. Betriebsphase

Konzept, Geologische Voraussetzungen

Die thermische Grundwassernutzung besteht aus zwei Clustern (Wärme/ Kälte). Das Wärme-Cluster bestehend aus den Brunnen FO-1, P16-1 und P18-1 liefert Wärme fürs Winterhalbjahr. Das Kälte-Cluster bestehend aus den Brunnen V5-2, FO-2 und P6-1 liefert Kälte fürs Sommerhalbjahr. Die Brunnen sollen saisonal wechselweise als Entnahme- und Rückgabeburten betrieben werden. Dem geförderten Grundwasser wird Wärme entzogen oder zugeführt und das abgekühlte resp. erwärmte Wasser wird über eine Druckleitung in denselben Grundwasserleiter (Aquifer) zurückgegeben. Die nachstehend dargestellten Resultate der Untersuchungen beruhen auf Untersuchungen und Modellierungen der bereits erstellten Testbrunnen P6-1 und P18-1 (vgl. Beilage B1). Durch die ausgeführten Abtastbohrungen konnte die eiszeitliche Rinne auch bei den anderen Brunnen FO-1, FO-2, V5-2 und P16-1 nachgewiesen werden. Die Standorte FO-1 und V5-2 liegen gegenüber den anderen bestehenden Brunnen näher an der Rinnenmitte. Somit wird tiefer gebohrt und es können folglich über eine mächtigere Strecke grundwasserführende Kiese erschlossen werden. Die Abtastbohrungen zeigten insgesamt unter den mächtigen Stillwassersedimenten durchlässige und wasserführende Kieslagen wie in den bestehenden Brunnen erbohrt. Aufgrund der vergleichbaren Geologie darf davon ausgegangen werden, dass die Brunnen FO-1, FO-2, V5-2 und P16-1 sehr ähnliche Grundwasserparameter aufweisen werden, wie die bestehenden Brunnen P6-1 und P18-1. Ausserdem ist aufgrund der Resultate aus den Abtastbohrungen und den intensiven Pumptests davon auszugehen, dass die Förderraten und Ergiebigkeit ebenfalls vergleichbar sind. Detaillierte Informationen zu den Abtastbohrungen sind im Bericht [17] sowie in der Beilage B2 beschrieben.

Thermische Grundwassernutzung

Resultate Untersuchungen, Charakterisierung Aquifer

In der eiszeitlichen Rinne bzw. im Aquiferspeicher besteht kein Druckgefälle, wenn das Drucksystem in der Rinne ungestört ist. Aus diesem Grund zeigen die Simulationen nur Wärme- und Kälteinseln und keine thermischen Fahnen.

Hydraulisches Gefälle

Die Pumpversuche und Zirkulationstests der Brunnen P6-1 und P18-1 haben ergeben, dass beide eine Ergiebigkeit bis maximal ca. 5'000 l/min aufweisen.

Brunnenenergiebigkeit

Die Eigenschaften des Wassers aus der eiszeitlichen Rinne wurden mittels Pumpversuchen und diversen Wasserbeprobungen zur Bestimmung der physikalischen und chemischen Eigenschaften, der Mikrofauna und Altersdatierung ermittelt.

Aquifereigenschaften



Alle Temperaturmessungen in den Sondierbohrungen zeigten in der Tiefenlage von 200–300 m eine ungestörte Untergrundtemperatur zwischen 21.6°C und 22.5°C. Die Kieslagen (grundwasserführenden Schichten) zeigen einen geringen geothermischen Gradienten. Dies ist vermutlich auf den konvektiven Wärmetransport innerhalb des tiefen Lockergesteinsgrundwasserleiters zurückzuführen. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die Aquifertemperatur bei wenig über 20°C liegt, im tieferen Rinnenbereich wahrscheinlich noch etwas höher.

Temperatur

Die elektrische Leitfähigkeit bewegt sich zwischen 454 und 470 µS/cm. Diese Leitfähigkeit ist für einen Grundwasserleiter ein tiefer bis mittlerer Wert, welcher darauf hinweist, dass die Gesamtmineralisation eher gering ist und keine Ausfällungen zu erwarten sind.

Leitfähigkeit

Der pH-Wert ist mit 8.83 erhöht und deutet auf die Herkunft eines alten Tiefenwassers hin.

pH-Wert

Das Wasser aus dem Aquifer zeigt nach erfolgter Entsandung der Brunnen im Pumpbetrieb weder eine Trübung noch eine Farbe. Das Wasser ist klar und geruchsneutral.

*Trübung /
Farbe*

Es handelt sich um ein Natrium-Karbonat-Sulfat-Wasser. Kalzium ist nur geringfügig vorhanden. Ein weiteres wichtiges Merkmal ist die niedrige Sauerstoffsättigung, welche zu reduzierenden Bedingungen führt. Gelöste Eisen- und Manganionen sind nicht nachweisbar. Ammonium ist nachweisbar und entsteht in den Tiefenwässern durch die Mineralisierung von organischer Substanz. Die geringe Sauerstoffkonzentration verhindert die weitere Oxidation zu Nitrit und Nitrat, welche beide nicht nachgewiesen wurden. Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) ist nur in geringer Konzentration von 0.31 mg/l vorhanden. Das Aquiferwasser zeichnet sich durch hohe pH-Werte, lange Verweilzeiten und niedrige Erdalkalien (Kalzium und Magnesium) aus.

Geochemie

Die Untersuchung von Grundwasserproben aus dem tiefen Aquifer am Flughafen Zürich mittels eDNA-Analysen ergab eine für dieses Medium ungewöhnlich geringe mikrobielle Vielfalt mit nur drei dominanten Bakterienstämmen. Die nachgewiesenen Mikroorganismen sind überwiegend aerobe organotrophe Bakterien. Insgesamt stufen die Fachleute die Proben als äusserst mikroorganismenarm ein, was jedoch für tiefe Grundwasservorkommen ein plausibles Ergebnis darstellt. In dieser Untersuchung der Grundwasserproben vom Flughafen Zürich wurde gezielt nach Arthropoden (CO1) und Fischen (12S) gesucht, wobei jedoch keine grundwasserassoziierten Arten nachgewiesen werden konnten. Die identifizierten Sequenzen stammten stattdessen von Insekten wie Käfern und Schmetterlingen sowie von Säugetieren (inklusive Menschen), was die Fachleute als technische Artefakte aufgrund geringer Ziel-DNA-Mengen interpretieren. Da keine echte Grundwasserfauna detektiert wurde, liefern diese speziellen Marker in den vorliegenden Proben keine Hinweise auf ein lokales Ökosystem. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass trotz sehr aufwändiger und umfangreicher Laboranalytik keine besonders hohe Biodiversität oder besonders schützenswerte Organismen detektiert werden konnten (vgl. Anhang A4 und A5).

Mikrofauna

Die Isotopenuntersuchung [20] der Wasserprobe aus dem Brunnen P18-1 hat folgende Erkenntnisse gezeigt:

Altersdatierung

- Das Grundwasser stammt aus der Atmosphäre und wurde nicht im Untergrund neu gebildet. Allerdings wurde es bei gegenüber heute deutlich kühleren klimatischen Bedingungen im Schotter eingeschlossen.
- Der bisherige Austausch des Wassers mit jungem oberflächlichem Wasser ist klein und liegt bei <15%.

- Das 14C-DIC-Modellalter liegt im Bereich von 12'000-13'000 Jahren.
- Diese Datierung bestätigt das geologische Modell eines isolierten tiefliegenden Aquifers, dessen Wasser ohne signifikanten Austausch mit oberflächennahen Wässern oder Wässern aus dem Felsuntergrund steht.



Umliegende Nutzungen, Beeinflussung Dritter

In der Lockergesteinsrinne bestehen aktuell keine weiteren Nutzungen des Tiefengrundwassers. Im räumlichen Umfeld bestehen folgende weitere Grundwassersysteme, deren Beeinflussung zu beurteilen ist:

- Beeinflussung von Grundwassernutzungen, welche die oberflächennahen Lockergesteinsschotter nutzen.
- Beeinflussung von Felsgrundwassernutzungen aus der Oberen Meeresmolasse (OMM).

*Beeinflussung
weitere GW-
Nutzer*

Gemäss dem Geologischen Untergrundaufbau (siehe Kapitel 4.1) trennen ca. 180 m mächtige vorwiegend feinkörnige Seeablagerungen das oberflächennahe Lockergestein von den Kieslagen an der Rinnenbasis (Aquiferspeicher). Die Pumpversuche im Tiefengrundwasser zeigten im oberflächennahen Grundwasservorkommen nahe bei den Grundwasserbrunnen keine Druckreaktionen, d.h. dieser mächtige Stauer wirkt als Barriere zwischen den Grundwasserstockwerken. Diese Beobachtung passt zur Feststellung, dass die Grundwasserneubildungsrate nur 100–150 m³/Tag beträgt. Bei einer direkten hydraulischen Verbindung wäre die Grundwasserneubildung deutlich höher.

*Oberflächen-
nahes Locker-
gesteinsgrund-
wasser*

Die Kiese an der Rinnenbasis stehen gemäss den ausgeführten Untersuchungen mit der OMM hydraulisch in Kontakt. Somit dürfte eine Druckveränderung im Aquifer der Rinne grundsätzlich auch in Grundwassernutzungen messbar sein, welche Grundwässer aus der OMM thermisch nutzen. In der Nähe des Flughafens bestehen zwei thermische Nutzungen (Kloten und Bassersdorf), welche die OMM nutzen, resp. genutzt haben. Die Fassung in Kloten ist ausser Betrieb (stillgelegt/aufgehoben). Die Fassung in Bassersdorf ist aufgrund von Wartungsarbeiten aktuell ausser Betrieb. Aufgrund von Druckreaktionen in jenem Brunnen während der Pumpversuche konnte nachgewiesen werden, dass die OMM im direkten hydraulischen Kontakt mit den basalen Lockergesteinen der Rinne stehen.

*Obere Mee-
resmolasse
(OMM)*

Da beim geplanten Betrieb von Dubletten die Grundwasserbilanz erhalten bleibt, führt dies zu keiner hydraulischen Beeinträchtigung des Aquifers in der OMM. Auch thermisch können die Nutzungen in einer Entfernung von rund 5 km nicht beeinflusst werden. Numerische Simulationen über 10 Jahre haben gezeigt, dass die thermischen Fahren auch bei Betrieb der Fassung in Bassersdorf kaum abfließen, weil das hydraulische Gefälle gering bleibt. Das äussere Ende der thermischen Fahren liegt im Bereich von 200–300 m um die neu geplanten Brunnen und reicht nicht bis zur Nutzung.

*Beeinflussung
Fazit*

Beurteilung Trinkwassernutzungspotential

Das tiefe Grundwasserstockwerk wird als geschlossenes System verstanden, in welchem alte Wässer [20] praktisch abgeschlossen vorliegen. Ein gewisser Austausch nach Aussen kann über die Rinnenränder sowie die OMM vermutet werden. Die Pumpversuche haben gezeigt, dass während dem Fördern von Grundwasser der Wasserspiegel in der Rinne kontinuierlich und grossflächig abgesenkt wird. Der Wiederanstieg nach den Pumpversuchen hat mehrere Wochen gedauert. Die Neubildungsrate des nachfliessenden Grundwassers in der tiefen Rinne entspricht etwa 100–150 m³/Tag, was für eine Nutzung zu

*Neubildungs-
rate*

Trinkwasserzwecken viel zu tief ist. Gleichzeitig ist eine langfristige und nachhaltige thermische Nutzung nur möglich, wenn die Grundwasserbilanz aufrecht erhalten bleibt.

Abgesehen von der zu geringen Neubildungsrate sowie geringen Sauerstoffkonzentration und der zu hohen Temperaturen aus physikalischer und chemischer Sicht wäre das Wasser Trinkwasser geeignet. Wie erwähnt ist die Grundwasserneubildungsrate viel zu gering, als dass die tiefe Rinne zu Trinkwasserzwecken genutzt werden könnte.

Trinkwasserpotential

The logo consists of a green square with the white text "S C + P" inside.

Resultate Modellierungen

Gegenüber den früheren Simulationen (vgl. Beilage B1) wurden bei der neuen Simulation die verschobenen Brunnenstandorte sowie das höhere Bewirtschaftungsziel berücksichtigt. Die Simulation basiert auf den bestehenden hydrogeologischen Grundlagen, den Ergebnissen der Pump- und Tracerversuche sowie einem maximalen Lastprofil mit einer ausgeglichenen Wärme- und Kältebilanz von je 19.5 GWh/a. Die Simulation zeigt, wieviel im Maximum mit dem geplanten Brunnensystem an Energie bezogen werden kann, resp. eingelagert werden kann.

Simulation

Gemäss den Pumpversuchen in P6-1 und P18-1 wird bei einer Förderrate von 3'200 l/min in den Brunnen eine Absenkung, resp. Aufstau von 16–18 m erwartet, bei 3'900 l/min rund 19–21 m. Diese Grössen stimmen mit den simulierten Werten überein. Die Absenkung, bez. der Aufstau, ist in allen Brunnen sehr ähnlich, was aufgrund gleich verteilter Fördermenge und ähnlichem geologischem Untergrundaufbau erwartet werden kann.

Grundwasserabsenkung/ -aufstau

Mit der Simulation der thermischen Ausbreitung soll aufgezeigt werden, wieviel Wärme/Kälte bei gegebenen geologischen Verhältnissen optimal eingespeichert werden kann und wie sich dadurch das räumliche Temperaturfeld verändert. Gleichzeitig soll geprüft werden, ob während eines Jahreszyklus thermische Kurzschlüsse resultieren. Die Simulationen zeigten, dass aus geologischer Sicht ein grosses Einspeicherungspotential besteht. Limitierend ist die Vorgabe, dass in 100 m Abstand zu den Rückgabeburgen die Grundwassertemperatur um höchstens 3 K verändert werden darf. Aufgrund des nicht vorhandenen hydraulischen Gefälles breiten sich die thermischen Fahnen radial um die Brunnen aus, aufgrund der Zirkulation mit einer gewissen Fliesstendenz zum anderen Brunnen hin (siehe Abbildung 7). Ein thermischer Kurzschluss ist gemäss den Simulationen nicht vorhanden und entspricht ebenfalls den Erkenntnissen aus dem ausgeführten Tracertest.

Thermische Ausbreitung

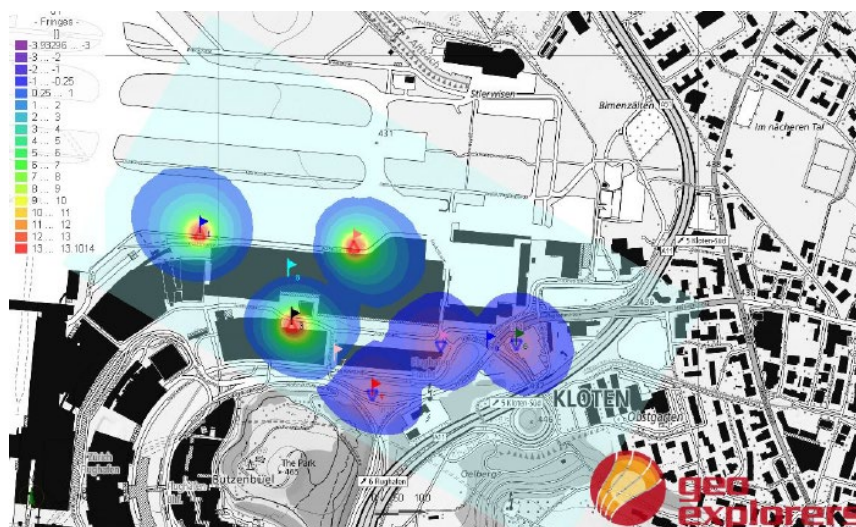


Abbildung 7: Ausdehnung am Ende der Kühlperiode, nachdem Wärme in die drei nördlichen Brunnen eingelagert wurde. Ein thermischer Kurzschluss findet nicht statt. Die 3K-Regel wird eingehalten.

Die Sensitivitätsbetrachtungen haben gezeigt, dass die Resultate der Modellierungen in erster Linie dadurch bestimmt werden, welcher Teil der basalen Kiese als hydraulisch aktiv (stark durchlässig) eingesetzt wird. Es wurden jeweils drei Szenarios modelliert. Dabei bedeutet Best-case ein grosser Anteil der Kiese ist hydraulisch aktiv und Worst-case, dass ein deutlich kleinerer Anteil hydraulisch aktiv ist. Die wichtigsten Resultate der Simulationen bezüglich Absenkung und Aufstau sowie Entwicklung der Aquifertemperatur sind in der Tabelle 5 zusammengefasst (vgl. Beilage B1).

Sensitivitätsbetrachtungen und Resultate Modellierung

Tabelle 5: Zusammenfassung der wichtigsten Resultate aus der Simulation der Doublette P6-1 und P18-1.

		Modell		
		Best	Plausibel	Worst
Max. Aufstau [m]	In P6-1	20.1	20.6	27.1
	In P18-1	15.7	17.8	17.9
Max. Absenkung [m]	In P6-1	16.1	14.4	21.6
	In P18-1	19.8	22.4	22.5
max ΔT [K] in 100 m Entfernung	max. der mod. Schichten	2.4	2.9	4.6
	min ΔT [K] in 100 m Entfernung	-2.3	-3.4	-3.78

Die Modellierung der Doublette zeigt, dass sich die Aquifertemperaturen um die genutzten Brunnen nach rund 8 Jahren eingependelt haben (Gleichgewichtszustand). Ein saisonaler thermischen Kurzschluss tritt nicht ein. Die 3 K-Regel wird nahezu in allen wasserführenden Schichten eingehalten. Im Kühlbetrieb kann sie in allen durchlässigen Schichten eingehalten werden. Im Heizbetrieb, wenn der Aquifer abgekühlt wird, zeigt das Modell für einzelne modellierte geologische

3K-Regel

Schichten, dass die 3 K geringfügig während einigen Wochen um maximal 0.4 K in einem Abstand von 100 m zum Rückgabeburrunen überschritten werden. Über das Profil gemittelt wird die 3 K-Regel aber deutlich eingehalten.

Die neue Simulation (Endausbau mit sechs Brunnen) zeigt, dass nach 10 Jahre die Temperatur in der Mitte vom kalten Cluster bei 18.4 °C und im warmen Cluster bei 20.2 °C liegt. Zwischen den Clustern bewegt sich die Temperatur mit der Jahresschwankung zwischen 18.4 °C und 20.8 °C. Die 3 K in 100 m-Regel wird somit eingehalten. Demnach sind die gesetzlichen Anforderungen für eine Nutzung des Aquifers als Wärme- und Kältespeicher erfüllt.

Temperaturen



7.1.5. Schlussfolgerungen und projektintegrierte Massnahmen

Das Grundwasser eignet sich aus physikalischer und chemischer Sicht für die thermische Nutzung.

Wassereigen-
schaften

Um das Tiefengrundwasser zu nutzen, ist eine Erhaltung der Grundwasserbilanz zwingend. Die Neubildungsrate ist mit 100–150 m³/Tag gering.

Bilanz

Eine Beeinträchtigung oder Beeinflussung von anderen Grundwassernutzern im oberflächennahen Lockergestein oder thermischen Nutzungen in der OMM können aufgrund des geringen hydraulischen Gefälles, der Distanz zu den Nutzungen (im Falle der OMM) und der geplanten Erhaltung der Grundwasserbilanz ausgeschlossen werden.

Beeinflussung

Die Resultate aller Tests und Untersuchungen der Brunnen P6-1 und P18-1 können mit grosser Sicherheit 1:1 auf die anderen Brunnen übertragen werden. Mit der neuen vorliegenden Simulation mit verschobenen Brunnenstandorten und höherem Bewirtschaftungsziel wurde ebenfalls bestätigt, dass es möglich ist, eine Energiemenge von 19.5 GWh einzulagern und wieder zu entnehmen. Der Betrieb dieser thermischen Grundwassernutzung aus der eiszeitlichen Rinne (Aquiferspeicher) hat keine negativen Auswirkungen für umliegende Fassungen/ Nutzungen, die Qualität und Quantität des Grundwasserspeichers. Durch die Betriebssteuerung können die gesetzlichen Bestimmungen (Anhang 2 Ziffer 21 der GSchV [30]) stets eingehalten werden. Dem Betrieb einer thermischen Grundwassernutzung kann aus Sicht Umwelt zugestimmt werden. Die Flughafen Zürich AG stellt daher den Antrag, die erforderliche Bewilligung zu erteilen.

Umweltverträglich / Bewilligung

Mit der Umsetzung der folgenden projektintegrierten Massnahmen (Tabelle 6) kann der Umweltbereich Grundwasser als umweltverträglich beurteilt werden. Ein umfassendes Monitoringkonzept ist im Projektdossier [19] unter Kapitel 2.2.13 dargestellt.

Massnahmen

Tabelle 6: Projektintegrierte Massnahmen Grundwasser.

Grundwasser		
Nr.	Massnahmen	Ziel der Massnahmen
<i>Bauphase</i>		
GW01	Einhaltung Gewässerschutzauflagen Einhalten der allgemeinen kantonalen und eidgenössischen Gewässerschutzauflagen und -empfehlungen (vgl. SIA 431 «Entwässerung von Baustellen»).	Verhinderung Grundwasserverunreinigung



GW02	Lagerung wassergefährdende Stoffe Behälter zur Lagerung wassergefährdender Flüssigkeiten sind so zu lagern, dass Verluste leicht erkannt und zurückgehalten werden. Die Behälter sind in überdachten Auffangwannen oder Räumen zu lagern und gegen das Abheben und den Zugriff durch Unbefugte zu sichern. Mobile Baustellentanks sind ausserdem auf befestigten Flächen zu lagern und es sind bei allen Kompensationsflächen genügend Ölbinder bereitzustellen.	Verhinderung Grundwasserverunreinigung
GW03	Ersatzmassnahmen Grundwasserdurchfluss Beim Leitungsbau sowie bei den Schachtbauwerken wird in den Schwankungsbereich des Grundwassers eingegriffen. Für die Aufrechterhaltung des Grundwasserflusses sind Ersatzmassnahmen notwendig. Die sechs Schachtbauwerken (P6-1, FO-1, FO-2, V5-2, P18-1 und P16-1) sowie die Leitungen werden bis zum maximalen Grundwasserspiegel mit Kiessand hinterfüllt.	Aufrechterhaltung Grundwasserdurchfluss
<i>Betriebsphase</i>		
GW04	Monitoring oberflächennaher Grundwasserleiter Das bestehende Pegelmonitoring des oberflächennahen Grundwasserleiters wird weitergeführt.	Verhinderung Beeinträchtigung bestehenden Grundwassernutzungen
GW05	Monitoring der Betriebsbrunnen Die Betriebsbrunnen werden permanent auf folgende Parameter überwacht: Pegel, Leitungsdruck, Temperatur sowie Durchfluss. Die gemessenen Daten werden mit den simulierten Werten verglichen, um die Simulationen stets zu verbessern.	Überwachung des Betriebszustand, Überprüfung der hydraulischen und thermischen Prozesse im Aquiferspeicher
GW06	Monitoring der Wasserzusammensetzung Das Grundwasser aus der eiszeitlichen Rinne wird in regelmässigen Abständen chemisch und biologisch analysiert und ausgewertet.	Überwachung der Grundwasserqualität, Frühzeitige Erkennung von Veränderungen
GW07	Überwachung Thermische Nutzung Die Aufrechterhaltung der Grundwasser- und Energiebilanz wird über die Energiezentrale gesteuert und überwacht.	Verhinderung einer quantitativen Beeinträchtigung des Aquiferspeichers
GW08	Überwachung im Nah- und Fernbereich Durch die stetige Überwachung der zwei tiefen bestehenden Monitoringbrunnen P1 und SE1 wird der Aquiferspeicher im Nah- und Fernbereich der geplanten Cluster zusätzlich überwacht.	Verhinderung einer qualitativen oder quantitativen Beeinträchtigung des Aquiferspeichers

7.2. Entwässerung

7.2.1. Ausgangslage und gesetzliche Grundlagen

Gemäss Gewässerschutzgesetz Art. 7 Abs. 2 [29] ist nicht verschmutztes Abwasser überall dort versickern zu lassen, wo dies aufgrund der örtlichen Verhältnisse machbar und aufgrund der Gesetzeslage zulässig ist. Bei der Wahl der Entwässerungsart ist somit unter Berücksichtigung der lokalen Bedingungen ein naturnaher Wasserkreislauf zu fördern. Erlauben die örtlichen Verhältnisse dies nicht, so kann in 2. Priorität in ein oberirdisches Gewässer eingeleitet werden, dabei sind nach Möglichkeit Rückhaltemassnahmen zu treffen, damit das Wasser bei grossem Anfall gleichmässig abfliessen kann und keine Abflussspitzen entstehen.

Verschmutztes Abwasser muss gemäss Gewässerschutzgesetz Art. 7 Abs. 2 [29] behandelt werden.

Baustellen-Abwässer enthalten oft viele mineralische Feinstoffe, welche zu unerwünschten Ablagerungen in der Kanalisation und in Gewässern führen können. Ausserdem fällt bei Arbeiten mit ungebundenem Zement und frischem Beton Abwasser an, welches alkalisch ist und ohne Behandlung Gewässer verschmutzen kann. Der Umgang mit den Baustellen-Abwässern wird in der SIA-Norm 431 [40] sowie dem Interkantonalen Merkblatt des VSA [41] geregelt.

1. Priorität Versickerung

S C + P

Verschmutztes
Abwasser

Baustellen-Abwässer

7.2.2. Ist-Zustand

Der Projektperimeter liegt ganzflächig im Gewässerschutzbereich A_u ausserhalb von Grundwasserschutzzonen und -arealen und in einem Gebiet mittlerer Grundwassermächtigkeit (siehe Kapitel 7.1).

Der Ist-Zustand ist für die Beurteilung des Umweltbereichs Entwässerung für dieses Bauprojekt nicht relevant.

A_u

nicht relevant

7.2.3. Bauphase

Gemäss der SIA 431 [40] sind die gewässerrelevanten Risiken eines Bauprojekts mittels eines dreistufigen Verfahrens (Stufe 1–3) zu beurteilen. Dabei erfolgt die Einteilung in die Stufen 1–3 anhand der Kriterien «Projektgrösse», «Gewässerkritische Bauprozesse» und «Gefährdung Schutzgüter». Das vorliegende Projekt wird unter Berücksichtigung der genannten Kriterien in die Stufe 2 eingeteilt, da das Projekt UVP-pflichtig ist. Durch die nicht vorhandenen besonderen Risiken im Projekt ist im Hinblick auf die Baustellenentwässerung lediglich mit herkömmlich belasteten Abwässern zu rechnen, welche Standard-Massnahmen (gemäss Stufe 1) für die Abwasserbehandlung gemäss Tabelle 2 der SIA 431 und Überwachungsmassnahmen gemäss Ziffer 2.4.5 der SIA 431 erfordern.

Folgende Abwässer können beim Bau erwartet werden:

- Baugruben- und Niederschlagsabwasser (inkl. alkalisches Abwasser aus Betonierarbeiten)
- Abwässer aus Spül- und Pressbohrungen
- Waschabwasser aus Geräte-/Werkzeugreinigung
- Einsatz von Absetz- und Neutralisationsbecken
- Entwässerung Installationsplatz (voraussichtlich über die Schulter via bestehender Strassenentwässerung)
- Einsatz von mobilen WC-Anlagen (z.B. ToiToi)

Stufe 1 gem.
SIA 431

relevante

Entw.-Aspekte

Vor Baubeginn ist ein Baustellen-Entwässerungskonzept auszuarbeiten (siehe Massnahme Ew1) und während der Bauphase die Vorgaben der SIA-Norm 431 «Entwässerung von Baustellen» [40] und des Merkblatts des VSA [41] umzusetzen (siehe Massnahme Ew2). Im Konzept sollten u.a. folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Massnahmen Vorbehandlung und Entsorgung Baustellenabwasser
- Massnahmen zum Schutz des Grundwassers

*Baustellen-
Entwässerungs-
konzept*



7.2.4. Betriebsphase

Der Vollständigkeit halber ist zu erwähnen, dass in der Technikzentrale (Energiezentrale Mitte) als Sicherheitselement ein Sandfilter vorgesehen ist, welcher periodisch durch Rückspülen gereinigt werden muss (vgl. Kapitel. 2.2 im Technischen Bericht). Das dabei anfallende Wasser wird in die Schmutzwasserkanalisation abgegeben. Der Betrieb der thermischen Grundwassernutzung hat keine Auswirkungen auf das betriebliche Entwässerungssystem des Flughafens Zürich. Der Umweltbereich Entwässerung ist für die Betriebsphase nicht von Relevanz.

keine Relevanz

7.2.5. Schlussfolgerungen und projektintegrierte Massnahmen

Das Bauvorhaben kann gemäss SIA 431 der Stufe 2 (Standardmassnahmen) zugewiesen werden. Die gewässerrelevanten Risiken sind akzeptabel; es gelten die Standardmassnahmen gemäss Stufe 1.

Fazit

Mit der Umsetzung der folgenden projektintegrierten Massnahmen (Tabelle 7) kann der Fachbereich Entwässerung als umweltverträglich beurteilt werden.

umweltverträglich

Tabelle 7: Projektintegrierte Massnahmen Entwässerung.

Entwässerung		
Nr.	Massnahmen	Ziel der Massnahmen
<i>Bauphase</i>		
Ew1	Baustellen-Entwässerungskonzept Vor Baubeginn wird ein Baustellen-Entwässerungskonzept nach SIA 431 «Entwässerung von Baustellen» [40] und des Merkblatts des VSA [41] erstellt und der zuständigen Behörde zur Genehmigung eingereicht.	Verhinderung von Gewässerverschmutzungen durch den Baustellenbetrieb
Ew2	Baustellenentwässerung Während der Bauphase wird die Baustellenentwässerung nach SIA 431 «Entwässerung von Baustellen» [40] und des Merkblattes des VSA [41] umgesetzt.	Verhinderung von Gewässerverschmutzungen durch den Baustellenbetrieb

7.3. Abfälle und Materialbewirtschaftung

7.3.1. Ausgangslage und gesetzliche Grundlagen

Das Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG) [21] sowie die Abfallverordnung (VVEA) [25] enthalten die grundsätzlichen Vorschriften für einen umweltverträglichen Umgang mit Abfällen. Es gelten folgende Grundsätze:

- Die Erzeugung von Abfällen soll so weit wie möglich vermieden werden.
- Abfälle müssen so weit als möglich verwertet werden.
- Abfälle müssen umweltverträglich und soweit es möglich und sinnvoll ist im Inland entsorgt werden.

Konkrete Anforderungen insbesondere für die Beurteilung und Entsorgung von Bauabfällen sind in den VVEA-Vollzugshilfen Modul zur Verwertung mineralischer Rückbaumaterialien [37] sowie Modul Bauabfälle [38] festgelegt.

Gemäss Art. 16 der VVEA [25] muss bei Bauarbeiten die Bauherrschaft der für die Baubewilligung zuständigen Behörde im Rahmen des Baubewilligungsgesuches Angaben über die Art, Qualität und Menge der anfallenden Abfälle und über die vorgesehene Entsorgung machen wenn: Voraussichtlich mehr als 200 m³ Bauabfälle anfallen; oder Bauabfälle mit umwelt- oder gesundheitsgefährdenden Stoffe wie polychlorierte Biphenyle (PCB), polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Blei oder Asbest zu erwarten sind.

Darüber hinaus verfügt der Flughafen Zürich über ein eigenes Generelles Entsorgungskonzept (GEK), welches für sämtliche Bauprojekte am Flughafen verbindlich ist.

*Gesetzliche
Grundlagen*

Richtlinien

*Angaben zur
Art, Qualität,
Menge*

*Entsorgungs-
konzept*

7.3.2. Ist-Zustand

Es finden keine gewerblichen oder industriellen Nutzungen statt. Der Ist-Zustand ist für die Beurteilung des Umweltbereichs Abfälle und Materialbewirtschaftung für dieses Bauprojekt nicht relevant.

Es bestehen im Projektperimeter keine Einträge im Kataster der belasteten Standorte (KbS BAZL) [8]. Innerhalb des Aushubperimeters liegen zwar Einträge im Prüfperimeter für Bodenverschiebungen (PBV) [6] vor. Während der Bauarbeiten kommt es zu keinem Bodenabtrag bzw. wird kein Boden abgeführt (vgl. Kapitel 7.3.3).

nicht relevant

KbS / PBV

7.3.3. Bauphase

Während der Bauphase fallen durch den Leitungsbau sowie für die Schachtbauwerke (Verdrängung und Materialersatz) folgende Abfälle an:

- Aushubmaterial (unverschmutzt): 2'450 m³ lose
- Ausbauasphalt: ca. 200 m³ fest
- Beton- und Mischabbruch: ca. 25 m³ fest

Das Material wird untergeordnet teilweise vor Ort zwischengelagert und nach dem Leitungsbau wieder eingebracht. Überschüssiges Material wird abgeführt und der Verwertung zugeführt. Es bestehen keine Belastungshinweise, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass lediglich unverschmutzter Aushub anfällt. Des Weiteren wird Material zugeführt (Lieferung von Kies und Beton für Leitungsbau, Beläge, etc.). Während der Bauphase werden folgende Materialien zugeführt:

- Kies- und Fundationsmaterial: 1'900 m³ lose
- Ausbauasphalt: ca. 200 m³ fest
- Konstruktionsbeton: ca. 150 m³ fest
- Bewehrungsstahl: ca. 16 t

Abfälle

*Materialbewirt-
schaftung*



Die Flächen, in welchen Aushub erfolgt, liegen ausschliesslich im Bereich von bereits mit Belag versiegelten Flächen. Es sind durch das Projekt keine Flächen mit Boden betroffen.

kein Boden

Vor Baubeginn ist gemäss VVEA [25] Art. 16 ein Entsorgungskonzept zu erstellen. Darin sind die Abfallqualitäten, Entsorgungsmengen, Entsorgungswege bzw. Wiederverwertung aufzuführen.

Entsorgungskonzept



7.3.4. Betriebsphase

Die thermische Grundwassernutzung ist ein Kreislaufsystem, bei welchem grundsätzlich keine Abfälle anfallen. Der Vollständigkeit halber ist zu erwähnen, dass in der Technikzentrale als Sicherheitselement ein Sandfilter vorgesehen ist, welcher periodisch gereinigt werden muss. Der anfallende Sand/Schlamm kann als unverschmutztes Material entsorgt werden. In Anbetracht der voraussichtlich im Betriebszustand anfallenden Kleinstmengen an Sand/Schlamm hat das Vorhaben aus der Sicht des Umweltbereichs Abfälle keine relevanten Auswirkungen (vgl. Kapitel. 2.2 im Technischen Bericht).

nicht relevant

7.3.5. Schlussfolgerungen und projektintegrierte Massnahmen

Im Rahmen des Bauvorhabens fallen nur geringe Mengen an Abfällen und wenige verschiedene Abfallkategorien an.

Fazit

Mit der Umsetzung der folgenden projektintegrierten Massnahme (Tabelle 8) kann der Fachbereich Abfälle und Materialbewirtschaftung als umweltverträglich beurteilt werden.

umweltverträglich

Tabelle 8: Projektintegrierte Massnahmen Abfälle und Materialbewirtschaftung.

Abfälle		
Nr.	Massnahmen	Ziel der Massnahmen
<i>Bauphase</i>		
Ab1	Entsorgungskonzept Vor Baubeginn wird ein Entsorgungskonzept erstellt und der zuständigen Behörde zur Genehmigung eingereicht.	Fachgerechte Entsorgung umweltgefährdende Stoffe

7.4. Luft

7.4.1. Ausgangslage und gesetzliche Grundlagen

Die Luftreinhalteverordnung des Bundes (LRV [27]) als Ausführungsverordnung des Umweltschutzgesetzes (USG [21]) bildet die gesetzliche Grundlage für den Fachbereich Luftreinhaltung. Die Luftreinhalteverordnung legt die vorsorglichen Emissionsbegrenzungen und die Immissionsgrenzwerte (IGW) für verschiedene Luftschadstoffe fest und verpflichtet die Kantone bei übermässigen Immissionen einen Massnahmenplan zu erarbeiten (LRV, Art. 31).

LRV

Für die Begrenzung von Luftschadstoffemissionen während der Bauphase sind die Massnahmen der Baurichtlinie Luft [42] zu berücksichtigen und umzusetzen. Diese Richtlinie ist nicht grenzwert-, sondern massnahmenorientiert. Die Baustelle wird aufgrund deren Dauer, Grösse und Kubatur einer Massnahmenstufe zugeordnet.

Baurichtlinie
Luft

7.4.2. Ist-Zustand

Der Projektperimeter liegt im Flughafenareal, grenzt an den Autobahnabschnitt A51 und liegt im städtischen Gebiet. Der Betrieb des Flughafens und insbesondere die Flugzeuge verursachen Schadstoffe in der Luft. Es lassen sich vier Quellen unterscheiden: Flugzeuge, Abfertigungsvorgänge, Flughafeninfrastruktur und landseitiger Verkehr [14].

Lage

Die Luftimmissionen werden flächendeckend mit spezialisierten Computerprogrammen modelliert und parallel an bestimmten Orten gemessen. Am Flughafen ist an zentraler Lage eine vollautomatische Messstation im Einsatz, die mehrere Schadstoffe erfasst. Hinzu kommen sogenannte Passivsammler, mit deren Hilfe der Leitschadstoff Stickstoffdioxid gemessen wird [14].

Monitoring

Die Emissionsmengen der Stickoxide (NO_x) sind am Flughafen Zürich im Jahr 2025 erneut angestiegen (2025: 1'415 t; 2024: 1'249 t; 2023: 1'184 t). Zurückzuführen ist dies auf die steigende Anzahl Flüge und die Tatsache, dass im Durchschnitt schwerere Flugzeuge mit einem entsprechend höheren Schadstoffausstoss eingesetzt werden [14]. Die Immissionswerte liegen 2025 noch knapp unter dem Grenzwert von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [27].

Emissionssituation NO_x

In der Umgebung des Flughafens Zürich wurde 2025 der NO_2 -Jahresmittel-Grenzwert der LRV von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an allen Messstandorten eingehalten. An der strassennahen Station «Opfikon, Balsberg» (OSTLUFT-Messstation, direkt an der Autobahn A51) lag der NO_2 -Jahresmittelwert 2025 bei $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$. An der Station «Kloten, Feld» wurde der Grenzwert mit $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich unterschritten.

Umgebung

Gemäss dem Geschäftsbericht der Flughafen Zürich AG wird der PM_{10} -Immissionsgrenzwert der LRV von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am Standort unterschritten. Es zeigt sich in den letzten Jahren eine geringe Zunahme der Feinstaubbelastung (2025: 17 t; 2024: 16 t; 2023: 16 t) [14].

Immissionen PM_{10}

7.4.3. Bauphase

In der Bauphase werden Emissionen von Luftschadstoffen durch den Einsatz dieselbetriebener Baumaschinen sowie durch Transportprozesse von Rückbau- und Baumaterialien verursacht.

Baumaschinen, Transporte

Aufgrund der kurzen Bauphase (< 1 Jahr), der geringen Bauarealfläche ($< 4'000 \text{ m}^2$) und geringen Kubaturen ($< 10'000 \text{ m}^3$) erfolgt die generelle Einstufung des Projekts in die Massnahmenstufe A gemäss der Baurichtlinie Luft [42]. Die Massnahmenstufe A definiert, dass Maschinen, Geräte und Arbeitsprozesse mindestens der Normalausrüstung und üblichen Prozessanwendung entsprechen müssen (Basismassnahmen).

Massnahmenstufe A

Während den Bauarbeiten werden Schüttgüter von rund $2'700 \text{ m}^3$ abgeführt und ca. $2'300 \text{ m}^3$ zugeführt. Während der Bauzeit von 10 Monaten wird mit rund 340 LKW-Fahrten gerechnet (Annahme 50% Leerfahrten). Dies entspricht 9 LKW-Fahrten pro Woche (siehe Kapitel 3.3). Aufgrund der sehr geringen Massenguttransporte erfolgt keine Beurteilung nach der Richtlinie Luftreinhaltung bei Bautransporten [43].

Bautransporte

7.4.4. Betriebsphase

Der Betrieb der Brunnenanlagen führt zu keinen Luftschadstoffemissionen. Ebenso führt der Betrieb der Anlage zu keinem relevanten Mehrverkehr. In Anbetracht, dass mit dem Betrieb der Grundwassernutzung v.a. im Winter der Verbrauch von fossiler Energie signifikant reduziert werden kann, dürften sich die Luftschadstoffemissionen im Betriebszustand sogar reduzieren. Der Umweltbereich Luft ist für die Betriebsphase somit nicht relevant.

nicht relevant



7.4.5. Schlussfolgerungen und projektintegrierte Massnahmen

Während der Bauphase wird die Massnahmenstufe A der Baurichtlinie Luft eingehalten. Der Betrieb der Brunnenanlage führt zu keiner Zunahme der Luftschadstoffemissionen.

Mit der Umsetzung der folgenden projektintegrierten Massnahmen (Tabelle 9) kann der Fachbereich «Luftreinhaltung» als umweltverträglich beurteilt werden.

Tabelle 9: Projektintegrierte Massnahmen Luftreinhaltung.

Luftreinhaltung

Nr.	Massnahmen	Ziel der Massnahmen
<i>Bauphase</i>		
Lu-1	Anwendung Baurichtlinie Luft Es wird die Massnahmenstufe A gemäss Baurichtlinie Luft umgesetzt. Insbesondere werden folgende Massnahmen umgesetzt: - Für Maschinen und Geräte mit Dieselmotoren werden schwefelarme Treibstoffe (Schwefelgehalt < 50 ppm) verwendet. - Für Maschinen und Geräte mit Verbrennungsmotoren ≤ 18 kW muss die regelmässige Wartung z.B. durch einen Wartungskleber dokumentiert werden. - Alle Maschinen und Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren > 18 kW müssen • identifizierbar sein, • gemäss Anhang 2 periodisch kontrolliert werden und über ein entsprechendes Abgaswartungsdokument verfügen und - Maschinen und Geräte mit Dieselmotoren werden gemäss VVESA mit einem Partikelfilter-System (PFS) gemäss den Empfehlungen der Filterliste (BAFU, SUVA) ausgerüstet. - Bei staubintensiven Arbeiten werden staubmindernde Massnahmen ergriffen.	Reduktion von Luftschadstoffemissionen

Fazit

umweltverträglich



7.5. Lärm / Erschütterungen

7.5.1. Ausgangslage und gesetzliche Anforderungen

Die Grundlage für die Beurteilung des Fachbereichs Lärm bilden das Umweltschutzgesetz (USG) [21] und die Lärmschutzverordnung (LSV) [27]. Der Fachbereich Lärmschutz beurteilt folgende Themenkreise:

- Auswirkungen der Lärmimmissionen infolge des Betriebslärms gegenüber den angrenzenden lärmempfindlichen Nutzungen
- Auswirkungen auf die Lärmsituation bei den angrenzenden Liegenschaften, bzw. nicht überbaute Bauzonen infolge des projektinduzierten Mehrverkehrs
- Auswirkungen der durch den Bau des Vorhabens erzeugten Lärmimmissionen (Baulärm)

Bezüglich des Industrie- und Gewerbelärms (I+G) müssen gemäss LSV [27] Art. 7 die Lärmemissionen eines Betriebs einer neuen ortsfesten Anlage so weit begrenzt werden, als dies technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar ist und dass durch die von der Anlage allein erzeugten Lärmimmissionen die Planungswerte der LSV Anhang 6 nicht überschritten werden.

Bezüglich des Strassenverkehrslärms darf die Mehrbeanspruchung von Verkehrsanlagen durch den Betrieb von neuen oder wesentlich geänderten ortsfesten Anlagen gemäss LSV [27] Art. 9 nicht dazu führen, dass die Immissionsgrenzwerte der LSV Anhang 3 für die Zufahrtsstrassen überschritten werden. Bei sanierungsbedürftigen Verkehrsanlagen dürfen keine wahrnehmbar höheren Lärmimmissionen erzeugt werden, was gemäss üblicher Praxis einer Pegelerhöhung von maximal 1 dB(A) entspricht.

Für die Begrenzung von Baulärm gegenüber Räumen mit lärmempfindlicher Nutzung sind die Massnahmen der Baulärm-Richtlinie [39] zu berücksichtigen und umzusetzen. Diese Richtlinie ist nicht grenzwert-, sondern massnahmenorientiert. Der während einer Bauphase produzierte Lärm wird beurteilt und einer Massnahmenstufe zugeordnet.

Für die Einwirkung der von Baustellen verursachten Erschütterungs- und Körperschallimmissionen auf den Menschen bestehen keine verbindlichen Grenzwerte, die entsprechende Verordnung gemäss USG [21] Art. 13 existiert (noch) nicht. Artikel 15 USG hält fest, dass «die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich» gestört werden soll. Für die Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungs- und Körperschallimmissionen auf den Menschen kann die DIN 4150 – Teil 2 [44] herangezogen werden. Die Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungs- und Körperschallimmissionen auf Gebäude erfolgt nach der Norm VSS 40 312 [45]. Generell gilt bei Baustellen eine Differenzierung der Beurteilung zwischen der Einwirkung auf den Menschen (Störung) und der Einwirkung auf Gebäude (Gebäudeschäden). Die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke wird nicht im Rahmen des Umweltberichts durchgeführt.

gesetzliche
Grundlagen

S C + P

Industrie- und
Gewerbelärm

Strassenver-
kehrslärm

Baulärm

Erschütte-
rungs- und
Körperschal-
limmissionen

7.5.2. Ist-Zustand

Sämtliche Bauten liegen innerhalb des SIL (Sachplan Infrastruktur der Luftfahrt) Perimeters des Flughafens Zürich und sind daher auf die Vorgaben der Raumplanung abgestimmt (Art. 9 Abs. 4 UVPV [4]). Der Projektperimeter befindet sich in der Empfindlichkeitsstufe (ES) IV [13]. Die nächstgelegenen Wohnhäuser und Büroräumlichkeiten mit lärmempfindlichen Nutzungen liegen ca. 200 m östlich und südlich des Projektperimeters (Wiesenweg, Schützenmattstrasse und Eichweg), welche der Empfindlichkeitsstufe II und III zugeordnet sind. Im Projektperimeter selbst befinden sich Parkhäuser, Bürogebäude und Logistikunternehmen,

Empfindlich-
keitsstufen

welche bereits heute durch Fluglärm, Strassenlärm und betriebseigenen Lärm vorbelastet sind.

7.5.3. Bauphase

Die Beurteilung gemäss der Baulärm-Richtlinie [39] erfolgt entsprechend der Lärmempfindlichkeit der betroffenen Gebiete, der Dauer der lärmigen Bauphase und den lärmintensiven Bauarbeiten, der Tageszeit, in der diese stattfinden und der Distanz, die zwischen der Baustelle und den nächstgelegenen Räumen mit lärmempfindlicher Nutzung liegt.

Die Bauarbeiten (lärmige Bauphase) und somit anfallenden Massenguttransporten für das Bauvorhaben fallen während einer Bauzeit von etwa 10 Monaten an.

Gemäss aktuellem Planungsstand sind keine lärm- und erschütterungsintensiven Arbeiten vorgesehen. Die Bauarbeiten finden generell am Tag statt (07.00 bis 12.00 Uhr und 13.00 bis 19.00 Uhr). Wochenendarbeiten finden keine statt.

Aufgrund der obigen Ausführungen und der betroffenen Empfindlichkeitsstufe II und III können die Bauarbeiten (lärmig und lärmintensiv) somit gemäss der Baulärmrichtlinie [39] in die Massnahmenstufe B eingestuft werden. Die Massnahmenstufe B definiert, dass Maschinen und Geräte dem anerkannten Stand der Technik entsprechen müssen.

Bautransporte finden ausschliesslich am Tag statt. Gemäss der Baulärmrichtlinie kann der zusätzliche Strassenverkehr am Tag wie folgt bestimmt werden (siehe auch Kapitel 3.3):

$$Ft = \frac{Bt}{T} = 8.5$$

Ft: Zusätzlicher Strassenverkehr durch die Bautransporte

Bt: Anzahl Bautransporte während der totalen Bauzeit mit der Annahme von 50 % Leerfahrten: 340

T: Totale Bauzeit in Wochen: 40

Aufgrund der zu erwartenden geringen Massenguttransporten (Ft beträgt durchschnittlich rund 9 Fahrten / Woche) wird gemäss der Baulärmrichtlinie die Massnahmenstufe A (Minimalanforderung) für die Bautransporte festgelegt.

7.5.4. Betriebsphase

Der Betrieb der Brunnenanlagen führt zu keinen relevanten Lärm- und Erschütterungsimmissionen. Ebenfalls generiert der Anlagenbetrieb kein relevanter Mehrverkehr. Somit ist der Umweltbereich Lärm / Erschütterungen in der Betriebsphase nicht relevant.

7.5.5. Schlussfolgerungen und projektintegrierte Massnahmen

Das Bauvorhaben «Aquiferspeicher - Flughafen Zürich» generiert keinen relevanten Mehrverkehr. Auch führt der Betrieb der Brunnenanlage zu keinen relevanten Lärm- und Erschütterungsimmissionen. Für die Bauarbeiten und Bautransporte wird die Massnahmenstufe A gemäss der Bautransportrichtlinie [39] umgesetzt. Unter Berücksichtigung der projektintegrierten Massnahmen (Tabelle 10) während der Bauphase kann das Vorhaben als umweltverträglich eingestuft werden. Das Projekt erfüllt die Anforderungen der LSV.

Kriterien Beurteilung

Bauzeit

lärm- und erschütterungsintensive Bauarbeiten

Massnahmenstufe B

Bautransporte

Bautransporte: Massnahmenstufe A

nicht relevant

Fazit

umweltverträglich

Tabelle 10: Projektintegrierte Massnahmen Lärmschutz.

Lärm und Erschütterungen		
Nr.	Massnahmen	Ziel der Massnahmen
<i>Bauphase</i>		
Lä / Er1	Anwendung Baulärmrichtlinie Bezüglich der lärmigen, lärmintensiven Bauarbeiten wird die Massnahmenstufe B umgesetzt: - Maschinen und Geräte entsprechen dem anerkannten Stand der Technik (Bauarbeiten) Für Bautransporte gilt Massnahmenstufe A: - Transportfahrzeuge verfügen über die Normalausrüstung (Bautransporte)	Reduktion Baulärmemissionen



8. Beurteilung der Umweltverträglichkeit, inkl. Massnahmenübersicht

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass das Projekt «Aquiferspeicher - Flughafen Zürich» unter Berücksichtigung der vorgesehenen Massnahmen die massgeblichen Vorschriften der Umweltgesetzgebung einhält und somit als umweltverträglich beurteilt werden kann.

Projekt ist umweltverträglich

Aufgrund der geringen und umweltrechtlich unkritischen Eingriffe auf dem Flughafenareal ist für die Bauphase keine Umweltbaubegleitung (UBB) erforderlich. Für den Betrieb der thermischen Grundwassernutzung (drei Dubletten) und die Überwachung des Pumpbetriebs wird durch die Flughafen Zürich AG ein Monitoring umgesetzt. Das Monitoringkonzept ist unter Kapitel 2.2.13 im [19] zu finden.

keine Umweltbaubegleitung

Eine Übersicht aller Massnahmen ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Massnahmenübersicht

Tabelle 11: Massnahmenübersicht.

Massnahmenübersicht		
Nr.	Massnahmen	Ziel der Massnahmen
GW01	Einhaltung Gewässerschutzauflagen Einhalten der allgemeinen kantonalen und eidgenössischen Gewässerschutzauflagen und -empfehlungen (vgl. SIA 431 «Entwässerung von Baustellen»).	Verhinderung Grundwasserverunreinigung



GW02	Lagerung wassergefährdende Stoffe Behälter zur Lagerung wassergefährdender Flüssigkeiten sind so zu lagern, dass Verluste leicht erkannt und zurückgehalten werden. Die Behälter sind in überdachten Auffangwannen oder Räumen zu lagern und gegen das Abheben und den Zugriff durch Unbefugte zu sichern. Mobile Baustellentanks sind ausserdem auf befestigten Flächen zu lagern und es sind bei allen Kompensationsflächen genügend Ölbinder bereitzustellen.	Verhinderung Grundwasserverunreinigung
GW03	Ersatzmassnahmen Grundwasserdurchfluss Beim Leitungsbau sowie bei den Schachtbauwerken wird in den Schwankungsbereich des Grundwassers eingegriffen. Für die Aufrechterhaltung des Grundwasserflusses sind Ersatzmassnahmen notwendig. Die sechs Schachtbauwerke (P6-1, FO-1, FO-2, V5-2, P18-1 und P16-1) sowie die Leitungen werden bis zum maximalen Grundwasserspiegel mit Kiessand hinterfüllt.	Aufrechterhaltung Grundwasserdurchfluss
GW04	Monitoring oberflächennaher Grundwasserleiter Das bestehende Pegelmonitoring des oberflächennahen Grundwasserleiters wird weitergeführt.	Verhinderung Beeinträchtigung bestehenden Grundwassernutzungen
GW05	Monitoring der Betriebsbrunnen Die Betriebsbrunnen werden permanent auf folgende Parameter überwacht: Pegel, Leitungsdruck, Temperatur sowie Durchfluss. Die gemessenen Daten werden mit den simulierten Werten verglichen, um die Simulationen stets zu verbessern.	Überwachung des Betriebszustand, Überprüfung der hydraulischen und thermischen Prozesse im Aquiferspeicher
GW06	Monitoring der Wasserzusammensetzung Das Grundwasser aus der eiszeitlichen Rinne wird in regelmässigen Abständen chemisch und biologisch analysiert und ausgewertet.	Überwachung der Grundwasserqualität, Frühzeitige Erkennung von Veränderungen
GW07	Überwachung Thermische Nutzung Die Aufrechterhaltung der Grundwasser- und Energiebilanz wird über die Energiezentrale gesteuert und überwacht.	Verhinderung einer quantitativen Beeinträchtigung des Aquiferspeichers.
GW08	Überwachung im Nah- und Fernbereich Durch die stetige Überwachung der zwei tiefen bestehenden Monitoringbrunnen P1 und SE1 wird der Aquiferspeicher im Nah- und Fernbereich der geplanten Cluster zusätzlich überwacht.	Verhinderung einer qualitativen oder quantitativen Beeinträchtigung des Aquiferspeichers.
Ew1	Baustellen-Entwässerungskonzept Vor Baubeginn wird ein Baustellen-Entwässerungskonzept nach SIA 431 «Entwässerung von Baustellen» [40] und des Merkblattes des VSA [41] erstellt und der zuständigen Behörde zur Genehmigung eingereicht.	Verhinderung durch Gewässerverschmutzungen durch den Baustellenbetrieb



Ew2	Baustellenentwässerung Während der Bauphase wird die Baustellenentwässerung nach SIA 431 «Entwässerung von Baustellen» [40] und des Merkblattes des VSA [41] umgesetzt.	Verhinderung Gewässerverschmutzungen durch den Baustellenbetrieb
Ab1	Entsorgungskonzept Vor Baubeginn wird ein Entsorgungskonzept erstellt und der zuständigen Behörde eingereicht.	Fachgerechte Entsorgung umweltgefährdender Stoffe
Lu-1	Anwendung Baurichtlinie Luft Es wird die Massnahmenstufe A gemäss Baurichtlinie Luft umgesetzt. Insbesondere werden folgende Massnahmen umgesetzt: - Für Maschinen und Geräte mit Dieselmotoren werden schwefelarme Treibstoffe (Schwefelgehalt < 50 ppm) verwendet. - Für Maschinen und Geräte mit Verbrennungsmotoren ≤ 18 kW muss die regelmässige Wartung z.B. durch einen Wartungskleber dokumentiert werden. - Alle Maschinen und Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren > 18 kW müssen • identifizierbar sein, • gemäss Anhang 2 periodisch kontrolliert werden und über ein entsprechendes Abgaswartungsdokument verfügen und - Maschinen und Geräte mit Dieselmotoren werden gemäss VVESA mit einem Partikelfilter-System (PFS) gemäss den Empfehlungen der Filterliste (BAFU, SUVA) ausgerüstet. - Bei staubintensiven Arbeiten werden staubmindernde Massnahmen ergriffen.	Reduktion von Luftschadstoffemissionen
Lä / Er1	Anwendung Baulärmrichtlinie Bezüglich der lärmigen, lärmintensiven Bauarbeiten wird die Massnahmenstufe B umgesetzt: - Maschinen und Geräte entsprechen dem anerkannten Stand der Technik (Bauarbeiten) Für Bautransporte gilt Massnahmenstufe A: - Transportfahrzeuge verfügen über die Normalausrüstung (Bautransporte)	Reduktion Baulärmemissionen

9. Ausblick

Mit den zwei geplanten Clustern können ca. 19.5 GWh/a temporär (saisonal) eingespeichert werden. Dies entspricht dem geplanten Ausbau der Energiezentrale Mitte mit 4 Wärmepumpen/Kältemaschinen. Für diesen Ausbaustand werden 6 Grundwasserbrunnen zur Einlagerung von Abwärme im Sommer und der Entnahme im Winter genutzt. Eine weitere Maschine kann bei Bedarf nachgerüstet werden. Ebenfalls können noch zwei weitere Grundwasserbrunnen, somit total 8 Brunnen, am Anergiesystem Rinne angeschlossen werden. Zurzeit wird von einer Fördermenge von 5'000 l/min pro Brunnen ausgegangen, d.h. 15'000 l/min pro Cluster. Weitere Erkenntnisse liefern die anstehenden Pumpversuche.

*Fördermengen***SC + P**

Obwohl das Flughafenareal sehr gross ist, bestehen nur wenige Flächen, welche sowohl terrestrisch als auch aviatisch konfliktfrei sind – und gleichzeitig auch optimal im Bereich der eiszeitlichen Rinne liegen. Da zudem lokale geologische Inhomogenitäten nicht ausgeschlossen sind, ist es notwendig, vor jeder Brunnenbohrung eine Sondierbohrung abzuteufen.

Herausforderung

Mit Sicht auf das Projekt «Aquiferspeicher - Flughafen Zürich» und einem möglichen weiteren Ausbau mittels weiteren Brunnen sowie für weitere thermische Nutzungen in schweizweiten eiszeitlichen Rinnen ist die Motion Jauslin zu befürworten. Das Beispiel Flughafen mit einer Grundwassertemperatur von > 20°C zeigt exemplarisch, dass die heutige 3 K-Regel das geothermische Potenzial des tieferen Untergrundes signifikant schmälert.

Motion Jauslin

Zürich, 31.08.2026

SC+P SIEBER CASSINA + PARTNER AG

David Reist
MSc Geographie UZHThomas Schirmer
Dipl. Natw. ETH / SIA

Grundlagen

- [1] Karte «Ortsbilder nach ISOS», Geoportal Kanton Zürich, Zugriff: 13.08.2026.
- [2] Karte «Gewässerkarte (inkl. Wasserrechte und Gewässerraum)», Geoportal Kanton Zürich, Zugriff: 13.08.2026.
- [3] Karte «Archäologische Zonen und Denkmalschutzobjekte», Geoportal Kanton Zürich, Zugriff: 13.08.2026.
- [4] Karte «Inventar historischer Verkehrswege der Schweiz IVS», Geoportal Kanton Zürich, Zugriff: 13.08.2026.
- [5] Karte «Naturgefahren: Synoptische Gefahrenkarte», Geoportal Kanton Zürich, Zugriff: 13.08.2026.
- [6] Karte «Prüfperimeter für Bodenverschiebungen (PBV)», Geoportal Kanton Zürich, Zugriff: 13.08.2026.
- [7] Karte «Kataster der belasteten Standorte (KbS)», Geoportal Kanton Zürich, Zugriff: 13.08.2026.
- [8] Kataster der belasteten Standorte auf Zivilflugplätzen des Bundesamtes für Zivilluftfahrt (KbS BAZL), 13.08.2026.
- [9] Kataster der belasteten Standorte im Bereich des öffentlichen Verkehrs (KbS BAV), 13.08.2026.
- [10] Kataster der belasteten Standorte des Militärs (KbS VBS), 13.08.2026.
- [11] Karte «Velonetz Alltag», Geoportal Kanton Zürich, Zugriff: 13.08.2026.
- [12] Karte «Wanderwege Zürich», Geoportal Kanton Zürich, Zugriff: 18.11.2025.
- [13] Bau- und Zonenordnung der Stadt Kloten vom 15.06.2013 mit Änderung vom 02.02.2019 und 02.06.2021.
- [14] Flughafen Zürich AG, Integrierter Bericht 2025
- [15] Grosstechnischer Erdspeicher Flughafen Zürich in quartärer Rinne, Bericht zur Phase 1 geophysikalische Erkundung und Phase 2 Sondierbohrungen, BFE, Zwischenbericht 02.10.2023.
- [16] Grosstechnischer Aquiferspeicher Flughafen Zürich in quartärer Rinne, Abschlussbericht zur Phase 3 Testbrunnen / Brunnen P6-1, IG Rinne, 02.12.2024.
- [17] Eckdaten zu geplantem Brunnen FO-1 für Aquiferspeicher Flughafen Zürich AG, Geo Explorers AG, 29.04.2026.
- [18] Energiespeicher Rinne, Technischer Bericht zum PGG (Brunnen FO-1, FO-2, V5-2, P6-1) vom 18.09.2026 der Flughafen Zürich AG.
- [19] Projektierung, Anergie Rinne, Flughafen Zürich AG, 12.06.26
- [20] Isotopenhydrologische und gasphysikalische Untersuchungen am Grundwasser aus dem Brunnen Flughafen Zürich, Hydroisotop GmbH, 11.05.2026

Gesetze und Verordnungen

Jeweils zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes geltende Version:

- [21] Luftfahrtgesetz, LFG vom 21.12.1948 (Stand am 01.01.2026)
- [22] Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG) vom 7. Oktober 1983, SR 814.01.
- [23] Verordnung 1988 über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) vom 19. Oktober 1988, SR 814.011.
- [24] Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV) vom 26. August 1998.
- [25] Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA) vom 4. Dezember 2015.



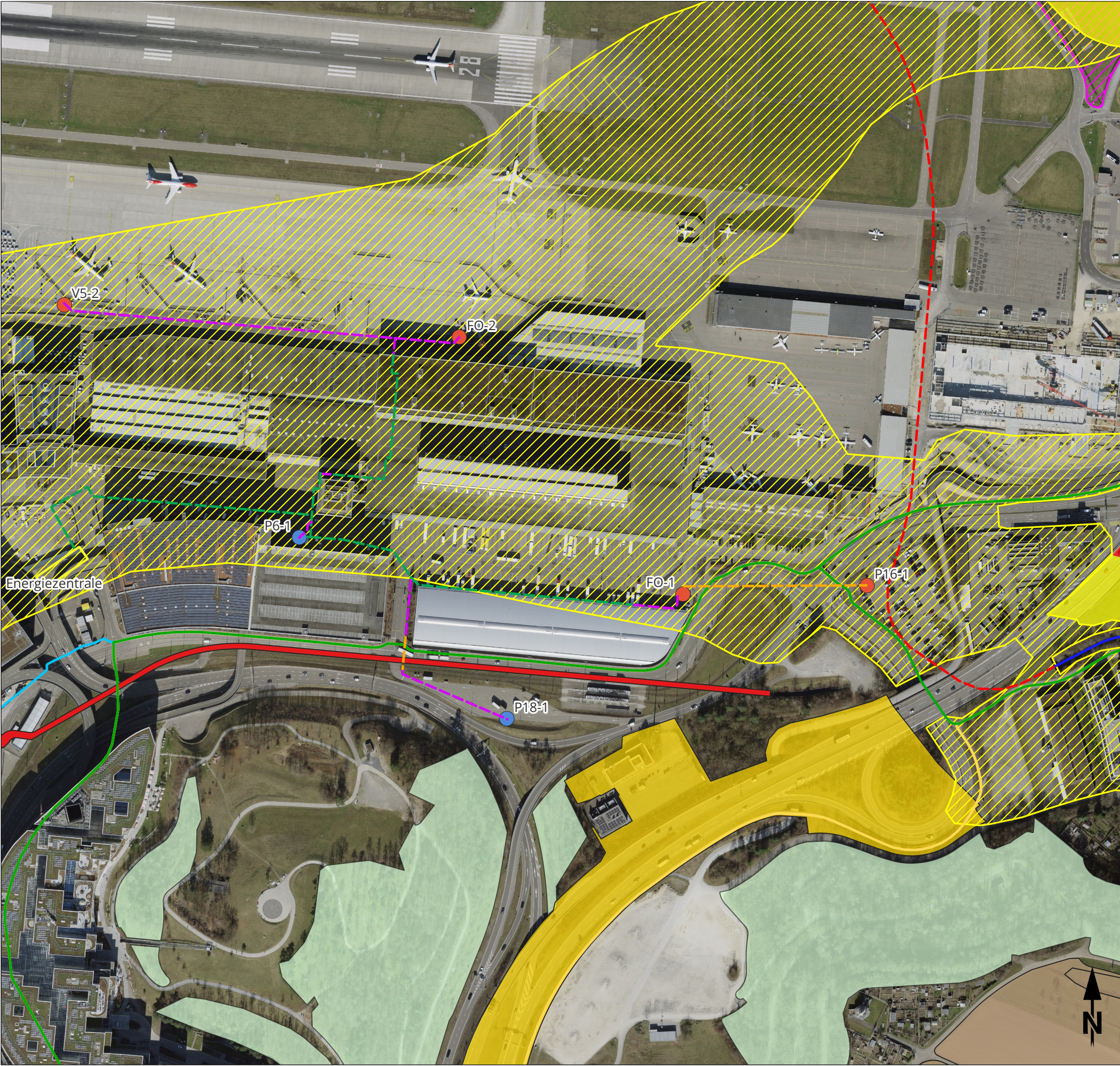
- [26] Verordnung über Belastung des Bodens (VBBo) vom 1. Juli 1998.
- [27] Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985, SR 814.318.142.1.
- [28] Lärmschutz-Verordnung (LSV) vom 15. Dezember 1986, SR 814.41.
- [29] Bundesgesetz vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG), SR 814.91.
- [30] Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998, SR 814.201.
- [31] Wassergesetz (WsG) vom 12. Dezember 2022, SR 724.1.
- [32] Wasserverordnung (WsV) vom 2. Juli 2025, SR 724.11.
- [33] Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV) vom 27. Februar 1991, SR 814.012.
- [34] Verordnung vom 23. Dezember 1999 über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV), SR 814.
- [35] Bundesgesetz über Fuss- und Wanderwege (FWG) vom 4. Oktober 1985, SR 704.

Richtlinien, Normen, Merkblätter

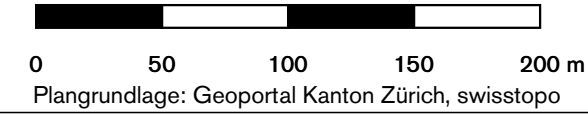
- [36] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BAFU; Handbuch Umweltverträglichkeitsprüfung UVP, Richtlinien für die Ausarbeitung von Berichten zur Umweltverträglichkeit gemäss Umweltschutzgesetz vom 7. Oktober 1983, September 1990.
- [37] Verwertung mineralischer Rückbaumaterialien, Vollzugshilfe, Ein Teil des Moduls Bauabfälle der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen, BAFU, 2023.
- [38] Bauabfälle. Ein Modul der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen, Bundesamt für Umwelt BAFU, 2020.
- [39] Baulärm-Richtlinie, Richtlinie über bauliche und betriebliche Massnahmen zur Begrenzung des Baulärms gemäss Art. 6 der LSV vom 15.12.1987, BAFU 2011.
- [40] SIA 431, Entwässerung von Baustellen, Norm SN 509 431, 2022.
- [41] Interkantonales Merkblatt für den Vollzug, Baustellen, VSA, August 2024.
- [42] Luftreinhaltung auf Baustellen (Baurichtlinie Luft), BAFU, 2016.
- [43] Luftreinhaltung bei Bautransporten, BAFU, 2001.
- [44] DIN 4150-2: Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, 1999.
- [45] VSS 40 312: Erschütterungen. Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke, 2019.
- [46] Checkliste Umwelt für Nationalstrassenprojekte, ASTRA 18002, 2024 V2.10.
- [47] Checkliste Umwelt für Eisenbahnanlagen BAV/BAFU, 2022.
- [48] Bauvorhaben in Grundwasserleitern und Grundwasserschutzzonen, AWEL, Mai 2026.
- [49] Wegleitung Grundwasserschutz, BAFU, 2004.
- [50] Wärmenutzung aus Boden und Untergrund, Vollzugshilfe für Behörden und Fachleute im Bereich Erdwärmenutzung, BAFU, 2009.
- [51] Energienutzung aus Untergrund und Grundwasser, Planungshilfe, AWEL, Juni 2010.

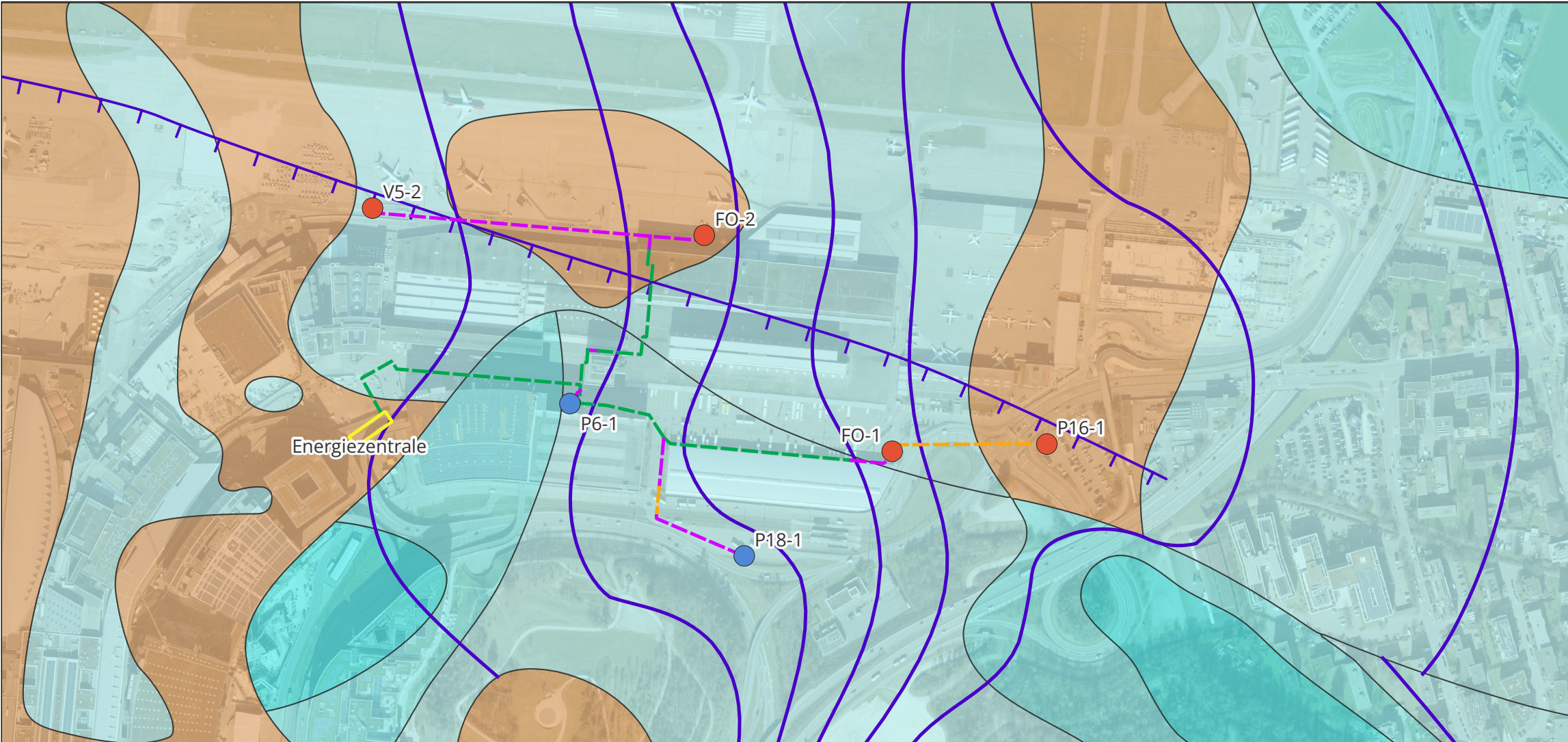


ZH2665D		Anhang A1
31.08.2026	V1.0 - A3 - Eda	
ZH2665D_Umweltbereiche_v1.1.qgz ZH2665D_Umweltbereiche_Übersichtskarte_v1.0		
Aquiferspeicher Flughafen Zürich Umweltverträglichkeitsbericht		
Übersichtskarte Situation 1 : 3'000		
Legende Projektierte Werkleitungen - proj. Anergieleitung, offener Graben - proj. Anergieleitung, grabenloser Leitungsbau - proj. Anergieleitung, in Medienkanal - Energiezentrale Brunnen - Brunnen (bestehend) - Neue/geplante Brunnen		
050100150200 m Plangrundlage: Geoportal Kanton Zürich, swisstopo		



ZH2665D		Anhang A2
31.08.2026	V1.0 - A3 - Eda	
ZH2665D_Umweltbereiche_v1.1.qgz ZH2665D_Nicht_relevante_Umweltbereiche		
Aquiferspeicher Flughafen Zürich Umweltverträglichkeitsbericht		
Nicht relevante Umweltbereiche Situation 1 : 3'000		
Legende Brunnenstandorte - Brunnen (bestehend) - Neue/geplante Brunnen Projektierte Werkleitungen - offener Graben - grabenloser Leitungsbau - in Medienkanal Nicht relevante Umweltbereiche Wald - Wald Oberflächengewässer und aquatische Ökosysteme Fließgewässer - Öffentliches Fließgewässer eingedolt - Öffentliches Fließgewässer offen - Weitere Gewässer eingedolt/überdeckt Altlasten Kataster der belasteten Standorte (KbS) - Ablagerungsstandort - Betriebsstandort Fruchtfolgefächflächen - Fruchtfolgefächflächen (FFF) Archäologie und Paläontologie - Archäologische Zonenpläne Naturgefahren Synoptische Gefahrenkarte Gewässer - erhebliche Gefährdung - mittlere Gefährdung - geringe Gefährdung - Restgefährdung Denkmalpflege und Ortsbildschutz Inventar der Landschaftsschutzobjekte von überkommunaler Bedeutung - Agrarlandschaften - Geologische Zeitzeugen - Geomorphologisch geprägte Landschaften - Gewässerlandschaften - Heckenlandschaften Schutzwürdige Ortsbilder - Ausgeprägte Platz- / Strassenräume - Ortsbildperimeter - Prägende oder strukturbildende Gebäude - Wichtige Freiräume Langsamverkehr - Wanderwege - SchweizMobil Velo-, Mountainbike-, Skatingrouten Kantonales Velonetz - Hauptverbindung - Nebenverbindung - Velobahn - Zusätzliche Freizeitverbindung		





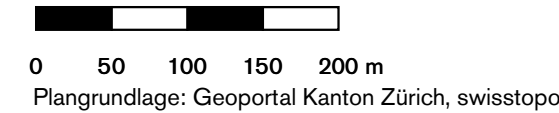
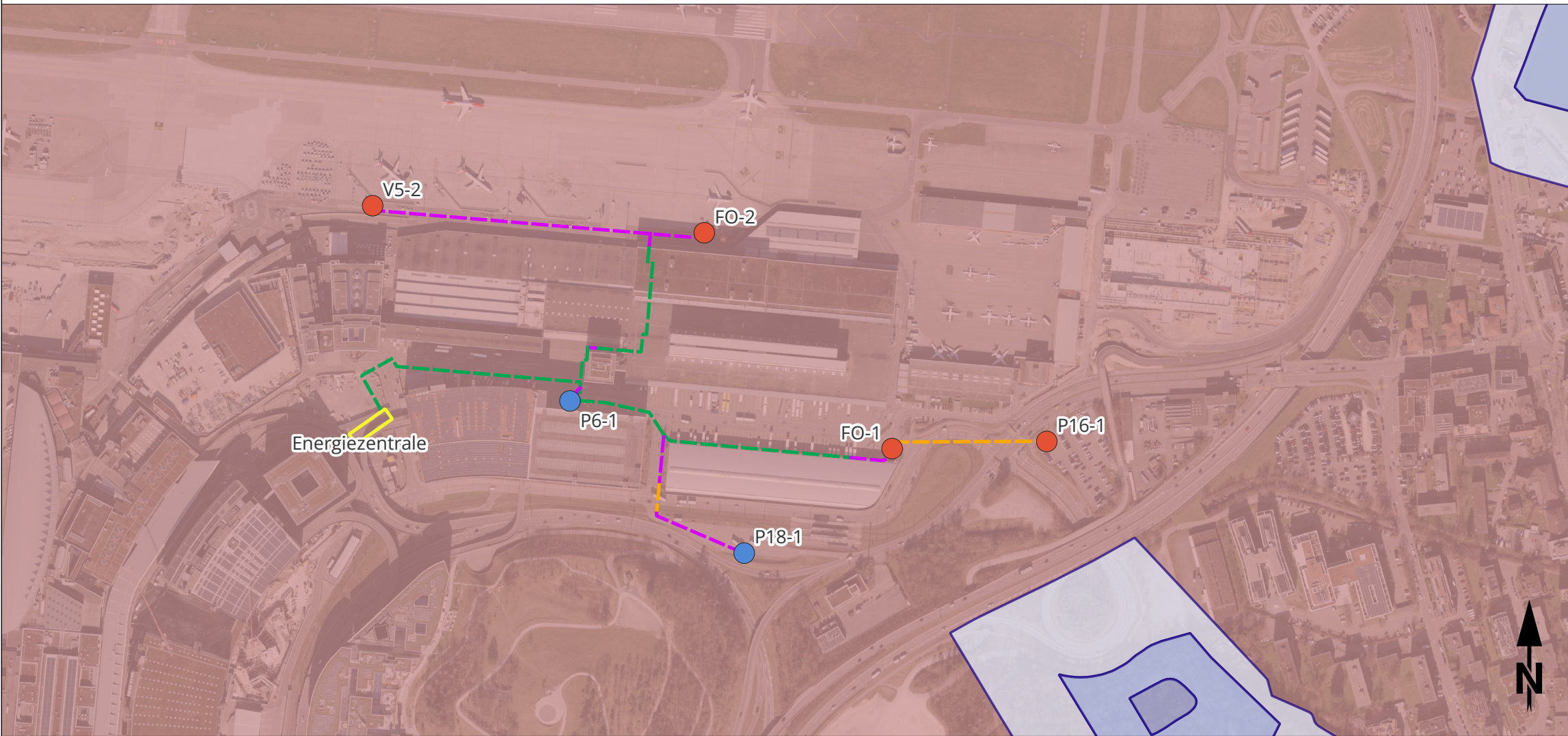
ZH2665D		Anhang A3
31.08.2026	V1.0 - A3 - Eda	
ZH2665D_Umweltbereiche_v1.0.qgz ZH2665D_Relevante_Umweltbereiche		
Aquiferspeicher Flughafen Zürich Umweltverträglichkeitsbericht		
Relevante Umweltbereiche Situation 1 : 5'000		

Legende

- Brunnenstandorte
-  Brunnen (bestehend)
 -  Neue/geplante Brunnen
- Projektierte Werkleitungen
-  offener Graben
 -  grabenloser Leitungsbau
 -  in Medienkanal
 -  Energiezentrale

Relevante Umweltbereiche

- Grundwasser
-  Grundwassergleichen Mittelwasser
 -  Grundwasservorkommen Stockwerkbau
- Grundwasserleiter
-  Schotter-GW-Leiter in Tälern: geringe GW-Mächtigkeit
 -  Schotter-GW-Leiter in Tälern: mittlere GW-Mächtigkeit nachgewiesen
 -  Schotter-GW-Leiter in Tälern: grosse GW-Mächtigkeit nachgewiesen
 -  Schotter-GW-Leiter in Tälern: sehr grosse GW-Mächtigkeit nachgewiesen
- Gewässerschutzbereich
-  Gewässerschutzbereich Au
- Grundwasserschutzzonen
-  S1
 -  S2
 -  S3



Herr Andreas Ebert
Geo Explorers AG
Wasserturmplatz 1
4410 Liestal

Bericht: CO1 und 12S eDNA Gewässer Untersuchung von Grundwasser Probenahmen

Angebots-Nr.:	24-0004	Bearbeiter:	Dr. Lucas A. Blattner
Auftraggeber:		Telefon:	+41 79 587 01 32
Feld-und Laborarbeit:	2025	E-Mail:	lucas.blattner@itaxlab.ch

1. Fragestellung und Auftrag

Im Auftrag des Flughafens Zürich und koordiniert durch die Geo Explorers AG wurden zwei Grundwasserprobenahmen mithilfe umweltgenetischer Analysen durch die ITaxLab GmbH faunistisch untersucht. Nach einer ersten Pumpkampagne, die zu viele Trübstoffe für ein erfolgreiches DNA-Filtern enthielt, konnte im September 2025 eine zweite Kampagne durchgeführt werden. Die daraus resultierenden Grundwasserproben konnten dann erfolgreich bearbeitet werden. Die vorliegende eDNA-Untersuchung und Datenanalyse dienen zur Ersterfassung der Gewässerfauna. **Untersucht wurden Arthropoda-Gemeinschaften (CO1) und Fischarten (12S).** Die Proben wurden aufgrund der geringen Anzahl (2 x 3 Triplikate) mit denen eines anderen Projekts kombiniert und sequenziert.

2. Untersuchungsgebiet: Standorte der eDNA-Probenahme

Die Proben der Untersuchung umfassen zwei Grundwasserpumpungen, welche zeitlich nacheinander aus den Pumpstellen der Geo Explorers AG entnommen wurden (Tab. 1). Die physikochemischen Messwerte liegen für diesen Bericht nicht vor; für weiterführende Analysen und Zeitreihen sind diese jedoch sehr wertvoll, und es ist empfehlenswert, deren Einfluss auf die Beschaffenheit der Fauna zu untersuchen.

Tabelle 1: Probenahmestellen und Anzahl roher Sequenz-Reads

Probe ID	Bohrung	Gewässer	Probenahme	Extraktion	Total Reads CO1	Total Reads 12S
ZH1	P-18-1_A	Grundwasser	05.09.2025	06.10.2025	727023	1247995
ZH2	P-18-1_A	Grundwasser	05.09.2025	06.10.2025	436265	1155201
ZH3	P-18-1_A	Grundwasser	05.09.2025	06.10.2025	929284	1108513
ZH4	P-18-1_B	Grundwasser	05.09.2025	06.10.2025	1775072	1130185
ZH5	P-18-1_B	Grundwasser	05.09.2025	06.10.2025	1293446	1151666
ZH6	P-18-1_B	Grundwasser	05.09.2025	06.10.2025	1559472	1247995

3. Methoden

Pro Probe wurden 2 x ca. 1.5 l Wasser durch 0.22 µm PES Sterivex Filter (Merck) gefiltert. Die Filter wurden anschliessend mit 100% Ethanol konserviert und bei 4 °C gelagert. Umwelt-DNA wurde mit Hilfe des DNeasy PowerSoil Pro Kits (Qiagen) aus den Filtern extrahiert und aufgereinigt. Die Umweltproben wurden in einer PCR mit Arthropoda-universellen CO1-Primern (FWH; Blattner et al. 2025), fischspezifischen 12S-Primern (tele02; Taberlet et al. 2016) und mikroorganismen-spezifischen 16S-Primern (515Y/926R; Parada et al. 2026 & Quince et al. 2011) amplifiziert und das resultierende Amplikon auf einem Aviti-Sequenzierer (CO1 & 12S: PE150 & 16S PE300) von der Genomics Technologies Facility (GTF) in Lausanne sequenziert. Die generierten Sequenzen wurden analog zu Blattner et al. 2025 bioinformatisch zu sogenannten ZOTUs (Zero-Radius Operational Taxonomic Units; entsprechen ESVs) aufgearbeitet und mithilfe des aktuellsten BOLDistilled-Referenzdatensatzes (Stand: Januar 2026) identifiziert. Hierbei wurden ausschliesslich Sequenzen mit einer Ähnlichkeit von > 90% zu einer Referenzsequenz inkludiert. Die taxonomische Zuordnung wurde wie in Macher et al. 2 bei Sequenz-Ähnlichkeiten von > 97% auf Artniveau, bei ≥ 95% auf Gattungsniveau und bei ≥ 90% auf Familienniveau belassen.

4. Resultate

4.1 Vergleich Anzahl Sequenz-Reads und ZOTUs

Die Sequenzierung der Umweltproben hat nach erfolgter Rohdatenprozessierung und technischer Qualitätskontrolle ein Total von 4'190'299 (CO1) und 1'282'961 (12S) Sequenz-Reads und 1'594 (CO1) und 166 (12S) ESVs ergeben. Dabei fällt auf, dass va. die Probe ZH4 eine vergleichsweise hohe Sequenzdiversität (= Anzahl ZOTUs) aufweist (Abb. 1). Hier ist jedoch zu beachten, dass die Proben ZH1-3 (Pumpgang 1) und ZH4-6 (Pumpgang 2) Triplikate von zwei Pumpgängen darstellen.

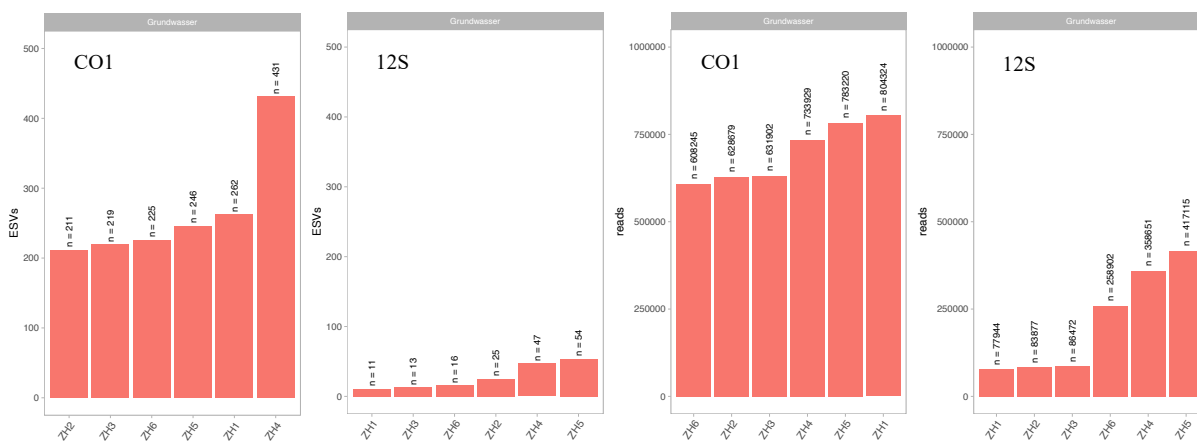


Abb. 1: Anzahl Sequenz Reads und ESVs pro Probe

4.2 Taxonomische Identifikation der Sequenzen

Tabelle 2: CO1-Detektionen

LCAkingdom	LCAphylum	LCAclass	LCAorder	LCAfamily	LCAgenus	LCAspecies	pident	ZH1	ZH2	ZH3	ZH4	ZH5	ZH6
Animalia	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae	Scarabaeus	<i>Scarabaeus typhon</i>	99.92	6	6	4	10714	6868	4550
Animalia	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Staphylinidae	Olophrum	<i>Olophrum consimile</i>	99.76	0	4	3	0	0	0
Animalia	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Staphylinidae	Olophrum	<i>Olophrum rotundicollis</i>	99.86	1	0	0	13	0	0
Animalia	Arthropoda	Insecta	Diptera	Drosophilidae	Drosophila	<i>Drosophila cneocopleura</i>	99.92	0	0	0	2740	980	656
Animalia	Arthropoda	Insecta	Diptera	Sarcophagidae	Ravinia	<i>Ravinia derelicta</i>	99.89	999	921	866	4492	1364	722
Animalia	Arthropoda	Insecta	Hymenoptera	Agonidae	Ceratosolen	<i>Ceratosolen jucundus</i>	99.92	36	21	25	33	36	26
Animalia	Arthropoda	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Cephalotes	<i>Cephalotes maculatus</i>	99.83	1	0	2	25	8	4
Animalia	Arthropoda	Insecta	Hymenoptera	Pompilidae	Ceropales	<i>Ceropales femoralis</i>	99.87	0	0	0	0	3	0
Animalia	Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Crambidae	Gargela	<i>Gargela renatusalis</i>	97.32	0	1	1	4	10	2
Animalia	Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Erebidae	Bertholdia	<i>Bertholdia detracta</i>	99.90	2	1	0	25	5	5
Animalia	Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Geometridae	Lhommeia	<i>Lhommeia subapicata</i>	99.98	0	0	1	2	5	2
Animalia	Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Geometridae	Scodionista	<i>Scodionista amoritaria</i>	98.72	0	0	0	0	0	10
Animalia	Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Geometridae	Timandromorpha	<i>Timandromorpha discolor</i>	99.87	0	0	0	5	4	0
Animalia	Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Nymphalidae	Calisto	<i>Calisto aquilum</i>	99.87	0	1	0	28205	41206	29092
Animalia	Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Nymphalidae	Calisto	<i>Calisto brochei</i>	99.83	0	0	0	39	0	0
Animalia	Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Nymphalidae	Calisto	<i>Calisto confusa</i>	99.69	30	37	34	91	50	24
Animalia	Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Nymphalidae	Hypolimnas	<i>Hypolimnas dextrithea</i>	99.82	0	0	0	10	0	0
Animalia	Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Nymphalidae	Lohora	<i>Lohora unipupillata</i>	99.95	49	29	35	0	0	0
Animalia	Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Nymphalidae	Melitaea	<i>Melitaea sarvistana</i>	99.90	0	0	0	1	0	1

Tabelle 3: 12S-Detektionen

LCAkingdom	LCAphylum	LCAclass	LCAorder	LCAfamily	LCAgenus	LCAspecies	pident	ZH1	ZH2	ZH3	ZH4	ZH5	ZH6
Animalia	Chordata	Actinopteri	Cypriniformes	Leuciscidae	Squalius	<i>Squalius cephalus</i>	100.00	0	0	0	0	0	2
Animalia	Chordata	Actinopteri	Salmoniformes	Salmonidae	Salmo	<i>Salmo trutta</i>	99.85	1	0	1	0	0	1
Animalia	Chordata	Mammalia	Bovidae	Bovidae	Bos	<i>Bos taurus</i>	99.87	1	0	0	0	2	0
Animalia	Chordata	Mammalia	Artiodactyla	Bovidae	Hippotragus	<i>Hippotragus leucophaeus</i>	100.00	0	32089	0	0	0	0
Animalia	Chordata	Mammalia	Artiodactyla	Cervidae	Mazama	<i>Mazama temama</i>	99.92	0	0	0	1	1	0
Animalia	Chordata	Mammalia	Artiodactyla	Suidae	Sus	<i>Sus scrofa</i>	99.70	0	0	0	20444	0	0
Animalia	Chordata	Mammalia	Carnivora	Canidae	Canis	<i>Canis lupus</i>	99.93	0	0	0	0	4516	0
Animalia	Chordata	Mammalia	Primates	Cercopithecidae	Cercopithecus	<i>Cercopithecus cephus</i>	99.69	0	0	0	5	3	0
Animalia	Chordata	Mammalia	Primates	Hominidae	Homo	<i>Homo sapiens</i>	99.96	77929	50686	86467	336684	400786	258639

Die Taxonomische Identifikation der CO1 Sequenzen hat keine Detektionen von grundwasserassoziierten Arten ergeben. Die Detektionen umfassen Insekten wie zum Beispiel *Drosophila* sp. oder *Cephalotes* sp. welche nicht als Grundwasser-Spezialisten bezeichnet werden können. Die detektierten Arten gehören zu den taxonomischen Gruppen der Käfer (Coleoptera), Zweiflügler (Diptera), Hautflügler (Hymenoptera) und zu den Schmetterlingen (Lepidoptera). Ebenso hat die Identifikation der 12S-Sequenzen keine Grundwasserarten nachgewiesen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass keines der detektierten Taxa auf Grundwasserfauna schliessen lässt. Im vorliegenden Fall ist anzunehmen, dass diese Detektionen eher als technische Artefakte zu interpretieren sind, die vermehrt auftreten, wenn die DNA-Extrakte, respektive Wasserproben, keine oder nur sehr geringe Mengen an Ziel-DNA-Fragmenten aufweisen. In dieser Studie wurden durch die verwendeten Primer vor allem CO- Fragmente von Arthropoden und 12S-Fragmente von Fischen untersucht.

Mit besten Grüßen

Dr. **Lucas A. Blattner** | Geschäftsführer & Laborleiter
Integrative Taxonomy Lab (ITaxLab) GmbH
Hollenweg 1 | 4153 Reinach | Schweiz
lucas.blattner@itaxlab.ch | +41 79 587 01 32

Herr Andreas Ebert
Geo Explorers AG
Wasserturmplatz 1
4410 Liestal

Bericht: 16S eDNA Gewässer Untersuchung von Grundwasser Probenahmen

Angebots-Nr.: 24-0004

Auftraggeber:

Feld-und Laborarbeit: 2025

Bearbeiter: Dr. Lucas A. Blattner

Telefon: +41 79 587 01 32

E-Mail: lucas.blattner@itaxlab.ch

1. Fragestellung und Auftrag

Im Auftrag des Flughafens Zürich und koordiniert durch die Geo Explorers AG wurden zwei Grundwasserprobenahmen mithilfe umweltgenetischer Analysen durch die ITaxLab GmbH faunistisch untersucht. Nach einer ersten Pumpkampagne, die zu viele Trübstoffe für ein erfolgreiches DNA-Filtern enthielt, konnte im September 2025 eine zweite Kampagne durchgeführt werden. Die daraus resultierenden Grundwasserproben konnten dann erfolgreich bearbeitet werden. Die vorliegende eDNA-Untersuchung und Datenanalyse dienen zur Ersterfassung der Gewässerfauna. Dieser Bericht umfasst die mikrobiologische Untersuchung der Proben. Die Proben wurden aufgrund der geringen Anzahl (2 x 3 Triplikate) mit denen eines anderen Projekts kombiniert und sequenziert.

2. Untersuchungsgebiet: Standorte der eDNA-Probenahme

Die Proben der Untersuchung umfassen zwei Grundwasserpumpungen, welche zeitlich nacheinander aus den Pumpstellen der Geo Explorers AG entnommen wurden (Tab. 1). Die physikochemischen Messwerte liegen für diesen Bericht nicht vor; für weiterführende Analysen und Zeitreihen sind diese jedoch sehr wertvoll, und es ist empfehlenswert, deren Einfluss auf die Beschaffenheit der Fauna zu untersuchen.

Tabelle 1: Probenahmestellen und Anzahl roher Sequenz-Reads

Probe ID	Bohrung	Gewässer	Probenahme	Extraktion	Total Reads CO1	Total Reads 12S
ZH1	P-18-1_A	Grundwasser	05.09.2025	06.10.2025	727023	1247995
ZH2	P-18-1_A	Grundwasser	05.09.2025	06.10.2025	436265	1155201
ZH3	P-18-1_A	Grundwasser	05.09.2025	06.10.2025	929284	1108513
ZH4	P-18-1_B	Grundwasser	05.09.2025	06.10.2025	1775072	1130185
ZH5	P-18-1_B	Grundwasser	05.09.2025	06.10.2025	1293446	1151666
ZH6	P-18-1_B	Grundwasser	05.09.2025	06.10.2025	1559472	1247995

3. Methoden

Pro Probe wurden 2 x ca. 1.5 l Wasser durch 0.22 µm PES Sterivex Filter (Merck) gefiltert. Die Filter wurden anschliessend mit 100% Ethanol konserviert und bei 4 °C gelagert. Umwelt-DNA wurde mit Hilfe des DNeasy PowerSoil Pro Kits (Qiagen) aus den Filtern extrahiert und aufgereinigt. Die Umweltproben wurden in einer PCR mit Arthropoda-universellen CO1-Primern (FWH; Blattner et al. 2025), fischspezifischen 12S-Primern (tele02; Taberlet et al. 2016) und mikroorganismen-spezifischen 16S-Primern (515Y/926R; Parada et al. 2026 & Quince et al. 2011) amplifiziert und das resultierende Amplikon auf einem Aviti-Sequenzierer (CO1 & 12S: PE150 & 16S PE300) von der Genomics Technologies Facility (GTF) in Lausanne sequenziert. Die generierten Sequenzen wurden analog zu Blattner et al. 2025 bioinformatisch zu sogenannten ZOTUs (Zero-Radius Operational Taxonomic Units; entsprechen ESVs) aufgearbeitet und mithilfe des aktuellsten BOLDistilled-Referenzdatensatzes (Stand: Januar 2026) identifiziert. Hierbei wurden ausschliesslich Sequenzen mit einer Ähnlichkeit von > 90% zu einer Referenzsequenz inkludiert. Die taxonomische Zuordnung wurde wie in Macher et al. 2 bei Sequenz-Ähnlichkeiten von > 97% auf Artniveau, bei ≥ 95% auf Gattungsniveau und bei ≥ 90% auf Familienniveau belassen.

4. Resultate

Die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften, bestehend aus Bakterien und Archaeen, wurde mittels einer molekularbiologischen Methode bestimmt. Aus der mikrobiellen Biomasse auf den Filtern wurde die DNA extrahiert und ein Abschnitt eines universellen phylogenetischen Markergens (16S-rRNA-Gen) vervielfältigt und sequenziert. Durch den Abgleich der erhaltenen 16S-rRNA-Gensequenzen, im Allgemeinen 200'000 – 350'000 pro Probe, mit einer Datenbank, können die in der Umweltprobe vorhandenen Mikroorganismen identifiziert werden. Solche, sogenannten Amplikon-Sequenzdaten können Auskunft geben über die allgemeine Diversität (Vielfalt) von mikrobiellen Gemeinschaften, wie ähnlich die Gemeinschaften in unterschiedlichen Proben sind, wie sie sich mit der Zeit verändern, und wie die Artenzusammensetzung ist. Manchmal ist es auch möglich, anhand des Vorkommens bestimmter Taxa Rückschlüsse auf das System und die ablaufenden biogeochemischen Prozesse zu ziehen, wofür jedoch einige Erfahrung und gute mikrobiologische Kenntnisse nötig sind. Allgemein kann man sagen, dass die Analyse von mikrobiellen Gemeinschaften in Quellen und Grundwasser noch in den Kinderschuhen steckt und erst in Zukunft mit einer grösseren Abdeckung und Vielfalt von Standorten, saisonalen Daten und einheitlicher Beprobung, gute und allgemeine Aussagen gemacht werden können.

Die durchschnittliche Sequenziertiefe ist mit 280'590 ($\pm 71'104$ SD) Reads/Probe sehr tief und völlig ausreichend, um die mikrobielle Gemeinschaft vollständig abzubilden, inklusive sehr weniger abundanter Organismen. Eine Sequenziertiefe von 20-50k Reads ist normalerweise schon genug.

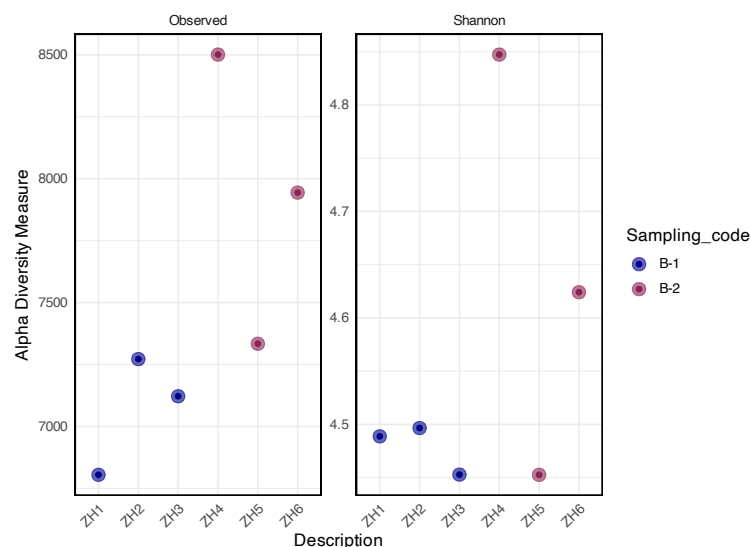


Abbildung 1. Links: Beobachteter Artenreichtum (‘Observed Richness’, Artenzahl), als Anzahl der detektierten 16S rRNA-Gensequenzvarianten (Amplified Sequence Variants, ASV), die in einer Probe nachgewiesen wurden. Rechts: Die Shannon Diversität ist ein weiteres Mass für die Artenvielfalt in einer Probe. Triplikate von 2 separaten Beprobungen des Grundwassers (B-1, B-2) am gleichen Standort.

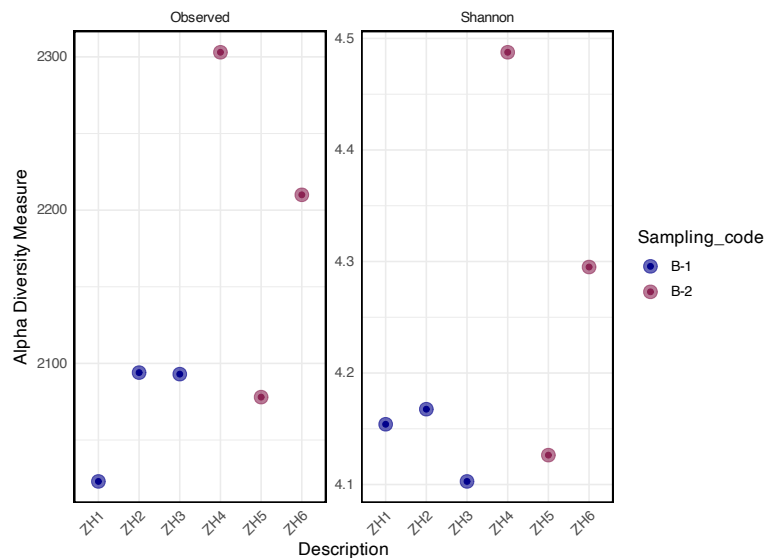


Abbildung. 2. Analog zu Abb. 1 jedoch mit gefilterten Sequenzdaten, bei denen alle sehr seltenen Sequenzen eliminiert wurden. Das heisst, in den 200'839 Reads in einer Probe muss eine bestimmte Sequenz mindestens 3x vorkommen, dass sie als reale Taxa betrachtet wird. Der beobachtete Artenreichtum ist mit max. 2000-2300 Sequenzen viel geringer als mit den ungefilterten Daten. Die Grosse Abnahme der beobachteten Taxa zwischen Fig. 1 und 2. liegt daran, dass sehr viele detektierte Sequenzen extrem selten sind und nur 1x, 2x vorkommen. Mit nur ca. 2000–2300 beobachteten Taxa sind diese Grundwasserproben als relativ artenarm zu bezeichnen; dies gilt auch im Vergleich mit anderen Grundwasserproben als eher artenarm.

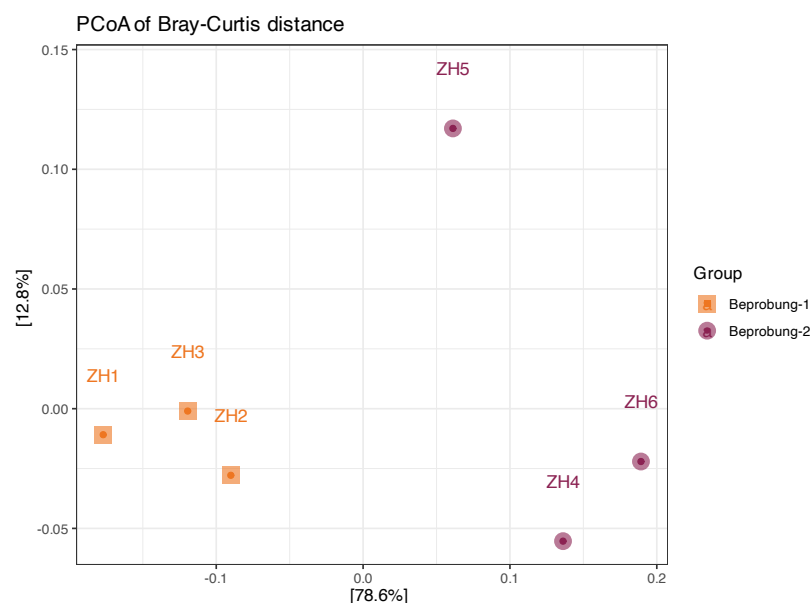


Abbildung 3: Die Zusammensetzung der Mikroben Gemeinschaften in unterschiedlichen Proben lässt sich miteinander vergleichen. Der sogenannte Bray-Curtis-Abstand (auch Bray-Curtis-Dissimilarität genannt) ist ein wichtiges Mass in der Mikrobiom Analyse, welches die Unterschiede zwischen zwei Proben hinsichtlich ihrer Artenzusammensetzung quantifiziert. Der Abstand zwischen den Datenpunkten in der Abbildung ist ein Mass für den Unterschied in der Artenzusammensetzung, d.h. je näher die zusammenliegen desto ähnlicher ist die Mikroben Gemeinschaft. Die Mikroben Gemeinschaften der Grundwasserproben von den beiden Beprobungen fallen in zwei Gruppen, gemäss ihres Beprobungszeitpunktes, wobei die Abstände auch zwischen den Gruppen gering sind. Das heisst, dass die Mikroben Gemeinschaften allgemein sehr ähnlich sind, wenn auch eines der drei Replikate der zweiten Probenahme fällt etwas heraus.

Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften im Grundwasser auf verschiedenen taxonomischen Ebenen

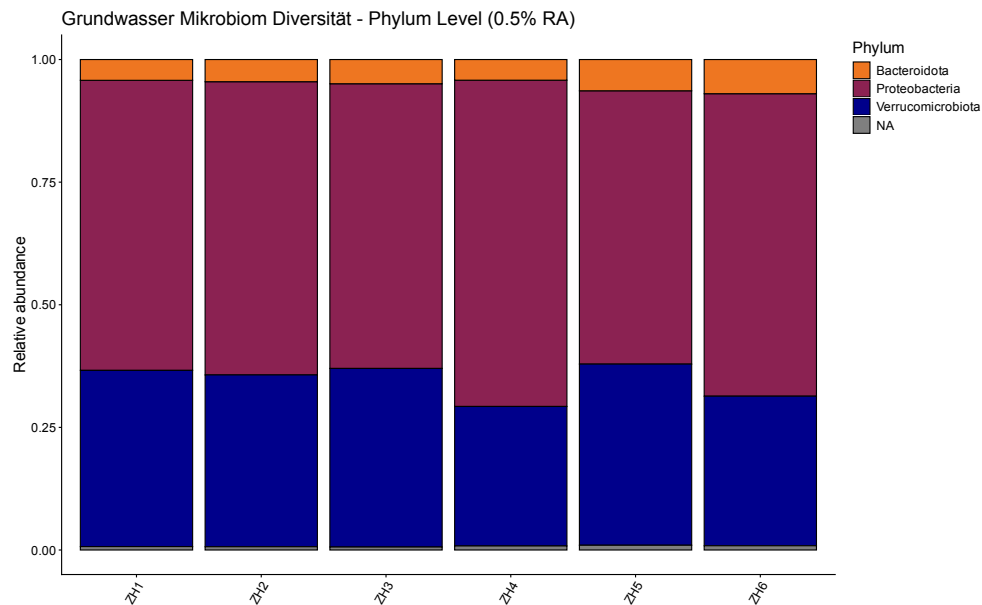


Abbildung 4: Einfache Darstellung der dominanten Stämme (Phyla), der größten taxonomischen Auflösung, in den verschiedenen Proben. Alle Proben haben eine sehr ähnliche Bakteriengemeinschaft auf dieser taxonomischen Ebene, was auch gut mit Abb. 3 übereinstimmt. Im Vergleich zu anderen Grund- und Oberflächenwasserproben wirkt diese Zusammensetzung mit nur 3 bekannten, abundanten Stämmen sehr wenig vielfältig.

- **Auffällig** ist die sehr geringe Anzahl an Phyla, die hier dargestellt werden. Es sind wohl weitere Phyla in den Proben/Sequenzdaten vorhanden, jedoch fallen diese unter den Schwellenwert von 0.5% relativer Abundanz und werden nicht dargestellt. Sind aber insgesamt sehr wenig abundant. Eine so geringe Diversität auf Phylum Ebene habe ich so bis jetzt noch nirgends gesehen, auch nicht in andern Grundwassersystemen.
- **Auffällig** ist die Abwesenheit von Archaeen, die sonst ebenfalls häufig im oligotrophen Grundwasser nachgewiesen werden.
- **Bacteroidota** und **Verrucomicrobia** sind eher aerobe organotrophe Organismen, spezialisiert auf komplexes organisches Material.
- **Proteobacteria** sind eine extrem breite und physiologisch sehr vielfältige Gruppe von Mikroorganismen. Sie kommen in allen Ökosystemen vor. Wegen deren extremen metabolischen Vielfalt kann man basierend auf der Phylum-Betrachtung keine Aussagen machen. Eine vertiefte Analyse der vorkommenden Organismen ist jeweils erforderlich. Zur Illustration: Ammoniumoxidierende Bakterien, Schwefel oxidierende Bakterien und auch Methanotrophe Bakterien gehören zu den Proteobakterien. Daneben auch verschiedene phototrophe (S- und Fe-oxidierer), und ganz viele normale aerobe und anaerobe organotrophe Bakterien.
- Typische anaerobe, d.h. ohne Sauerstoff lebende Taxa fehlen, was auf hauptsächlich oxische Verhältnisse im Grundwasser schliessen lässt.

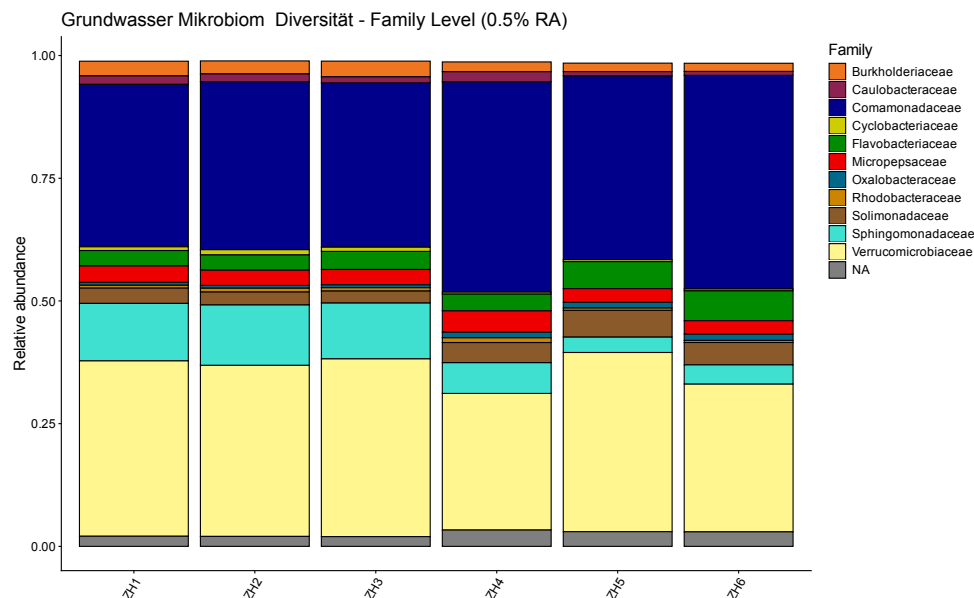


Abbildung 5: Darstellung der dominierenden Familien der Prokaryoten in den Grundwasserproben. Auch auf dieser taxonomischen Ebene sind die mikrobiellen Gemeinschaften im System wenig divers und sehr ähnlich, auch zwischen der ersten und der zweiten Beprobung. Normalerweise betrachtet man Phylum, Ordnung und Familien Daten ausführlich. Oft deshalb, weil viele Sequenzen nicht zuverlässig bis auf die Gattung identifiziert werden können (siehe auch die Bemerkung am Ende des Berichts). Trotzdem ist es interessant, auch auf Gattungsebene die Daten anzuschauen, da bestimmte Gattungen (aber ggf. auch schon Familien) von Mikroorganismen auf charakteristische Umweltbedingungen oder Prozesse hinweisen können.

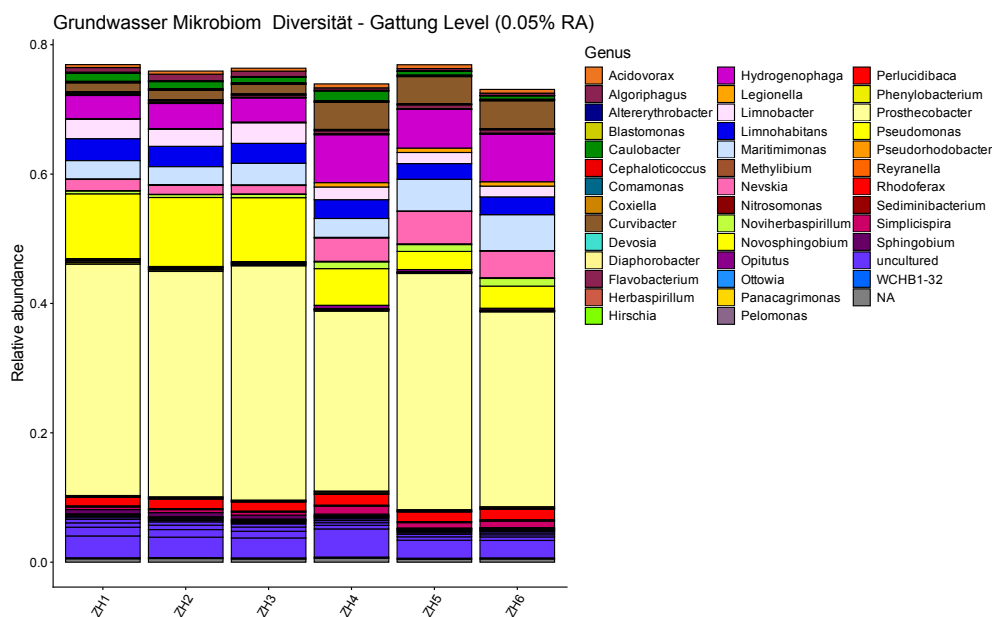


Abbildung 6: Darstellung der dominanten Gattungen von Mikroorganismen. Man sieht, dass je höher man die Taxonomie auflöst (z.B. bis Familien oder gar Gattungen), der Anteil der unbekannten Sequenzen immer grösser wird («unknown», «uncultured», «NA», -> Differenz bis zu RA = 1). Es ist erstaunlich, dass auch hier noch der Grossteil der nachgewiesenen Sequenzen bekannten Gattungen zugewiesen werden konnten. In vielen anderen natürlichen Systemen ist der Anteil an unbekannten (NA) Taxa viel höher. Die Darstellung ist aber trotzdem hilfreich, denn wenn man schon Organismen auf die Gattung runter identifizieren kann, dann lässt das unter Umständen auch genauere Aussagen über deren möglichen Metabolismus oder ökologische Rolle zu.

Besonders auffällige oder aufschlussreiche Gattungen kommen hier jedoch nicht vor. Es handelt sich in den meisten Fällen um organotrophe (Abbauer von organischem Material, z.B. die beiden typischen Süßwasserbakterien *Limnobacter* und *Limnohabitans*) und eher aerobe Bakterien. Auch hier in dieser Darstellung treten Archaeen nicht in Erscheinung. Die aussergewöhnlich geringe Vielfalt von Mikroorganismen in diesen Proben könnte auf restriktive bzw. selektive Umweltbedingungen, in denen nur eine relativ geringe Anzahl von Bakterien wachsen kann. Diese dominieren dann die gesamte mikrobielle Gemeinschaft.

- ***Phenylobacterium*** sp. wurde schon in Böden und Wasser nachgewiesen, inklusive des Grundwassers (tiefe Aquifere, geothermische Aquifere). Teilweise haben sich diese auf phenylhaltige organische Verbindungen spezialisiert, aber andere Vertreter können auch lithotroph mit Fe^{2+} wachsen.
- Die sehr abundanten ***Prostheco bacter*** sp. (Verrucomicrobiaceae, esv-1.9, esv-14.19210) Vertreter sind normalerweise selten in einer mikrobiellen Gemeinschaft, wenn auch weit verbreitet. Die extrem hohe Anreicherung dieser Gattung im Grundwasser ist ungewöhnlich. P. sp. 16S-rRNA-Sequenzen aus Böden, Süßwasser und Meeresumgebungen und technischen Systemen wurden nachgewiesen. Ökologisch scheint er ein heterotropher Generalist in organkreichen Habitaten zu sein, während die Verrucomicrobia insgesamt Schlüsselrollen im Abbau komplexer Polysaccharide und in extremen Nischen einnehmen.
- **Comamonadaceae** (Familie): weit verbreitet, metabolisch sehr vielfältig. Der Abbau von Aromaten ist in mehreren Gattungen nachgewiesen worden; das Sox-System kann demnach auch S oxidieren. Fakultativ anaerob (NO_3^- , Fe(III)-red.). Habitate: Süßwasser, Böden, Grund- und Tiefenwässer, Kläranlagen, Rhizosphären und Pflanzenwurzeln. In oligotrophen Aquiferen und sulfidischen Tiefenwässern als „generalistische“ Schlüsselarten mit hoher Anpassungsfähigkeit (Arsen-Resistenz, Nutzung verschiedener Elektronendonator-/Akzeptor-Paare). Schlüsselrolle in N-, C- und S-Kreisläufen durch Denitrifikation, DNRA, Schwefeloxidation und Abbau komplexer organischer Stoffe (inkl. Lignin und Xenobiotika).
- **Noviherbaspirillum** sind versatile normalerweise im Boden oder der Luft anzutreffende Bakterien. sie sind aerob/nitrat reduzierend anaerob respirieren. Anaerobe Fe(II) oxidation mit NO_3^- , und Abbau von komplexem OM nachgewiesen.
- Coxiella und Legionella sind fakultativ pathogene Gattungen, wobei man darauf hinweisen muss, dass die 16S-rRNA-Gensequenz oft nicht ausreicht, um effektiv pathogene Stämme innerhalb einer Gattung zu identifizieren. Trotzdem treten Coxiella und Legionella in natürlichen eDNA-Proben oft auf.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die vorliegenden Grundwasserproben äusserst mikroorganismenarm sind. Dies ist auf Grund der eher tiefen Grundwasservorkommen und Pumpungen sehr plausibel und zu erwarten.

Mit besten Grüßen

Dr. **Jakob Zopfi** | Fachexperte Mikrobiologie
Integrative Taxonomy Lab (ITaxLab) GmbH
Hollenweg 1 | 4153 Reinach | Schweiz
lucas.blattner@itaxlab.ch | +41 79 587 01 32