



Departement für Wirtschaft, Soziales und Umwelt des Kantons Basel-Stadt

Amt für Umwelt und Energie

Grundwasserbericht 1993-2022

Grundwasserqualität im Kanton Basel-Stadt

Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt

Abteilung Umweltlabor



Impressum

Herausgeber

Department für Wirtschaft, Soziales und Umwelt des Kantons Basel-Stadt
Amt für Umwelt und Energie
Abteilung Umweltlabor
Spiegelgasse 15
Postfach, CH-4001 Basel
Telefon +41 61 267 08 00
www.aue.bs.ch

Ansprechpartner

Dr. Jan Mazacek
jan.mazacek@bs.ch

Autorin

Steffi Perry

Titelbild

AUE-Umweltlabor

GIS-Abbildungen

Stefan Scheidler, Dominik Amrein

Datum

12. Dezember 2023

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Zusammenfassung	8
2 Bedeutung und Vorkommen des Grundwassers in Basel-Stadt	12
3 Überwachung der Grundwasserqualität	15
4 Bewertung der Messparameter nach Gewässerschutzverordnung	17
4.1 Stickstoff (N)	18
4.1.1 Ammonium	18
4.1.2 Nitrat	20
4.2 Sulfat	22
4.3 Chlorid	23
4.4 DOC	24
4.5 Organische Pestizide am Beispiel von 2,6-Dichlorbenzamid	25
4.6 Monocyclische aromatische Kohlenwasserstoffe am Beispiel von Benzol	27
4.7 Flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (FHKW)	29
4.7.1 Tetrachlorethen (PER)	29
4.7.2 Trichlorethen (TRI)	31
4.8 Aliphatische Kohlenwasserstoffe	32
4.9 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	33
4.10 AOX	34
Literatur	35
Anhang	36
A 90-Perzentilwerte Ammonium	37
B 90-Perzentilwerte Nitrat	38

C	90-Perzentilwerte Sulfat	39
D	90-Perzentilwerte Chlorid	40
E	90-Perzentilwerte DOC	41
F	90-Perzentilwerte 2,6-Dichlorbenzamid	42
G	90-Perzentilwerte Benzol	43
H	90-Perzentilwerte Tetrachlorethen (PER)	44
I	90-Perzentilwerte Trichlorethen (TRI)	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	PSM-Verkauf in der Schweiz (Quelle: „BLW“, 2023)	10
Abbildung 2:	Hauptfliessrichtung des Grundwassers im Kanton Basel-Stadt . . .	12
Abbildung 3:	Mittelwert der kantonalen Jahrestemperatur des Grundwassers berechnet aus Temperaturdaten von 82 Messstellen	14
Abbildung 4:	Grundwassermessstellen für Wasserqualität und Beprobungs- häufigkeit.	16
Abbildung 5:	Ammonium Messzeitraum 1993-2022.	19
Abbildung 6:	Nitrat Messzeitraum 1993-2022.	21
Abbildung 7:	Sulfat Messzeitraum 1993-2022.	22
Abbildung 8:	Chlorid Messzeitraum 1993-2022.	24
Abbildung 9:	DOC Messzeitraum 1993-2022.	25
Abbildung 10:	2,6-Dichlorbenzamid Messzeitraum 1993-2022.	26
Abbildung 11:	Benzol Messzeitraum 1993-2022.	28
Abbildung 12:	Tetrachlorethen Messzeitraum 1993-2022.	30
Abbildung 13:	Trichlorethen Messzeitraum 1993-2022.	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Bewertung anhand von Schätzwert (S) und Anforderungswert (A) in Anlehnung an das BAFU-Modulstufenkonzept zur Beurteilung der Oberflächengewässer.	17
Tabelle 2:	GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte Ammonium in mg N/l	37
Tabelle 3:	GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte Nitrat in mg N/l	38
Tabelle 4:	GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte Sulfat in mg/l	39
Tabelle 5:	GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte Chlorid in mg/l	40
Tabelle 6:	GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte DOC in mg/l	41
Tabelle 7:	GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte 2,6-Dichlorbenzamid in µg/l	42
Tabelle 8:	GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte Benzol in µg/l	43
Tabelle 9:	GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte Tetrachlorethen in µg/l	44
Tabelle 10:	GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte Trichlorethen in µg/l	45

Abkürzungsverzeichnis

AltIV Altlasten-Verordnung

AOX adsorbierbare organisch gebundene Halogene

AUE Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt

BLW Bundesamt für Landwirtschaft

BTEX aromatische Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole

DDT Dichlordiphenyltrichlorethan

DOC dissolved organic carbon / gelöster organischer Kohlenstoff

FHKW flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

FHKW Flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

GSchV Gewässerschutzverordnung

KWS Kohlenwasserstoffe

MAKW monozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

NAQUA Nationale Grundwasserbeobachtung

PAK aromatische Kohlenwasserstoffe

PCB polychlorierte Biphenyle

PER Tetrachlorethen

PSM Pflanzenschutzmittel

QUANT NAQUA-Modul zur Beobachtung der Schweizer Grundwasser-Quantität anhand der Grundwasserstände und Quellabflüsse

SPEZ NAQUA-Modul zur Beobachtung der Schweizer Grundwasser-Qualität im Hinblick auf Schad- und Fremdstoffe im Grundwasser sowie deren langfristige Entwicklung

TREND NAQUA-Modul zur Beobachtung der Schweizer Grundwasser-Qualität beeinflusst durch natürliche Prozesse und menschlichen Einflussfaktoren

TRI Trichlorethen

1 Zusammenfassung

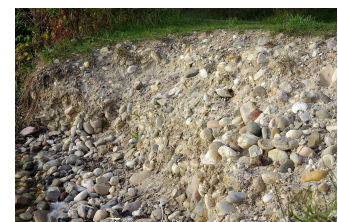
Grundwasser ist die Ressource für unser wichtigstes Lebensmittel, das Trinkwasser. Es dient aber gleichzeitig auch als aquatischer Lebensraum, ist Bestandteil des Wasserkreislaufs und stellt mit seinen zahllosen Quellaustritten, Höhlenbächen und der Speisung von Fließgewässern ein landschaftsprägendes Element dar. Aufgrund all dieser Eigenschaften ist das Grundwasser ein schützenswertes Gut.

Um einen möglichst naturnahen Zustand sowie die vielfältigen Funktionen und die Verfügbarkeit des Grundwassers zu bewahren, sind die nachhaltige Bewirtschaftung und der Schutz ober- und unterirdischer Gewässer in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) gesetzlich verankert. Als Grundlage hierzu erfasst und bewertet das Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt (AUE) in enger Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) den Zustand und die Entwicklung der Grundwasserqualität im Rahmen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA. Die Überwachung der Grundwasserqualität dient einerseits rechtzeitig auf neu auftauchende Problemstoffe und Gefährdungen zu reagieren. Andererseits ermöglicht sie eine laufende Erfolgskontrolle der Gewässerschutzmassnahmen.

Die grössten Grundwasservorkommen im Kanton befinden sich in den Rheinschottern in der Agglomeration Basel, sowie im Birs- und Ergolzthal. Grundwasser bildet sich durch Niederschläge und die natürliche oder künstliche Infiltration von Flusswasser. In Basel-Stadt wird Grundwasser für die Trinkwasserversorgung, industrielle Produktionsprozesse und energetisch für Heiz- und Kühlzwecke genutzt. Obwohl bei uns genügend Grundwasser zur Verfügung steht, kann es in Trockenzeiten lokal zu Versorgungsengpässen kommen. Zudem sind in Grundwasservorkommen unter Ballungsräumen und landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten Qualitätsdefizite zu verzeichnen. Siedlung, Industrie, Verkehr aber auch Landwirtschaft haben im Grundwasser ihre Spuren hinterlassen.

Nitrat kommt im natürlichen Grundwasser in Konzentrationen von wenigen Milligramm pro Liter vor. Während hohe Nitratgehalte in Städten vermutlich vor allem auf undichte Abwasserleitungen zurückzuführen sind, spielt in ländlich geprägten Gebieten eher die Landwirtschaft eine Rolle. Ins Grundwasser gelangt Nitrat hauptsächlich durch den Einsatz von stickstoffhaltigen Düngemitteln. Wird mehr Dünger ausgebracht als die

Das **NAQUA**-Programm erfasst seit über 20 Jahren an mehr als 550 Messstellen den Zustand und die Entwicklung der Grundwasserqualität in der Schweiz. Primär werden in den Langzeitmonitoring-Modulen SPEZ und QUANT Nitrat, Mikroverunreinigungen, Grundwasserstände und -temperatur untersucht. Für gezielte Spezialuntersuchungen von bisher kaum untersuchten Stoffen gibt es das Modul TREND.



„Rheinschotter“, 2023

Pflanzen aufnehmen können, so wird der überschüssige Stickstoff in Form von Nitrat aus dem Boden ausgewaschen und mit dem Sickerwasser ins Grundwasser verlagert. Zusätzlich tragen undichte Abwasserleitungen und die Deposition von Stickoxiden und Ammoniak aus der Verbrennung von Heiz- und Treibstoffen im städtischen Raum dazu bei, dass Nitrat ins Grundwasser ausgewaschen wird. Im Kanton Basel-Stadt, insbesondere im Westen Basels sowie in Riehen, wurde der Anforderungswert für Nitrat im Grundwasser von 25 mg/L in den letzten Jahren an rund 45% der Messstellen überschritten. Eine Tendenz zur Verbesserung ist jedoch in den letzten Jahren klar ersichtlich (siehe „Umweltbericht beider Basel“, 2022).

Sulfat zeichnet ein ähnliches Bild wie Nitrat. Hohe Sulfatkonzentrationen können standortabhängig geogen bedingt sein, zum Beispiel durch Lösung der Sulfatminerale Gips und Anhydrit oder durch Verwitterung von Sulfidmineralien. Andererseits kann Sulfat aber auch anthropogen beeinflusst durch den Einsatz von schwefelhaltigen Mineräldüngern, durch Abwässer und Deponiesickerwässer ins Grundwasser eingetragen werden.

Pflanzenschutzmittel (PSM) schützen Pflanzen oder Pflanzenerzeugnisse vor Schadorganismen oder Krankheiten oder sie werden eingesetzt, um das Pflanzenwachstum zu regulieren.

Zu den wichtigsten Wirkstoffgruppen der PSM gehören Herbizide, Insektizide und Fungizide. Die Liste der über 300 zugelassenen organisch-synthetischen Pestizid-Wirkstoffe findet sich in der Schweizer Pflanzenschutzmittelverordnung (siehe „SR 916.161, Verordnung über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln vom 12. Mai 2010“, 2010). Haupteinsatzgebiet für PSM ist die Landwirtschaft. Deutlich geringere Mengen gelangen jedoch auch in Baumschulen, Sportanlagen, Privatgärten und auf Industriearealen zum Einsatz.

Eine besondere Herausforderung für das Monitoring von PSM und deren Rückständen im Grundwasser ist die stete Veränderung der eingesetzten PSM-Produktpalette. Pflanzenschutzmittel stehen daher seit Beginn im Fokus der Grundwasserbeobachtung. Dazu gehört, dass seit dem 1. Januar 2023 das Bundesgesetz über die Verminderung der Risiken durch den Einsatz von Pestiziden gilt.

Nitrat (NO_3^-) ist Stickstoff in seiner höchstoxidierten Form, das Endabbauprodukt von diversen Stickstoffverbindungen und sehr gut in Wasser löslich. Nitrat ist neben den Pestizidmetaboliten der Stoff, der das Grundwasser am stärksten belastet.

Sulfat (SO_4^{2-}) ist das Endabbauprodukt von diversen Schwefelverbindungen und begünstigt die Versauerung von Boden und Grundwasser.



„Pestizidaustrag“, 2023

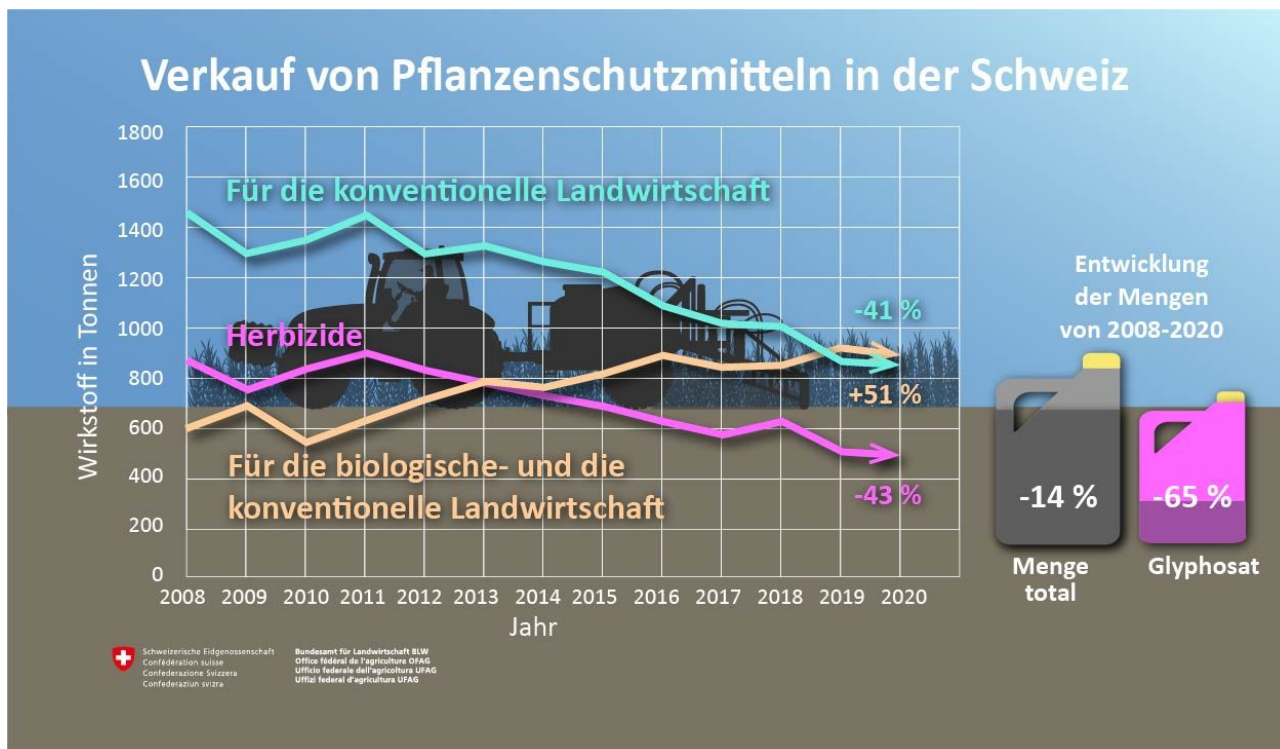


Abbildung 1: PSM-Verkauf in der Schweiz (Quelle: „BLW“, 2023)

Erfreulich ist, dass sich seit 2010 ein rückläufiger Trend beim Einsatz von PSM in der Landwirtschaft abzeichnet (siehe Abbildung 1). Im Jahr 2020 belief sich die Gesamtverkaufsmenge der PSM auf 1930 Tonnen, was gegenüber 2019 einem Rückgang um 23 Tonnen entspricht. Das siebte Jahr in Folge wurde weniger Glyphosat verkauft. Fünf der zehn im Jahr 2020 meistverkauften Substanzen (Fettsäure, Kaliumbicarbonat, Kupfer, Paraffinöl und Schwefel) sind in der biologischen Landwirtschaft anwendbar.

Während PSM-Wirkstoffe die numerische Anforderung der Gewässerschutzverordnung von 0.1 µg/l selten überschreiten, treten einige der zugehörigen Abbau-, Reaktions- und Transformationsprodukte, die sogenannten **PSM-Metaboliten**, grossflächig und in deutlich höheren Konzentrationen im Grundwasser auf.

Die Metaboliten sind oft mobiler und langlebiger als der ursprüngliche PSM-Wirkstoff. Die Zusammenarbeit der kantonalen Fachstellen mit dem BAFU ermöglicht, Probleme frühzeitig zu erkennen, Handlungsbedarf aufzuzeigen und gezielt Massnahmen zum Schutz der Grundwasserressourcen zu evaluieren.

Als Beispiel sei hier eine NAQUA-Pilotstudie erwähnt, die im Jahr 2017 startete und in den Folgejahren auf weitere Messstellen ausgedehnt wurde, und bei der erstmals der Nachweis von Metaboliten des Pflanzenschutzmittels Clorothalonil im Grundwasser erfolgte (Kiefer et al., 2019).

Im Dezember 2019 hat das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) entschieden, die Zulassung für das Inverkehrbringen von Produkten, die das Fungizid Chlorthalonil enthalten, mit sofortiger Wirkung zu entziehen. Seit 2020 liegt ein landesweiter Datensatz der NAQUA-Messstellen zu den zwei am häufigsten nachgewiesenen Chlorthalonil-Metaboliten, R417888 und R471811, vor. Die gemessene Konzentration des Metaboliten R471811 ist

erfahrungsgemäss um mehrere Faktoren höher, als die des Metaboliten R417888. In Basel-Stadt wurde im Messzeitraum 2019 bis 2022, mit den bis dahin etablierten Messmethoden, nur der Metabolit R471811 an vereinzelt Messstellen nachgewiesen, aber immer in Konzentrationen deutlich unterhalb von 0.1 µg/l.

Kohlenwasserstoffe (KWS), die das Grundwasser belasten, sind in der Regel ein Abbild der Besiedlungsdichte. Je urbaner eine Region, je intensiver das Verkehrsaufkommen und je mehr Industrie, umso eher finden sich aromatische, flüchtige sowie halogenierte KWS-Spuren im Untergrund. Die Belastung der Basler Messstellen mit schwerflüchtigen KWS ist insgesamt eher gering, mit Ausnahme von vereinzelt Messstellen. Oft werden an diesen Stellen auch erhöhte Ammonium-Werte gemessen, was auf den mikrobiellen Abbau der KWS hindeutet. In der Regel ist die punktuelle Belastung mit KWS auf bekannte und sanierte Leckagen von Treibstoff- und Heizöl-Tanks zurückzuführen.

Flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (FHKW) sind weitverbreitet im Basler Grundwasser. Sie sind biologisch nur schlecht abbaubar und daher in der Umwelt meist äusserst langlebig. Weil ihr spezifisches Gewicht höher ist als dasjenige von Wasser, können sie sich auf dem Grund der unterirdischen Wasservorkommen ansammeln und diese auch Jahrzehnte nach ihrem Eindringen noch belasten. Ältere Basler Betriebsstandorte der Metall- und Maschinenindustrie, von chemischen Reinigungen oder Anlagen zur Aufbereitung von Schlachtabfällen, erweisen sich daher häufig als Verursacher von gravierenden Grundwasserverschmutzungen. Die Lösungsmittel Tetrachlorethen (PER) und Trichlorethen (TRI) sind im Grundwasser des ganzen Kantons nachweisbar. Die Belastung mit Trichlorethen nimmt generell schneller ab als die mit Tetrachlorethen.

Insgesamt ist die Grundwasserqualität in Basel gut und dies trotz der hohen Bevölkerungsdichte und der historisch gewachsenen Industrie. In Notfällen kann das Grundwasser des gesamten Kantons zur Trinkwasserversorgung der Bevölkerung verwendet werden. Erfreulich ist, dass die Belastung durch diverse Stoffe innerhalb der letzten 20 Jahre konstant blieb oder sich in einigen Fällen sogar verbessert hat. Zwar verursachen belastete Standorte und undichte Kanalisationen punktuelle Verunreinigungen des Grundwassers, jedoch werden diese regelmässig überwacht und bei Bedarf saniert. So liefert die Überwachung der Grundwasserqualität Hinweise auf unsachgemässen Umgang mit Chemikalien wie Lösungsmittel und Pestizide, bietet eine Erfolgskontrolle über bereits durchgeführte Schutzmassnahmen und zeigt auch, dass weitere Anstrengungen zum Schutz des Grundwassers nötig sind.

Weitere Informationen:

- [Nationale Grundwasserbeobachtung \(NAQUA\)](#)
- [Chlorthalonil-Metaboliten im Grundwasser](#)
- [Bundesgesetz über die Verminderung der Risiken durch den Einsatz von Pestiziden](#)

2 Bedeutung und Vorkommen des Grundwassers in Basel-Stadt

Grundwasser ist ein elementarer Teil des Wasserkreislaufs und bildet einen noch wenig erforschten Lebensraum zahlreicher wirbelloser Tiere und Mikroorganismen. Weiterhin ist Grundwasser ein bedeutender Rohstoff und bildet die Basis der kantonalen Trinkwasserversorgung. Die Grundwasserleiter in den Langen Erlen (Riehen) und im Hardwald (Muttenz) liefern das Trinkwasser für rund 220 000 Konsumenten von Basel-Stadt, Riehen, Bettingen, Binningen und Allschwil. Abbildung 2 zeigt, dass die Hauptfliessrichtung des Grundwassers zum Rhein hin oder parallel dazu erfolgt. Grund- und Oberflächenwasser stehen dabei in Wechselwirkung. In Abhängigkeit von Abfluss und Grundwasserstand infiltriert Oberflächenwasser aus Rhein, Wiese und Birs ins Grundwasser und/oder umgekehrt.

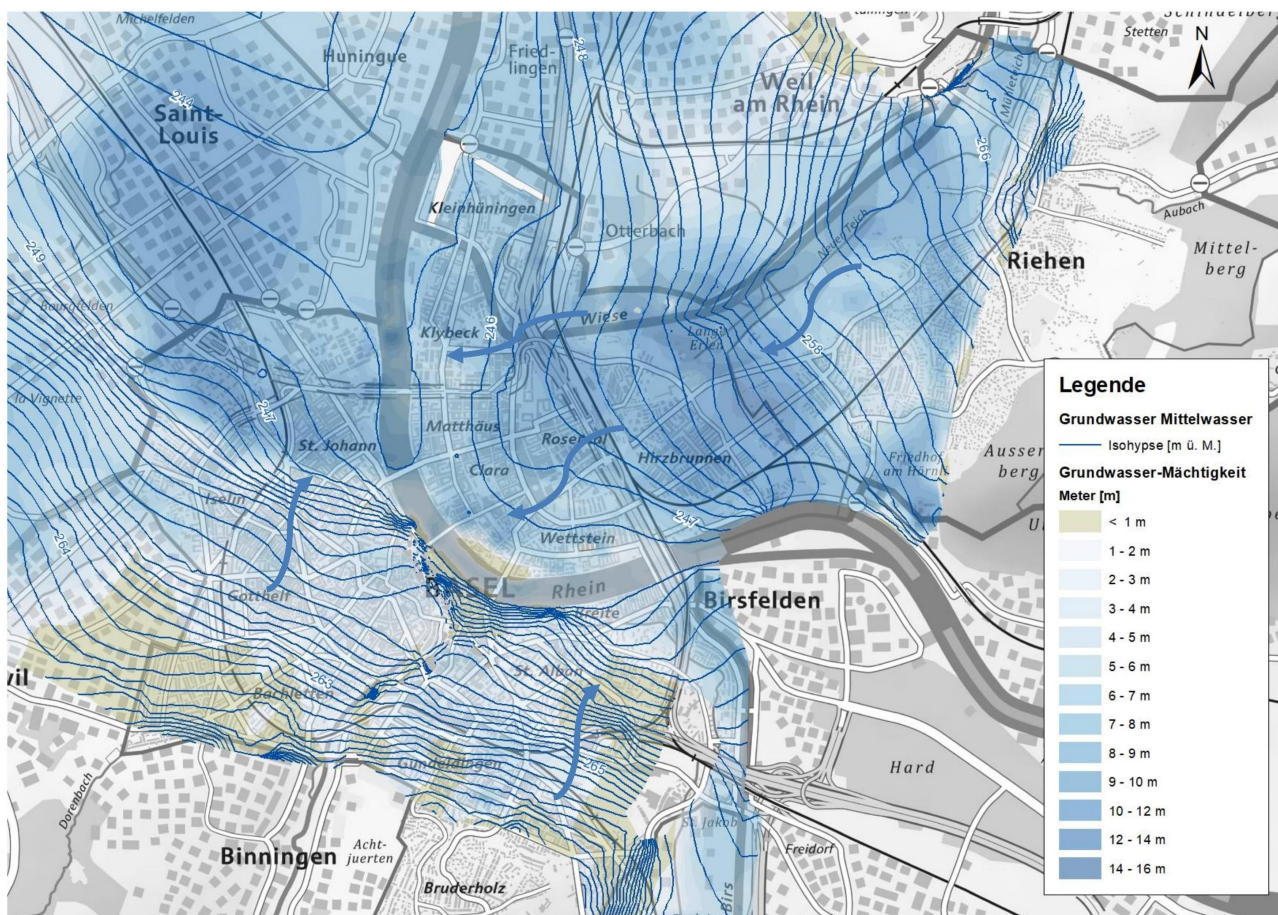


Abbildung 2: Hauptfliessrichtung des Grundwassers im Kanton Basel-Stadt

Das oberflächennahe Grundwasser des Kantons und angrenzender Gebiete bewegt sich in den kiesigen Schottern des Rheins und der Wiese. In den Rheinschottern sind alpine Gerölle vorherrschend, eine untergeordnete Rolle spielen Ablagerungen aus dem Schwarzwald und dem Jura. Im Bereich Riehen verzahnen sich die Rheinschotter mit Wieseschottern. Letztere bestehen vorwiegend aus kristallinen Geröllen (*Geologischer Führer der Re-*

gion Basel : mit 24 Exkursionen, 1988). Die alpinen, kalkreichen Rheinschotter bedingen ein verhältnismässig hartes Grundwasser (12-20° dH), die granit- und gneisreichen Wieseschotter führen ein weiches Grundwasser (6-12° dH), das jedoch durch den Zustrom von hartem Grundwasser aus dem karbonat- bzw. kalkreichen Dinkelberg beeinflusst ist.

Im Gebiet Lange Erlen ist das Grundwasser mit einem Flurabstand bei Mittelwasser von 1 m bis 5 m von einer geringmächtigen Deckschicht überdeckt. In Kleinbasel beträgt der Flurabstand etwa 5 m bis 12 m, im Klybeck und in Kleinhüningen auch weniger. In Grossbasel befindet sich der Grundwasserspiegel bis zu 25 m unterhalb der Geländeoberkante. Die Grundwassermächtigkeit in Kleinbasel und im Stadtteil St. Johann beträgt rund 5 m bis 15 m, in Grossbasel liegt sie häufig unter 5 m.

Das Grundwasservorkommen im Kanton Basel-Stadt ist einem starken Nutzungsdruck ausgesetzt. Im Gebiet Lange Erlen wird Grundwasser zur Trinkwassergewinnung mit Rheinwasser angereichert. Zu Kühlzwecken und zur Wärmeengewinnung wird Grundwasser im gesamten Stadtgebiet entnommen und grösstenteils dem Grundwasserleiter oder Oberflächengewässern wieder zugeführt. Zudem sind viele Flächen im Kanton versiegelt und überbaut. Durch den Wärmeübertrag von Gebäuden ins Grundwasser, den Wärmeinseleffekt von dicht bebauten Gebieten, Kühlwassernutzungen von Gebäuden wie auch durch klimatische Veränderungen sind die Grundwassertemperaturen in Basel-Stadt gegenüber natürlichen Verhältnissen durch anthropogene Aktivitäten stark erhöht.

Die Jahresmittelwerte der Grundwassertemperaturen in Basel-Stadt liegen an den gemessenen Messstellen im Bereich von 12°C - 18°C. Wie in Abbildung 3 dargestellt, erhöht sich der Jahresmittelwert des Grundwassers gegenwärtig im Bereich von 0,05°C pro Jahr (also 0,5°C in 10 Jahren). In natürlichen, wenig anthropogen beeinflussten Gebieten entspricht die Jahresmitteltemperatur im Grundwasser ungefähr der Jahresmitteltemperatur der Luft. Die mittlere Grundwassertemperatur in Basel-Stadt liegt aber durch anthropogene Einträge, wie Bauten im Grundwasser, Versiegelung etc., schon seit vielen Jahren deutlich über der Jahresmitteltemperatur der Luft. Im Vergleich zu Basel-Land ist das Grundwasser in Basel-Stadt im Mittel um rund 2,0°C bis 2,5°C wärmer. Im Jahr 2022 lag die mittlere Grundwassertemperatur in Basel-Stadt bei 14,9°C und die Jahresmitteltemperatur der Luft war 12,6°C.

Eine Abnahme der mittleren Grundwassertemperatur wäre wünschenswert, aber aufgrund des Wärmeübertrags von weiteren Einbauten ins Grundwasser und wegen des Klimawandels ist eher mit einer stetigen Zunahme der Grundwassertemperaturen zu rechnen (Hunkeler et al., 2021). Erhöhte Temperaturen des Grundwassers können neben der Störung des chemisch-physikalischen Gleichgewichtes unter anderem auch zu einem vermehrten Auftreten von Mikroorganismen im Wasser führen, was in Gebieten mit Trinkwassernutzung unerwünscht ist.

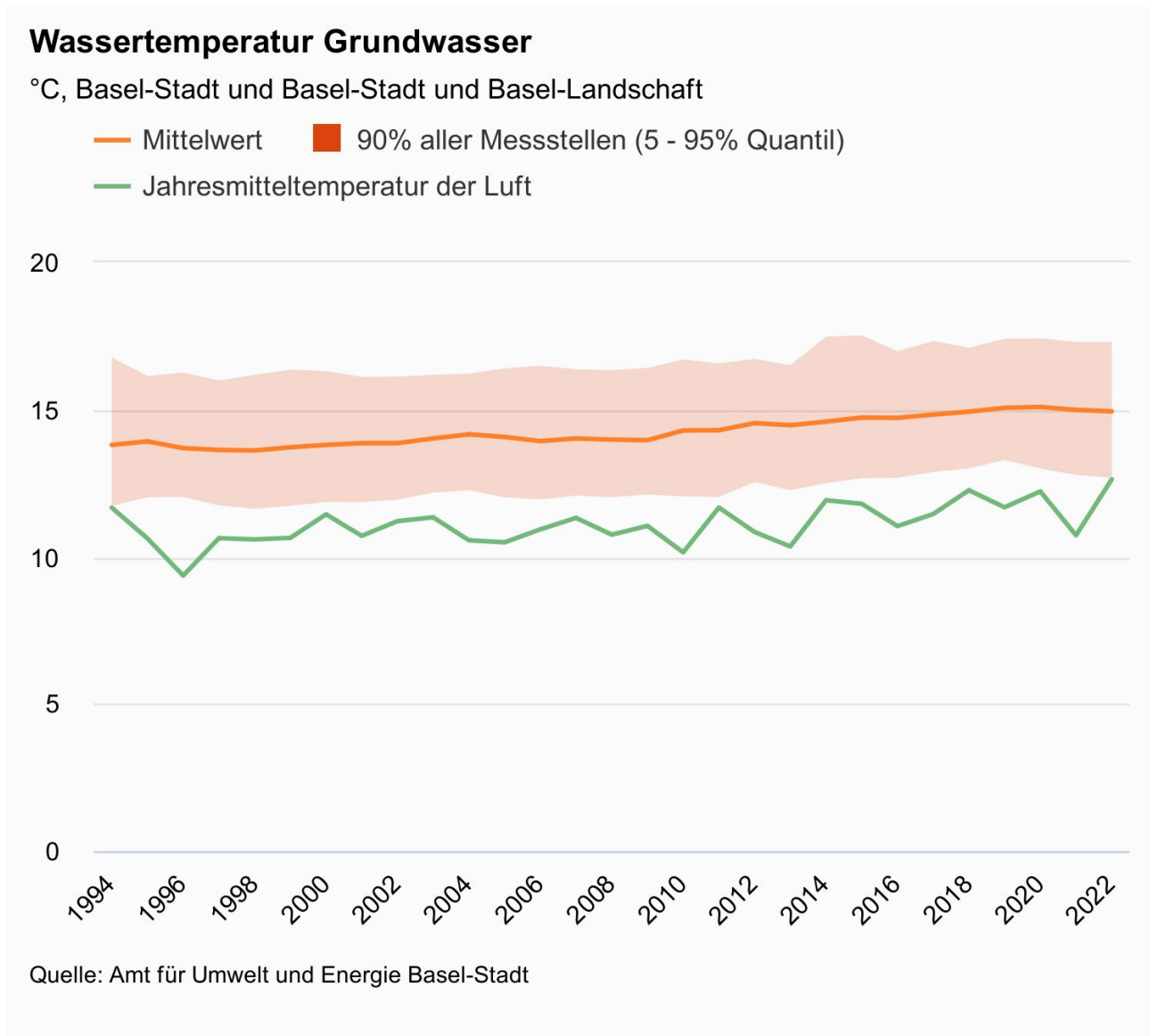


Abbildung 3: Mittelwert der kantonalen Jahrestemperatur des Grundwassers berechnet aus Temperaturdaten von 82 Messstellen

Zwar ist das Grundwasser durch schützende Bodenschichten bedeckt, dennoch ist neben Temperatur und Grundwasserstand auch die Grundwasserqualität im urbanen Raum Basel in vielerlei Hinsicht gefährdet. Verunreinigtes Erdreich im Bereich von Industrie- und Altlastenstandorten, der Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden in der Landwirtschaft und Kleingärten, emittierte Luftschadstoffe durch Verkehr und Industrie und undichte Kanalisationssysteme seien hier beispielhaft genannt. Daher ist eine regelmässige Überwachung mittels eines engmaschigen Messstellennetzes unabdingbar. So können langfristige Trends festgestellt werden und gegebenenfalls rechtzeitig schützende Massnahmen eingeleitet werden.

Der vorliegende Grundwasserbericht stellt die gesetzlich geregelten Messparameter des kantonalen Überwachungsprogramms vor und beschreibt deren langfristige Entwicklung

von 1993 bis 2022. Daten und Beurteilungen von Parametern, für die in der Gewässerschutzverordnung keine gesetzlichen Anforderungen festgelegt sind, können als einzelne Datenblätter von der Homepage des AUE bezogen werden. Auf diesen Datenblättern sind auch Einzelmesswerte der nur alle fünf Jahre untersuchten Fassungen aufgeführt. Angaben zu den Grundwasserständen und Grundwassertemperaturen sind dem jährlich publizierten Hydrologischen Jahrbuch des Kantons Basel-Stadt („Hydrologisches Jahrbuch“, 2022) zu entnehmen.

Weitere Informationen:

- [Grundwasserpegel- und qualität Basel-Stadt](#)
- [OpenBS Datenportal Grundwasserbeobachtung](#)
- [Zustand Grundwasser Schweiz](#)

3 Überwachung der Grundwasserqualität

Das Labor für Umweltanalytik des AUE überwacht das Grundwasser mittels regelmässigen Probenahmen und Analysen. Die langfristige Beobachtung der Grundwasserqualität ist eine wesentliche Voraussetzung für einen wirkungsvollen Grundwasserschutz, der in erster Linie auf präventiven Schutzmassnahmen beruht. Die erforderlichen Massnahmen können nur dann rechtzeitig und zweckmässig angeordnet werden, wenn negative Entwicklungen der Grundwasserqualität und -quantität frühzeitig erkannt werden.

Besonders wichtig ist die Überwachung des Grundwassers im Bereich Lange Erlen, da dort Trinkwasser durch die Anreicherung von Grundwasser mit filtriertem Rheinwasser gewonnen wird. In Notfällen muss das Grundwasser jedoch auf dem ganzen Kantonsgebiet mit einfachen Aufbereitungsmassnahmen als Trinkwasser nutzbar sein, um eine Versorgung der Bevölkerung in ausreichender Qualität zu ermöglichen. Dieses wichtigste Qualitätsziel deckt auch die Anforderungen für andere Nutzungen, wie zur Kühlwasser, Brauchwasser-, und Wärmegewinnung, ab. Ebenso werden hierdurch die Anforderungen der eher unbekannteren Grundwasserlebewesen ans Grundwasser als Lebensraum erfüllt. Die den speziellen Verhältnissen angepasste Biozönose umfasst neben verschiedenen Grundwassertierchen auch Mikroorganismen (Bakterien, aquatische Pilze, mikroskopische Algen), die den Hauptteil der Biomasse ausmachen. Die im Grundwasser lebenden Organismen beeinflussen die Durchlässigkeit im Porensystem der Grundwasserleiter und verbessern durch Stoff- und Energieumsätze die Qualität des Grundwassers. Ein funktionierendes, intaktes Ökosystem ist also Produkt und zugleich auch Voraussetzung für sauberes Grundwasser.

Das Intervall der Probenahme durch das AUE-Labor hängt von dem jeweiligen Überwachungsziel ab. Im Zustrom- und Randbereich der Trinkwasserfassungen werden die Messstellen halbjährlich untersucht. Darüber hinaus werden im gesamten Kanton ausgewählte Messstellen einmal pro Jahr oder alle fünf Jahre beprobt. Zusätzlich sind einige Messstellen im NAQUA-Programm der bundesweiten nationalen Grundwasserbeobachtung, so dass dann bis zu viermal pro Jahr Probenahmen stattfinden. Die Häufigkeit der Pro-

benahme innerhalb des NAQUA-Programms wird jährlich an die messstellenspezifische Entwicklung der Grundwasserqualität angepasst. Ferner werden alllastenspezifische Probenahmekampagnen durchgeführt, deren Resultate jedoch nicht Gegenstand dieses Berichts sind. Abbildung 4 gibt eine Übersicht aller Grundwassermessstellen des Kantons, welche mindestens einmal jährlich beprobt werden. Bei diesen Messstellen sind genügend Daten vorhanden, um eine Beurteilung bezüglich gesetzlicher Grenzwerte durchführen zu können. Für die Daten von nicht gesetzlich geregelten Parametern und weiteren Messstellen verweisen wir auf die laufend aktualisierten Datenblätter auf der Homepage des AUE BS.

Die Bewertung der Messparameter basiert auf der GSchV vom 28. Oktober 1998 (Stand 01. Februar 2023). Im Anhang 2 der GSchV, Ziffer 22, werden die Anforderungen an Grundwasser, das zur Trinkwassergewinnung vorgesehen ist, festgelegt.

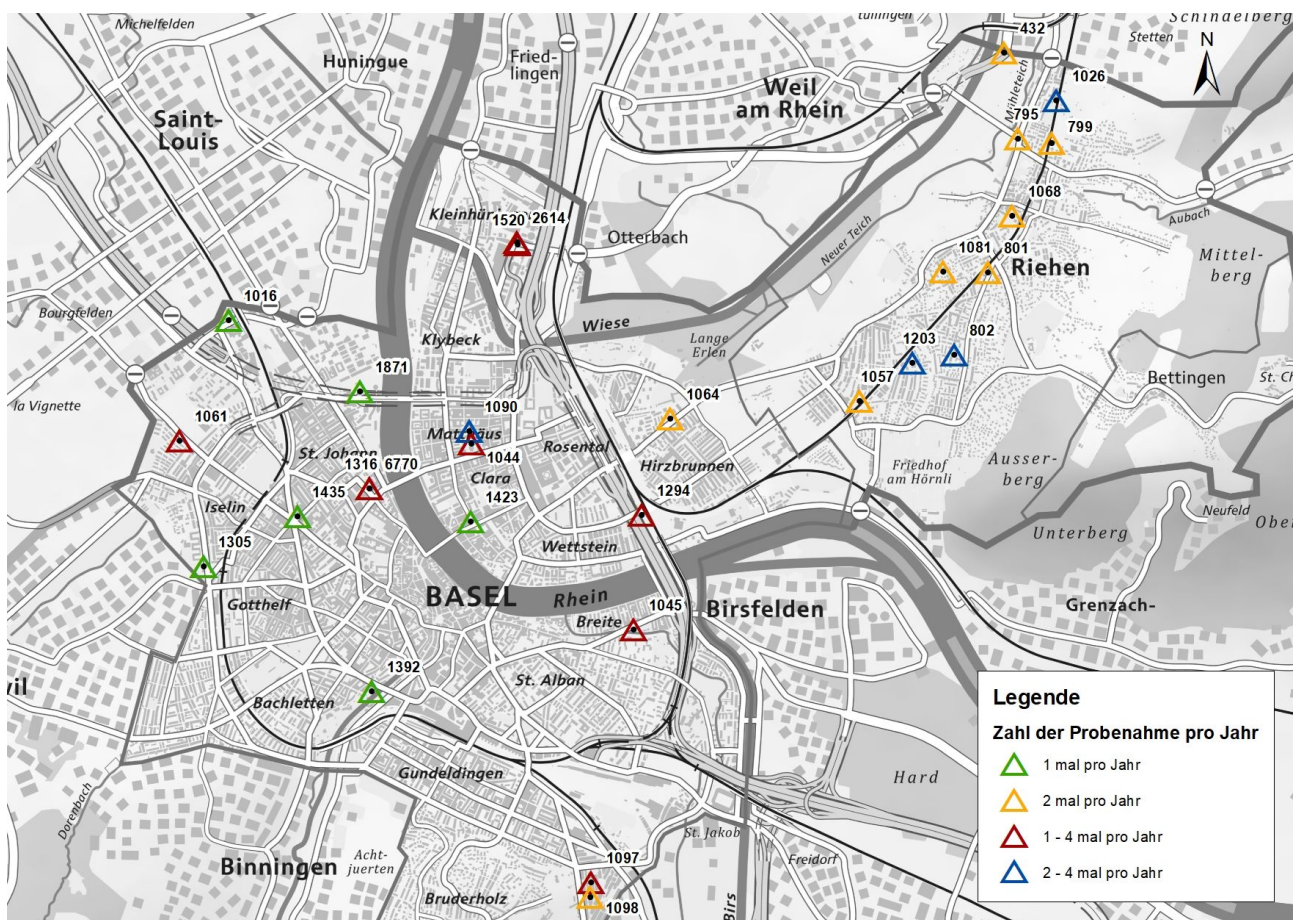


Abbildung 4: Grundwassermessstellen für Wasserqualität und Beprobungshäufigkeit.

Weitere Informationen:

- [Video zur Überwachung der Grundwasserqualität im Kanton Basel-Stadt](#)

4 Bewertung der Messparameter nach Gewässerschutzverordnung

Die folgenden Unterkapitel beschreiben die zeitliche Entwicklung der in der GSchV (Anhang 2, Ziffer 22) geregelten Parameter von 1993 bis 2022. Pro Parameter werden die innerhalb von fünf Jahren erhobenen Daten statistisch zusammengefasst, beurteilt und in einer Karte dargestellt. Dies ergibt für den Zeitraum 1993 bis 2022 pro Parameter sechs Messperioden. Um bei den gesetzlichen Parametern eine gewisse statistische Sicherheit gewährleisten zu können, sind in den Karten ausschliesslich Messstellen visualisiert, die mindestens jährlich beprobt werden. Das heisst, die Datengrundlage pro Parameter, Messstelle und Karte umfasst mindestens fünf Messungen. Ausgenommen von dieser Regelung sind folgende vier Messstellen, die innerhalb einer Messperiode als Ersatz für deaktivierte Messstellen hinzugekommen sind

- F_6770 (seit November 2021 Ersatz für F_1316)
- F_1044 (seit November 2015 Ersatz für F_1019)
- F_0802 (seit November 2015 Ersatz für F_1203)
- F_1520 (seit August 2014 Ersatz für F_2414)

Für jede Messstelle wird pro Fünfjahresperiode und Parameter das 90-Perzentil gebildet und als **Schätzwert S** bezeichnet.

Das 90-Perzentil entspricht dem Wert, bei dem 90 % aller Werte einer Grundgesamtheit kleiner als dieser Wert sind. Bei fünf oder zehn Werten in der Grundgesamtheit ist es jeweils ein berechneter Wert knapp oberhalb des zweithöchsten Messwertes. Einmalige oder seltene, hohe Belastungen fliessen bei Verwendung des 90-Perzentils in gedämpfter Form in die Beurteilung ein. Werte zwischen Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze fliessen als numerische Werte in die Berechnung ein. Werte unterhalb der Nachweisgrenze als 0. Liegt kein einziger Messwert über der Bestimmungsgrenze, so wird das 90-Perzentil als <BG angegeben. Die berechneten 90-Perzentile sind dem Anhang zu entnehmen.

Der Schätzwert S wird anschliessend dem gesetzlichen **Anforderungswert A** gegenübergestellt, indem er in Anlehnung an das Modul Chemie des Modulstufenkonzepts zur Beurteilung der Oberflächengewässer einer der Kategorien *sehr gut / gut / mässig / unbefriedigend / schlecht* zugeordnet wird (Tabelle 1).

Tabelle 1: Bewertung anhand von Schätzwert (S) und Anforderungswert (A) in Anlehnung an das BAFU-Modulstufenkonzept zur Beurteilung der Oberflächengewässer.

Bewertung	Beschreibung	Einhaltung Anforderungswert
sehr gut	$S < 0.5A$	Anforderungswert nach GSchV eingehalten
gut	$0.5A \leq S < A$	
mässig	$A \leq S < 1.5A$	Anforderungswert nach GSchV überschritten
unbefriedigend	$1.5A \leq S < 2A$	
schlecht	$S \geq 2A$	

Kritisch anzusehen ist der geringe Stichprobenumfang von teilweise nur fünf Messungen. Ideal wäre ein Datensatz von zwölf Messungen (Liechti, 2010). Eine häufigere Beprobung der Grundwassermessstellen ist jedoch aufgrund beschränkter Ressourcen nicht realisierbar. Den Beurteilungszeitraum auf zwölf Jahre auszudehnen, wäre wiederum nicht sinnvoll, da die Grundwasserqualität in einem solchen Zeitraum durchaus eine Entwicklung durchmachen kann und man somit riskiert, eine sich abzeichnende Kontamination zu verpassen.

4.1 Stickstoff (N)

Stickstoff (N) ist ein bedeutendes Nährelement und kommt gasförmig als elementarer Stickstoff (N_2), Stickoxid (NO_x) oder Ammoniak (NH_3) und gelöst als Nitrat (NO_3^-), Nitrit (NO_2^-) oder Ammonium (NH_4^+) vor. Die Speziesverteilung hängt insbesondere vom Redoxpotenzial, dem pH-Wert und dem Vorhandensein von Bakterien ab. Der Stickstoffgehalt in den ober- und unterirdischen Gewässern ist natürlicherweise gering. Überdurchschnittliche Stickstoffgehalte sind in der Regel auf folgende Ursachen zurückzuführen: den Einsatz von Mineraldüngern, Nutztierhaltung, Gülleausbringung, Anbau bestimmter Pflanzenarten (wie z. B. Leguminosen, die mit Hilfe von Bakterien Stickstoff aus der Luft fixieren), undichte Abwasserleitungen oder Deposition von Stickstoff-Verbindungen (wie z.B. Stickoxiden oder Ammoniak die bei Verbrennungsprozessen entstehen) aus der Luft. Die GSchV gibt für Ammonium und Nitrat Anforderungswerte vor. Die Ammonium- und Nitratkonzentrationen können sich gegenseitig beeinflussen, da die beiden Stoffe sich in einem Redox-Gleichgewicht befinden. Bei sauerstoffarmen Verhältnissen kann Nitrat über Nitrit zu Ammonium reduziert werden. Dies ist ein natürlicher Vorgang und wird durch Bakterien katalysiert. Daher unterscheidet die GSchV im Falle von Ammonium zwischen sauerstoffarmen (anoxischen) und sauerstoffreichen (oxischen) Bedingungen.

4.1.1 Ammonium

Der Parameter Ammonium setzt sich aus der Summe von NH_4^+ und NH_3 zusammen. Gemäss Gewässerschutzverordnung darf Ammonium-N bei oxischen Verhältnissen den Anforderungswert von 0.08 mg N/l (entspricht 0.1 mg/l Ammonium), bzw. bei anoxischen Bedingungen 0.4 mg N/l (entspricht 0.5 mg/l Ammonium), nicht überschreiten. Für die Bewertung des Ammoniumgehaltes wird der Anforderungswert für oxisches Grundwasser herangezogen, da die in der Karte dargestellten Grundwassermessstellen (Abbildung 5), bis auf wenige Ausnahmen, eine Sauerstoffsättigung von mehr als 60 % aufweisen. Tritt eine Anforderungswertüberschreitung auf, so ist die einzelne Messstelle vor dem Hintergrund des Redoxpotenzials differenziert zu bewerten. Infiltriert mit Ammonium belastetes Grundwasser in Oberflächengewässer, so kann sich dies schädlich auf den Fischbestand auswirken. Ausserdem kann Ammonium auf eine Verunreinigung mit Fäkalien deuten. Eine undichte Kanalisation, organische und zu einem geringeren Anteil auch mineralische Dünger, Deponien und die Reduktion von Nitrat stellen weitere mögliche Quellen für Ammonium dar.

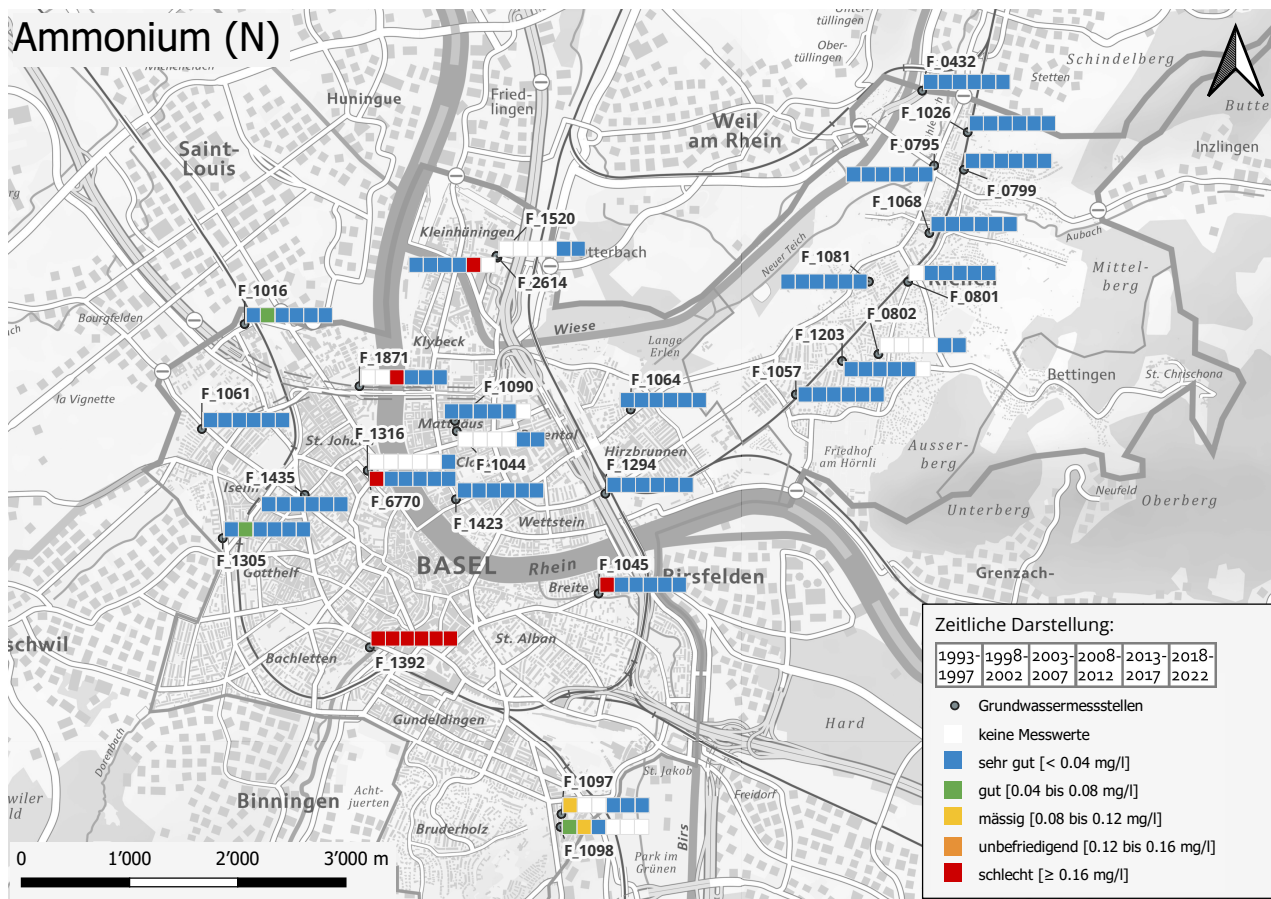


Abbildung 5: Ammonium Messzeitraum 1993-2022.

Im Kanton Basel-Stadt ist in der aktuellen Beurteilungsperiode die Ammonium-Belastung gering. 70 % der Messstellen weisen seit 1993 gute oder sehr gute Werte auf. Bei einzelnen belasteten Messstellen sank die Ammonium-Konzentration in diesem Zeitraum. Eine Verbesserung konnte an den Messstellen 1316 / 6770 (Kantonsspital) und 1045 (Zürcherstrasse) beobachtet werden. Während im Zeitraum 1993 bis 1997 der Anforderungswert für Ammonium deutlich überschritten war, lagen die Konzentrationen im Zeitraum 1998 bis 2022 konstant unter dem Anforderungswert. Da beide Messstellen nicht im Bereich von belasteten Standorten liegen, ist die Ursache vermutlich in undichten Kanalisationen zu suchen, die inzwischen saniert wurden. Die Messstelle 1871 (Fabrikstrasse) wies im Zeitraum 2003 bis 2007 eine schlechte Qualität auf. Dies erklärt sich durch einen inzwischen grösstenteils sanierten belasteten Standort im ehemaligen Hafen St. Johann. Bei temporären Absenkungen des Grundwassers infolge des Baus der Nordtangente wurde die Fliessrichtung verändert, sodass durch den belasteten Standort verunreinigtes Grundwasser in der Messstelle 1871 beprobt wurde.

Im Messzeitraum 2018 bis 2022 ist nur noch die Messstelle 1392 (Birsigstrasse) auffällig. Die Messstelle 1392 ist ein bekannter belasteter Standort. Sie zeichnet sich durch stark erhöhte Konzentrationen an verschiedenen Kohlenwasserstoffen (vgl. Abschnitt 4.4 und 4.7) aus. Im Bereich der Messstelle 1392 sickerte im Jahr 1981 Benzin ins Erdreich. Die Sanierung der Altlast ist abgeschlossen, leichte Verunreinigungen sind jedoch noch vor-

handen. Zusätzlich zu den hohen Ammonium-Konzentrationen liegt die Sauerstoffsättigung regelmässig unter 10 %. Das heisst, es herrscht dort ein anoxisches Milieu. Die Sauerstoffzehrung ist eine Folge des chemischen und mikrobiellen Abbaus von organischen Verbindungen. Erfreulich ist, dass das 90-Perzentil im Zeitraum 2018 bis 2022 bei 0.2 mg Ammoniumstickstoff pro Liter liegt, d.h. der Grenzwert von 0.4 mg/l für anoxisches Ammonium wird zum ersten Mal seit 1993 nicht mehr überschritten.

Massnahmen zur Verbesserung der Belastungssituation an der Stelle 1392 einzuleiten, wäre nicht verhältnismässig. Erfahrungsgemäss ist das Grundwasser nur lokal beeinträchtigt. Es ist davon auszugehen, dass auch bei dieser Messstelle in einigen Jahrzehnten fast alle Schadstoffe abgebaut sind und die Ammoniumkonzentration wieder als gut bezeichnet werden kann.

4.1.2 Nitrat

Nitrat (NO_3^-) ist die sehr gut wasserlösliche, pflanzenverfügbare und mobile Form von Stickstoff. Nitrat entsteht beim Abbau organischer Substanz wie zum Beispiel Ernterückständen oder Gülle bzw. bei der Oxidation reduzierter Stickstoff-Verbindungen im Boden. Überschüssiges Nitrat, das von den Pflanzen nicht aufgenommen wird, gelangt mit dem Sickerwasser durch Auswaschen aus dem Boden ins Grundwasser. Als Hauptverursacher für den Eintrag von Nitrat gilt die Landwirtschaft. Weiterhin sind Verbrennungsprozesse und die nachfolgende Deposition verschiedener Stickstoffverbindungen sowie undichte Kanalisationssysteme zu nennen. Nitrat ist insbesondere für Ungeborene, Säuglinge bis zum 6. Lebensmonat und Schwangere gefährlich. Nitrat wird im Körper zu Nitrit reduziert, welches den Blutbestandteil Hämoglobin blockiert, den Sauerstofftransport hemmt und somit ein Ersticken (Blausucht) auslösen kann. Der Anforderungswert für Nitrat-N liegt laut GSchV bei 5.6 mg N/l (entspricht 25 mg/l Nitrat).

Im Messzeitraum 2018 bis 2022 wird noch an etwa einem Drittel der Messstellen die GSchV-Anforderung für Nitrat überschritten (Abbildung 6). Im Vergleich zur Vorperiode (2013 bis 2017) stellt diese eine deutliche Verbesserung dar, da nun einige Messstellen in Riehen und den Langen Erlen die Bewertung 'gut' oder 'sehr gut' bekommen. Seit Messbeginn 1993 reduzierte sich der Nitrat-Gehalt im Grundwasser an fast allen Stellen, insbesondere im westlichen Teil von Basel-Stadt. Dort wird das Grundwasser von Hangwasser aus dem landwirtschaftlich geprägten Raum Oberwil-Schönenbuch beeinflusst. Eine Erklärung für die Verbesserung ist die Einführung des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) als Grundvoraussetzung für Direktzahlungen an die Landwirtschaft im Jahr 1997. Ein Hauptpfeiler des ÖLN ist die Anforderung einer ausgeglichenen Düngerbilanz, die den Düngereinsatz in ökologisch sinnvolle Bahnen gelenkt hat und in der Regel zu einer Reduktion von Stickstoff- und Phosphordüngern geführt hat. Ähnliches gilt für die Randgebiete der Grundwasserschutzzone der Langen Erlen gegen den Dinkelberg hin, für welche eine Verbesserung zu beobachten ist. Umweltchemisch interessant sind die Messstellen 1392 (Birsigstrasse) und 1097 / 1098 (Tiefbauamt Leimgrubenweg). Beide sind im Einflussbereich von belasteten Standorten und weisen permanent oder unregelmässig sauerstoffarme Verhältnisse auf. An beiden Stellen wird Nitrat als Sauerstofflieferant zu Ammonium reduziert, was zu geringen Nitratkonzentrationen führt.

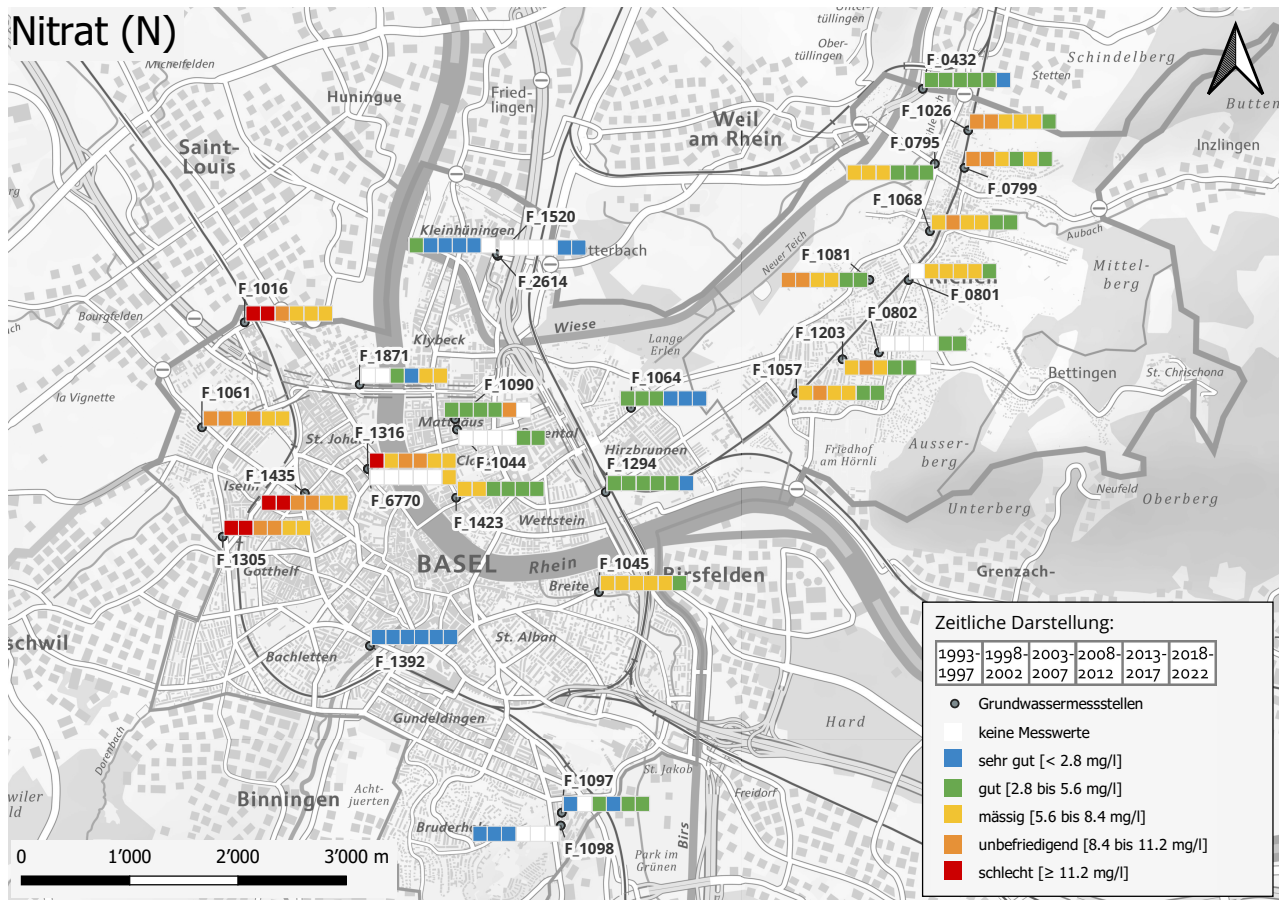


Abbildung 6: Nitrat Messzeitraum 1993-2022.

Im Gebiet vom Zustrom zur Wiese-Ebene ist die Wasserqualität bezogen auf Nitrat ca. eine Beurteilungsklasse schlechter. Hydrogeologisch interessant sind die Fassungen 2614 / 1520 (Neuhastrasse / Badenstrasse) und 1064 (Luftschuttraum Waldshuterstrasse). An beiden Stellen ist die Nitratkonzentration in der Regel geringer als bei anderen Messstellen die im Zustrom-Gebiet der Wiese-Ebene liegen. Die Fassung 1064 liegt im Abstrom der Grundwasseranreicherung in den Langen Erlen. Dort wird pro Sekunde ca. 1 m^3 Rheinwasser versickert, welches bedeutend weniger Nitrat enthält. Das 90-Perzentil des Rheinwassers in der Messperiode 2018 bis 2022 betrug 1.63 mg/l Nitratstickstoff, was als sehr gut einzustufen ist und zu einer Absenkung der Nitrat-Konzentration bei der Fassung 1064 führt. Im Gebiet der Messstelle 2614 / 1520 befinden sich zahlreiche Grundwassernutzungen, die zur Folge haben, dass Grundwasser mit geringerem Nitratgehalt aus dem Bereich der Lange Erlen angesogen wird. Zudem liegt im Zustrom der Fassungen 2614 / 1520 ein belasteter Standort. Die Sauerstoffsättigung im Grundwasser dieser Stellen liegt zwischen 30 % bis 60 %. Wie bei der Fassung 1392, führen diese sauerstoffarmen Verhältnisse zu einer weiteren Absenkung der Nitrat-Konzentration.

Generell kann die Nitratbelastung als verbesserungswürdig jedoch nicht besorgniserregend bezeichnet werden. Die wichtigste technische Massnahme zu einer Verbesserung, die in den Möglichkeiten des Kantons Basel-Stadt liegt, ist die fortlaufende Instandhaltung der Kanalisation. Die Massnahmen im landwirtschaftlichen Bereich haben bereits gegriffen oder werden es noch. Bezüglich der Deposition aus der Luft sind nur bedingt lokale

Massnahmen im Bereich der Luftverschmutzung durch Verkehr und Industrie möglich, im Grossen und Ganzen wird die Luftdeposition von Stickstoffverbindungen durch Aktivitäten in einer überregionalen Skala bestimmt.

4.2 Sulfat

Sulfat (SO_4^{2-}) stammt geogen aus der Oxidation von Sulfiden (z.B. Pyrit) sowie aus der Lösung sulfatischer Minerale wie Gips oder Anhydrit, es kann jedoch auch anthropogen eingetragen werden. In der Landwirtschaft wird Sulfat als Düngemittel eingesetzt. Des Weiteren sind Sickerwässer aus Bauschutt-Deponien stark mit Sulfat belastet. Daher ist Sulfat auch ein wichtiger Indikator für Bauschutt im Boden. Eine weitere Quelle sind Industrieabwässer und Schwefeldioxid aus dem Verbrennungsprozess fossiler Energieträger. Der Anforderungswert für Sulfat liegt nach GSchV bei 40 mg/l, jedoch können auch anthropogen unbeeinflusste Grundwässer diesen Wert deutlich überschreiten. Sulfat ist für den Menschen ungefährlich, kann jedoch die Korrosion von Wasserleitungen begünstigen.

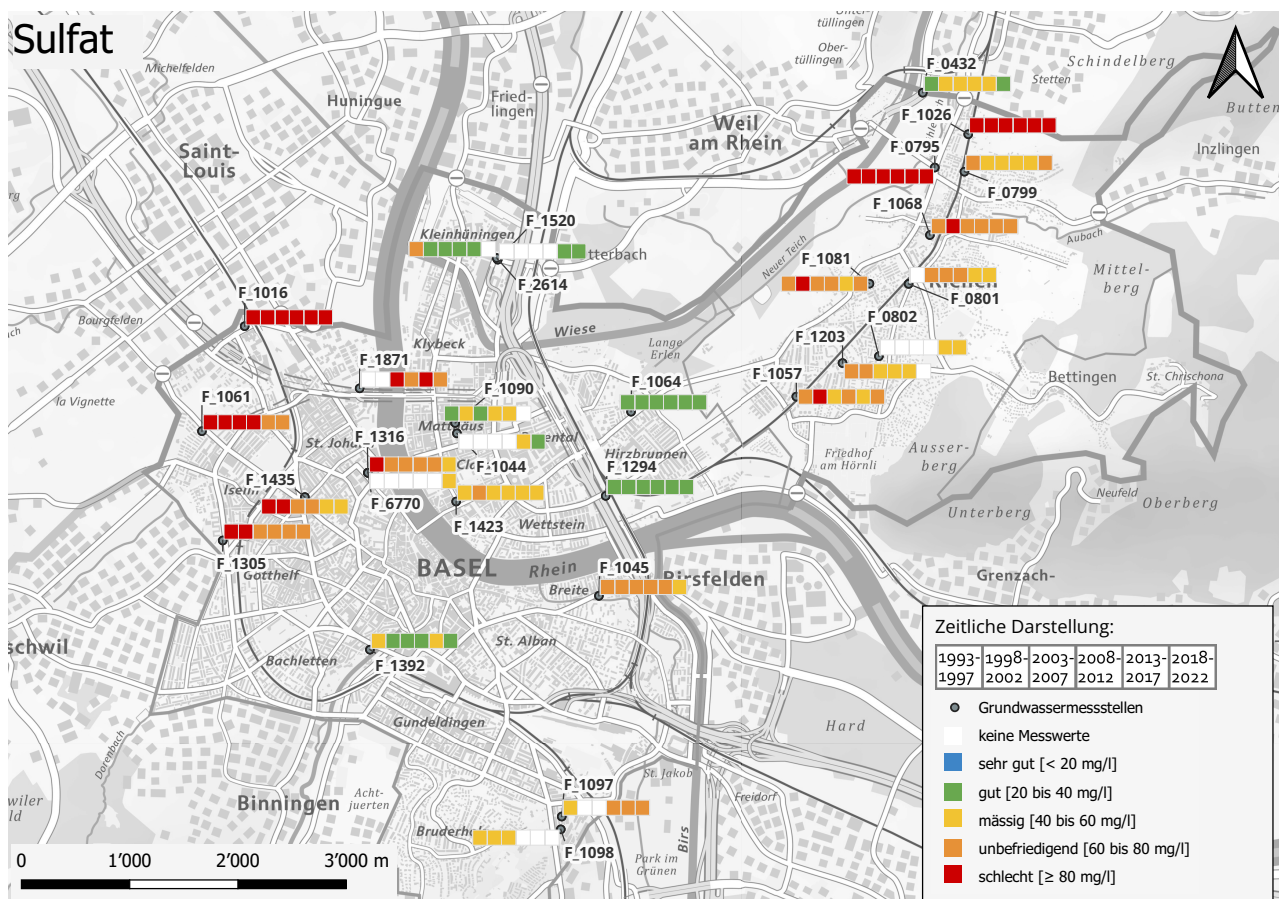


Abbildung 7: Sulfat Messzeitraum 1993-2022.

Die Belastung mit Sulfat ähnelt dem Bild von Nitrat. Insbesondere im Westen Basels und in Riehen erreichen die Sulfat-Konzentrationen Werte zwischen 60 mg und 150 mg/l (Ab-

bildung 7). Hier sind im gesamten Beobachtungszeitraum, wie beim Nitrat, abnehmende Konzentrationen festzustellen. Die Korrelation mit Nitrat deutet auf einen sinkenden Eintrag durch Düngemittleinsatz oder undichte Kanalisationssysteme hin. Einen Spezialfall in Riehen mit hoher und nicht sinkender Sulfatbelastung bilden die beiden Messstellen 1026 (Haselrain) und 0795 (Weilstrasse). Dort ist die Belastung geogen bedingt und stammt aus einem Gipskeupervorkommen. Die weiteren Stellen in Riehen sind ebenso, jedoch in geringerem Ausmass, geogen durch Zuflüsse aus dem Dinkelberg belastet. Ähnliche geogene Belastungen liegen im Bereich der Birssedimente im Süden Basels (Messstellen 1045 (Zürcherstrasse) und 1097 / 1098 (Tiefbauamt Leimgrubenweg)) vor. Die teilweise hohe Belastung im Westen Basels kann durch Ablagerungen von Bauschutt aber auch geogen aus dem Raum Schönenbuch / Oberwil bestimmt sein.

Die Messstelle 1392 (Birsigstrasse) zeigt in einem Gebiet mit einer Sulfatbelastung von über 60 mg/l eine vergleichsweise niedrigere Sulfat-Konzentration. Dieses kann auf eine Sulfatreduktion unter Bildung des giftigen Schwefelwasserstoffs (H_2S) infolge des sauerstoffarmen Milieus zurückgeführt werden (vgl. Abschnitt 4.1.1). Diese These wird zusätzlich durch sensorisch im Wasser der Messstelle nachweisbaren Schwefelwasserstoff sowie durch den Nachweis von elementarem Schwefel mittels GC/MS (Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung) bestätigt. Da Sulfat für die menschliche Gesundheit unbedenklich ist und die erhöhten Konzentrationen zum Teil geogen bedingt sind, besteht kein Handlungsbedarf. Zum Vergleich sei noch das 90-Perzentil der Sulfatkonzentration des Rheins von der Messperiode 2018 bis 2022 aufgeführt, es beträgt 28.5 mg/l.

4.3 Chlorid

Erhöhte Chlorid-Konzentrationen können auf Evaporitgesteine oder aufsteigendes Tiefenwasser zurückgehen. Im urban geprägten Kanton Basel-Stadt sind vermutlich anthropogene Eintragswege wie Kommunal- und Industrieabwässer, der Einsatz von Streusalz im Winter und die Auswaschung von Düngemitteln (Kalidünger) bedeutender. Der Anforderungswert nach GSchV beträgt 40 mg/l, jedoch sind auch höhere Konzentrationen für die Gesundheit unbedenklich.

Die Chlorid-Konzentrationen überschreiten bei der Hälfte der Messstellen von 1993 bis 2022 durchgängig den Anforderungswert, wobei die Chlorid-Belastung im Westen und Süden Basels tendenziell höher ist als im übrigen Kanton (vgl. Abbildung 8). Die Messstelle 1392 (Birsigstrasse) verzeichnete in der Messperiode 2008 bis 2012 einen Höchstwert von 626 mg/l. In der folgenden Messperiode von 2013 bis 2017 war der Höchstwert 186 mg/l und zwischen 2018 und 2022 lag der Höchstwert bei 218 mg/l. Die Chlorid-Werte dieser Messstelle schwanken stark. Aufgrund des steilen Strassenabschnitts ist von einem hohen Streusalzeinsatz während Kälteperioden auszugehen. Ebenfalls liegen die Messstellen 1316 / 6670 (Kantonsspital) und 1871 (Fabrikstrasse) weit über dem Anforderungswert für Chlorid. Bei Letzterer sind in der Nähe belastete Standorte eine mögliche Ursache. Ausser einem sparsamen Umgang mit Streusalz und einer kontinuierlichen Sanierung des Kanalisationsnetzes sind keine Massnahmen zur Verbesserung der Chlorid-Konzentrationen möglich. Beides wird in Basel-Stadt bereits umgesetzt.

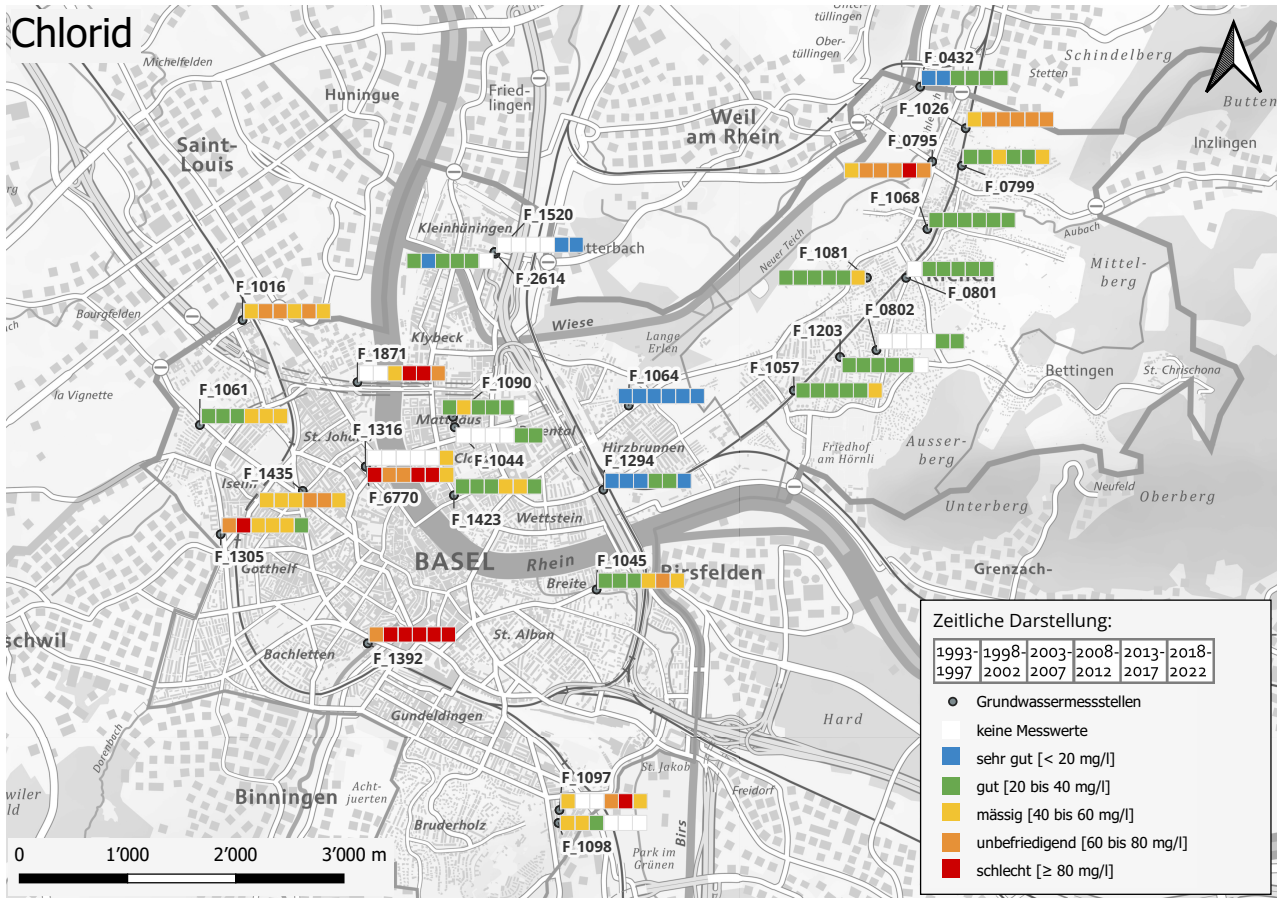


Abbildung 8: Chlorid Messzeitraum 1993-2022.

4.4 DOC

Der DOC (dissolved organic carbon) ist ein Summenparameter für den gelösten, organisch gebundenen Kohlenstoff in einer Probe. Der DOC setzt sich im Grundwasser vor allem aus dem Anteil an organischen Humin- und Fulvosäuren zusammen. Diese Gruppen von organischen Säuren entstehen bei der partiellen Zersetzung von abgestorbenen Lebewesen und Pflanzenmaterial im Boden. Zwar erfasst der DOC auch anthropogen eingetragene Kohlenwasserstoffe wie Treib- und Brennstoffe, Pestizide und Lösungsmittel, jedoch sind diese bei gering belasteten Standorten vernachlässigbar aufgrund der geringen Konzentrationen im $\mu\text{g/l}$ - oder ng/l -Bereich (Greber et al., 2002). Der DOC-Anforderungswert der GSchV beträgt 2 mg/l.

Die DOC-Konzentrationen liegen von 1993 bis 2022 bei fast 90 % der Messstellen in der GSchV-Beurteilungskategorie 'sehr gut' (Abbildung 9). Die Messstellen 1392 (Birsigstrasse), 1871 (Fabrikstrasse) und 2614 / 1520 (Neuhaus-/Badenstrasse) weisen erhöhte DOC-Werte auf. Ursache sind belastete Standorte. Im Falle von 1392 sind auch die Parameter BTEX, insbesondere Benzol, aufgrund einer Benzinverunreinigung erhöht (vgl. Abschnitt 4.1.1). Messstelle 2614 / 1520 ist durch PER und 1,2,4-Trichlorbenzol belastet (ehemals Stüchi-Stofffärberei und chemische Produktion). Die Fassung 1871 zeigt eine DOC-Wertüberschreitung aufgrund von Ablagerungsrückständen im ehemaligen Hafengebiet.

bereich. Da der DOC als Summenparameter nur indirekt auf Verunreinigungen deutet, besteht bei Überschreitung des Anforderungswertes in Bezug auf den DOC kein akuter Handlungsbedarf. Zukünftig ist jedoch weiterhin zu untersuchen, welche einzelnen Stoffe mit dem DOC korrelieren, um dann etwaige Massnahmen treffen zu können.

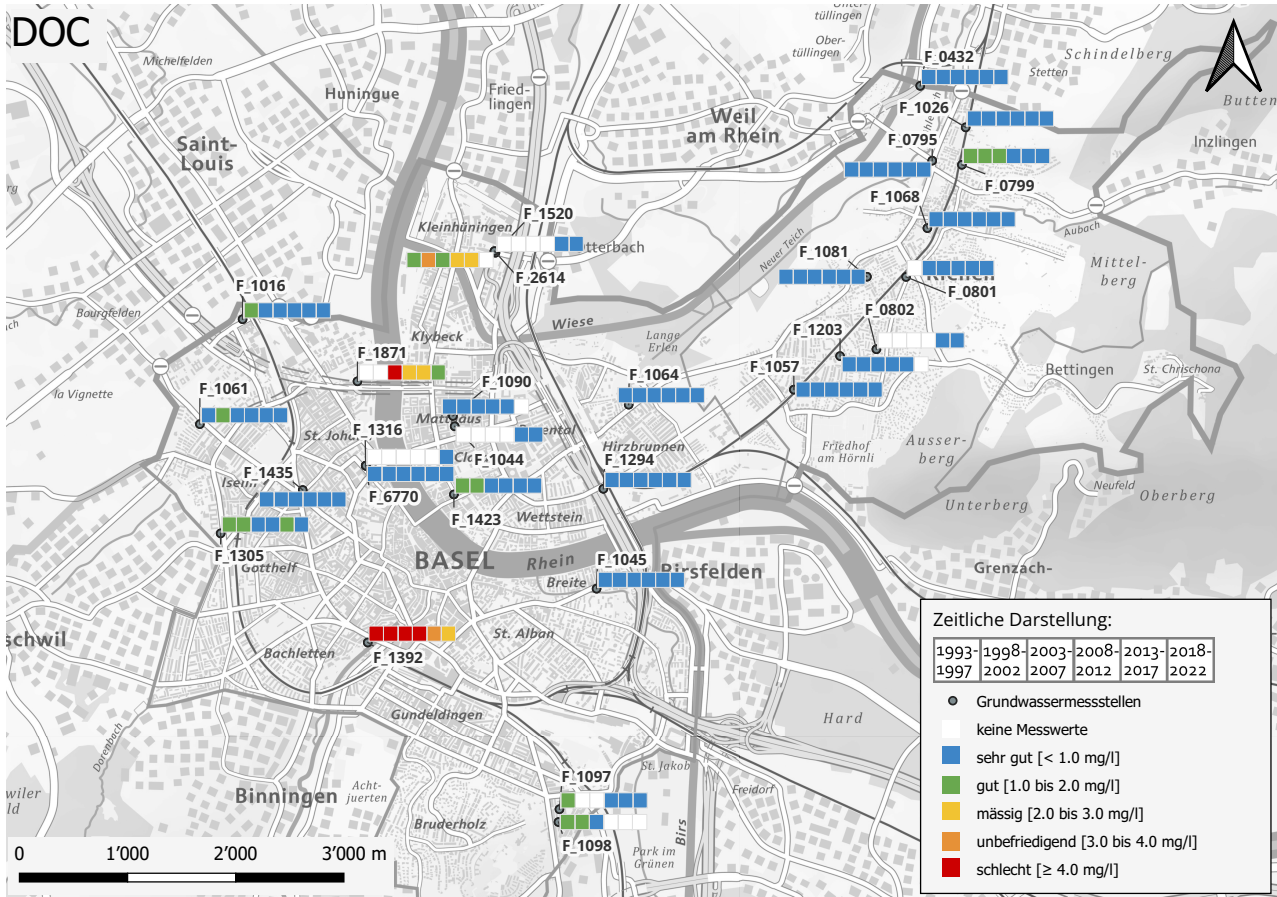


Abbildung 9: DOC Messzeitraum 1993-2022.

4.5 Organische Pestizide am Beispiel von 2,6-Dichlorbenzamid

Organische Pestizide gehören zur Gruppe der synthetischen Pflanzenschutzmittel (PSM), welche durch biologisch aktive Wirkstoffe Nutzpflanzen vor Schadorganismen schützen oder unerwünschte Pflanzen vernichten. Leider sind viele PSM in der Umwelt langlebig und bauen sich nur schwer ab. Für das Grundwasser von Bedeutung sind dabei nicht nur die eigentlichen PSM-Wirkstoffe, sondern auch eine Vielzahl zugehöriger Abbau-, Reaktions- und Transformationsprodukte, die sogenannten Metaboliten. Im Grundwasser können Rückstände von PSM daher sowohl in Form der ursprünglichen PSM-Wirkstoffe als auch in Form verschiedener PSM-Metaboliten auftreten. Seit 2002 erfasst die Nationale Grundwasserbeobachtung (NAQUA) Wirkstoffe von PSM an 500 Messstellen schweizweit. Mit der Zeit rückten anhand der Ergebnisse von verschiedenen Pilotstudien vor allem die PSM-Metaboliten in Vordergrund der Untersuchungen, da diese immer wieder den Grenzwert für organische Pestizide von $0.1 \mu\text{g/l}$ überschritten (Kiefer et al., 2019). Zurzeit umfasst das Analysenspektrum des NAQUA-Langzeitmonitorings 16 Metaboliten von neun

verschiedenen PSM-Wirkstoffen. Landesweit werden primär Metaboliten untersucht, die bereits in der Vergangenheit in Konzentrationen von mehr als 0.1 µg/l im Grundwasser nachgewiesen wurden (Reinhardt et al., 2022).

Stellvertretend für die Beobachtung der PSM-Metaboliten-Konzentration im Grundwasser wurde 2,6-Dichlorbenzamid, das wichtigste Abbauprodukt des Totalherbizids Dichlobenil, für diesen Bericht ausgewählt. Dichlobenil kam vor allem im Weinbau aber auch in Baumschulen oder in Kleingärtnern zum Einsatz. In der Schweiz ist die Anwendung Dichlobenilhaltiger Pflanzenschutzmittel seit dem 1. Februar 2015 verboten. 2,6-Dichlorbenzamid wurde von 1998 bis 2022 in knapp der Hälfte der beprobten Messstellen zumindest in Spurenkonzentrationen nachgewiesen. Bis 2017 gab es lediglich eine einzige Messstelle, bei der es zu einer Überschreitung des Anforderungswertes der Gewässerschutzverordnung kam. Da die 2,6-Dichlorbenzamid-Konzentration seit dem Anwendungsverbot von Dichlobenil generell rückläufig ist, wurde es in der Messperiode von 2018 bis 2022 nun auch an dieser Messstelle nur noch in Spuren nachgewiesen.

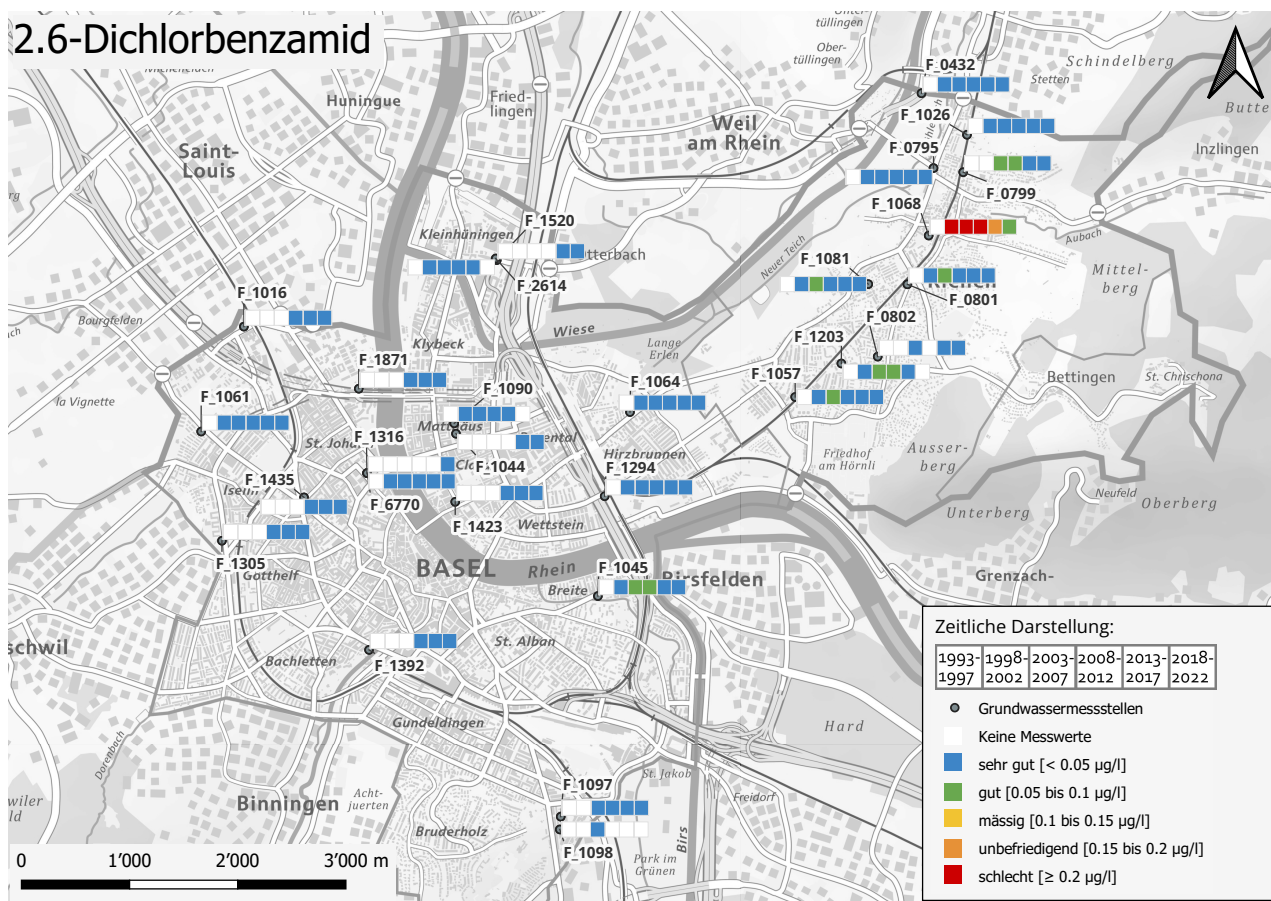


Abbildung 10: 2,6-Dichlorbenzamid Messzeitraum 1993-2022.

Zur Ergänzung - ein viel beachteter Stoff ist das Herbizid Atrazin. In der Schweiz ist die Anwendung von Atrazin seit 2009 verboten. Dennoch sind im Abstrom von Gleisanlagen immer noch stark erhöhte Konzentrationen (über 0.1 µg/l) nachweisbar (Reinhardt et al., 2017). Diese Befunde belegen, wie persistent Atrazin in der Umwelt ist. In Basel-Stadt

wird Atrazin im Grundwasser, ausser im Abstrom der Eisenbahnverbindung zwischen Basel Badischem Bahnhof und Riehen, nur noch in Spurenkonzentrationen (kleiner 0.05 µg/l) nachgewiesen.

Die Häufigkeit der 2,6-Dichlorbenzamid-Nachweise nimmt seit 2007 ab (Abbildung 10). Im Zeitraum 2018 bis 2022 ist bei fast der Hälfte der 24 Messstellen die 2,6-Dichlorbenzamid-Konzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0.01 µg/l. Die höchsten Konzentrationen wurden im Bereich Riehen in den Jahren 2003 bis 2007 erreicht. Die Messstelle 1068 (Gemeindeparkplatz Riehen), östlich des Bahnhofs Riehen, war bislang die einzige Beprobungsstelle wo der Anforderungswert bis 2017 immer noch deutlich überschritten wurde. Hier ist jedoch im Vergleich zu den Vorperioden auch eine Verbesserung zu verzeichnen, denn die Messstelle erhält in der Messperiode 2018 bis 2022 die Bewertung 'gut'. Eine mögliche Ursache kann der unerlaubte Einsatz des Totalherbizids im Bahnhofsareal darstellen. Ausserdem liegen im Zustrom mehrere Grünanlagen, Gärtnereien sowie eine Beerenanbaufläche. In den erwähnten Betrieben wurde infolge der hohen Konzentrationen eine Umfrage bzw. Sensibilisierung durch das Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) durchgeführt - vielleicht hat diese Sensibilisierung der Bevölkerung zum schnelleren Anwendungsrückgang noch vor dem eigentlichen Dichlobenil-Verbot beigetragen.

Die an der Messstelle 1061 (Waldighoferstrasse) gemessenen und seit 2013 stagnierenden Konzentrationen, lassen sich durch die Lage der Messstelle im Abstrombereich der landwirtschaftlichen Nutzflächen Frankreichs sowie des Kantons Basel-Landschaft erklären. Messstelle 1045 (Zürcherstrasse), die bis 2013 leicht erhöhte 2,6-Dichlorbenzamid-Werte aufwies, befindet sich im Abstrom von Kleingärten sowie einem Bahnhofsareal, was den Einsatz von Herbiziden in der Vergangenheit nahelegt. Aufgrund des allgemeinen Dichlobenil-Anwendungsverbots ist die 2,6-Dichlorbenzamid-Konzentration dort in letzten fünf Jahren zurückgegangen.

Sind PSM und PSM-Abbauprodukte einmal ins Grundwasser gelangt, werden sie dort kaum oder nur sehr langsam abgebaut. Die Grundwassererneuerung braucht meist mehrere Jahre bis Jahrzehnte. Daher besitzt unser Grundwasser ein „Langzeitgedächtnis“ für künstliche, langlebige Chemikalien. Unsere Aufgabe ist es, verantwortungsvoll im Umgang mit PSM zu sein. Kantonale Umweltschutzfachstellen, wie das AUE Basel-Stadt, evaluieren durch regelmässiges Monitoring, ob die zum Grundwasserschutz ergriffenen Massnahmen Wirkung zeigen. Sie beobachten gleichzeitig neu-aufkommende Stoffe aus der ständig wechselnden PSM-Produktpalette, um frühzeitig und vorausschauend zu agieren.

4.6 Monocyclische aromatische Kohlenwasserstoffe am Beispiel von Benzol

Verschiedene monozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (MAKW) sind Bestandteile von Benzin sowie in geringerem Ausmass auch von anderen Erdölprodukten wie Heizöl, Diesel oder Kerosin. Zudem werden MAKW häufig als Lösungsmittel verwendet und dienen der chemischen Industrie als Ausgangsstoffe für die Synthese diverser organischer Kohlenstoffverbindungen. Zu den MAKW zählen unter anderem Benzol, Toluol, Ethylben-

zol und Xylol (BTEX). Die BTEX sind leichter als Wasser, und nur in Spuren wasserlöslich. Sie neigen daher dazu, eine aufschwimmende Phase im Grundwasser zu bilden. Der Anforderungswert dieser Stoffgruppe liegt bei 1 µg/l je Einzelstoff. Auf die Darstellung der Belastungssituation bezüglich des Summenparameters BTEX wird im Folgenden verzichtet, da dieser erwartungsgemäss ein ähnliches Bild wie der einzelne Parameter Benzol zeichnet.

Benzol ist eine organische, kanzerogene Flüssigkeit und maximal mit 1.7 g/l in Wasser löslich. Es ist Ausgangsstoff verschiedener Industriechemikalien und Bestandteil von Benzin. Das Vorkommen von Benzol im Grundwasser korreliert in der Regel mit früheren Einträgen von Benzin. Zu beachten ist jedoch, dass Benzol auch natürlich im Grundwasser aufgrund von Gesteinsschichten mit höherem Gehalt an organischem Material vorkommen kann (z.B. Mittlerer Muschelkalk).

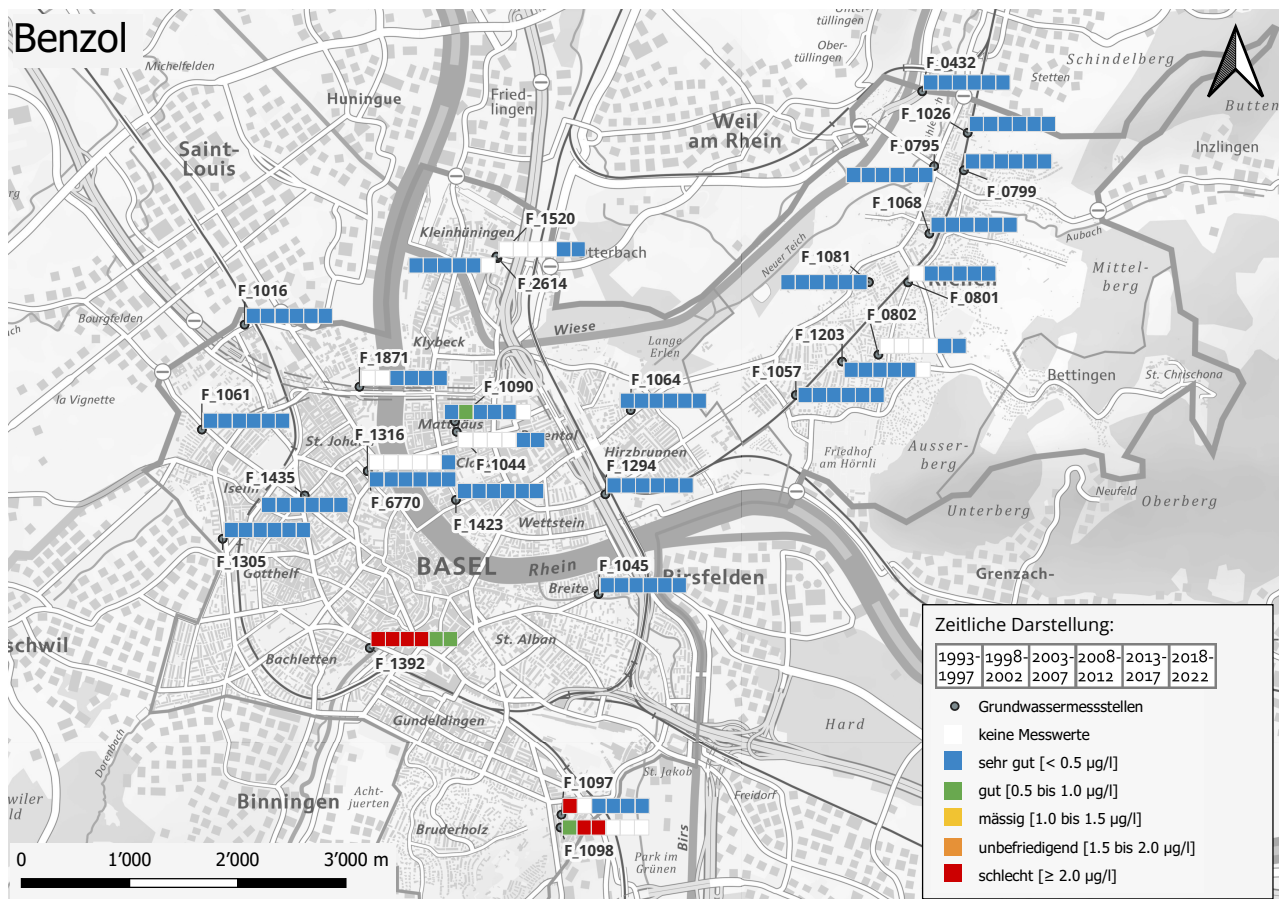


Abbildung 11: Benzol Messzeitraum 1993-2022.

Die Benzolbelastung im Grundwasser des Kantons Basel-Stadt ist seit jeher gering (Abbildung 11). Im Zeitraum 1993 bis 2022 liegen die Benzolkonzentrationen bei rund 80 % der Messstellen unter der Bestimmungsgrenze. Die Fassungen 1097 / 1098 (Tiefbauamt Leimgrubenweg) und 1392 (Birsigstrasse) bilden eine Ausnahme. Messstelle 1392 befindet sich im Gebiet einer Tankstelle, bei der infolge einer Leckage Benzin ins Erdreich gelangte. Die Altlast gilt als saniert. Die Abnahme der Benzol-Konzentrationen zwischen

1993 und 2017 lässt auf einen mikrobiellen Abbau der Verunreinigung schliessen (vgl. Abschnitt 4.1.2). Die Messstellen 1097 / 1098 im Süden Basels liegen im Abstrom eines ehemals korrodierten Tanklagers. Bis 1972 versickerten Benzin, Dieselöl und Heizöl in den Untergrund. Trotz Grundwasser-Sanierung waren noch Restverunreinigungen besonders im Bereich der Messstelle 1098 nachweisbar, jedoch wurde der Grenzwert nach der Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, Alt-LV) nicht überschritten. Es sind keine Massnahmen zur Verbesserung der Benzolbelastung nötig. Dennoch ist der Parameter Benzol in Anbetracht des immer dichter werdenden Strassenverkehrs jährlich zu kontrollieren.

4.7 Flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (FHKW)

Trichlorethen (TRI) und Tetrachlorethen (PER) zählen zu den flüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen (FHKW) und sind auf anthropogene Quellen zurückzuführen. Die Anwendungen von TRI und PER können in die folgenden vier Hauptgruppen eingeteilt werden:

- Als Reinigungs- und Lösungsmittel (Entfetten in Galvanikbetrieben, Chemische Reinigung)
- Als Lösungsmittel in der chemischen Produktion
- Als Lösungsmittel in Produkten (z.B. Farben, Klebstoffe)
- Zur Herstellung von Kunststoffen wie PVDC (Polyvinylidenchlorid) und PVC (Polyvinylchlorid)

Gemäss Gewässerschutzverordnung gilt ein Anforderungswert von 1 µg/l je Einzelstoff.

4.7.1 Tetrachlorethen (PER)

Tetrachlorethen ist eines der bedeutendsten chlorierten Lösungsmittel. Es wird vor allem in chemischen Reinigungen sowie zur Entfettung von Metallen eingesetzt. PER ist nur unter anaeroben Bedingungen biologisch abbaubar und daher relativ persistent. Dabei werden z.T. Metabolite mit höherer Toxizität gebildet. Erschwerend bei Sanierungen erweist sich, das PER eine höhere Dichte als Wasser hat, sodass es auf undurchlässigen Schichten des Untergrunds „Pfützen“ bildet. Diese sind sehr schwer zu orten und noch schwerer zu sanieren, ohne einen aufwendigen Totalaushub zu machen.

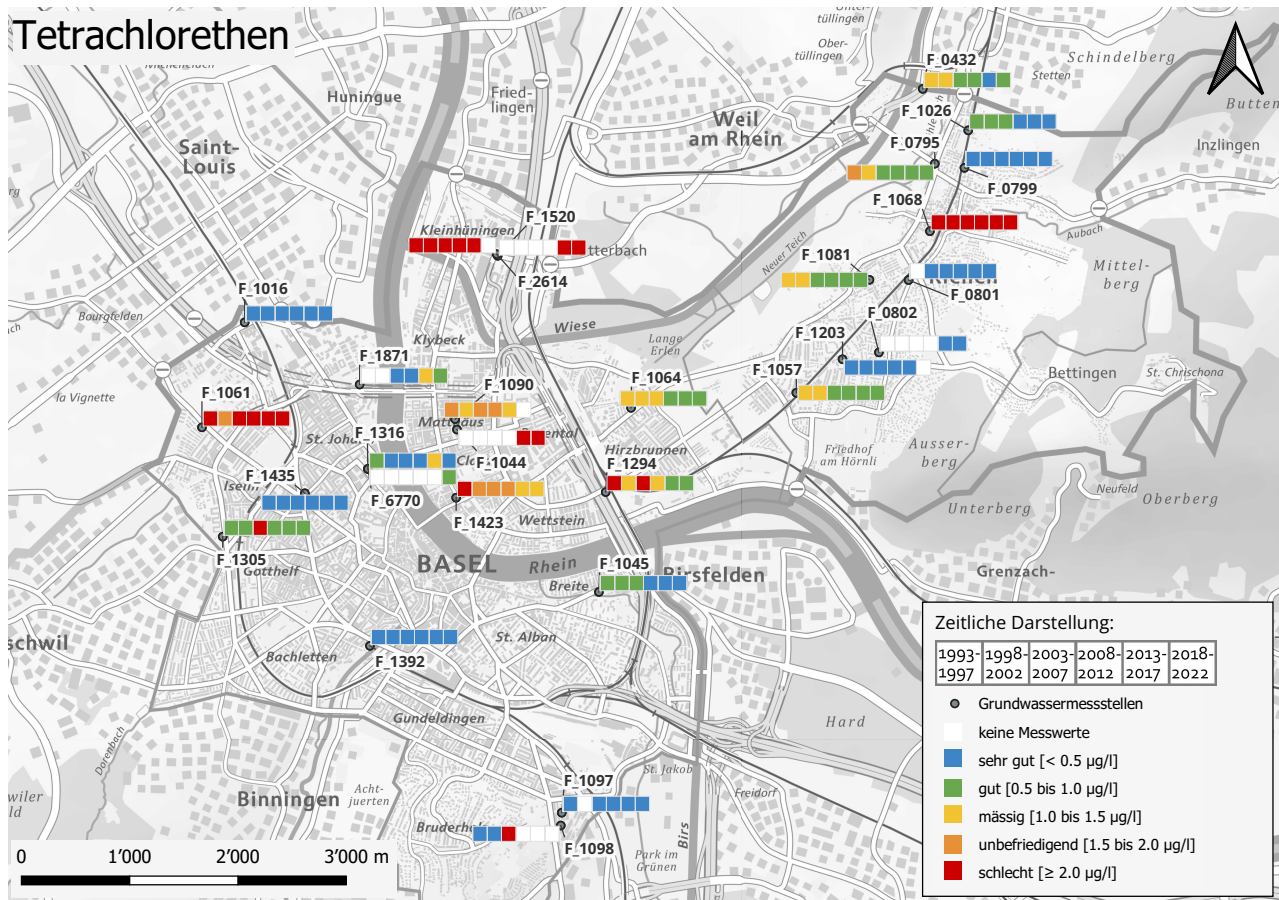


Abbildung 12: Tetrachlorethen Messzeitraum 1993-2022.

Tetrachlorethen ist im kantonalen Grundwasser stark verbreitet (Abbildung 12). Die höchsten Belastungen liegen im Bereich der Messstelle 2614 / 1520 (Neuhausstrasse / Badenstrasse) in Kleinhüningen vor. Im Zustrombereich befindet sich das inzwischen zum grössten Teil sanierte Areal der ehemaligen Stückfärberei. In der Stückfärberei wurden gross-technisch Stoffe gefärbt, welche vorgängig mit Tetrachlorethen entfettet wurden. Weiter befindet sich im Zustrombereich ein Areal der Grosschemie, das eine zusätzliche Belastung verursachen kann. Seit 2008 ist in der Fassung 2614 der Konzentrationswert nach Altlasten-Verordnung nicht um mehr als das Doppelte überschritten worden, so dass keine Sanierungsbedürftigkeit abzuleiten ist.

Weitere stark belastete Stellen in Basel-Stadt sind 1068 (Gemeindeparkplatz Riehen) im Abstrom eines ehemaligen Galvanikbetriebes und die Stelle 1061 (Zivilschutzanlage Waldighoferstrasse) im Abstrom von Allschwil mit seinen Gewerbebetrieben und einigen in Frankreich liegenden Deponien. Um die Belastung der Umwelt mit Tetrachlorethen zu verringern, sind schon in den 1990er Jahren gesetzliche Massnahmen betreffend der Lagerung und des Umgangs mit der Chemikalie getroffen worden, welche seither greifen. Verbesserungen der Situation aufgrund von Sanierungen sind am Laufen. Der natürliche Abbau der restlichen Belastungen wird Jahrzehnte in Anspruch nehmen.

4.7.2 Trichlorethen (TRI)

Trichlorethen findet bei der Entfettung von Metallen sowie in chemischen Reinigungen Verwendung. TRI ist ebenfalls ein Metabolit beim Abbau von Tetrachlorethen. Da auch TRI schwerer als Wasser ist, erweisen sich Sanierungen als schwierig. Sinngemäss gelten für TRI die gleichen Bemerkungen wie für PER. „Pfützen“ von TRI auf undurchlässigen Schichten im Untergrund werden jedoch bedeutend schneller ausgewaschen, da TRI 10-mal besser in Wasser löslich ist als PER.

Die TRI-Konzentrationen im kantonalen Grundwasser sind zwischen 1993 und 2022 im Vergleich zur Belastung mit PER bedeutend stärker gesunken (Abbildung 13). Während im Zeitraum 1993 bis 1997 noch die Hälfte der beprobten Messstellen eine Überschreitung des TRI-Anforderungswertes aufwies, war in den letzten fünfzehn Jahren lediglich eine einzige Überschreitung zu verzeichnen (Messstelle 2614). Dieser Erfolg ist auf die bessere Löslichkeit von TRI im Grundwasser zurückzuführen. In Bezug auf Massnahmen zur Verbesserung gelten die gleichen Bemerkungen wie bei PER, ausser dass sie bei TRI schneller greifen.

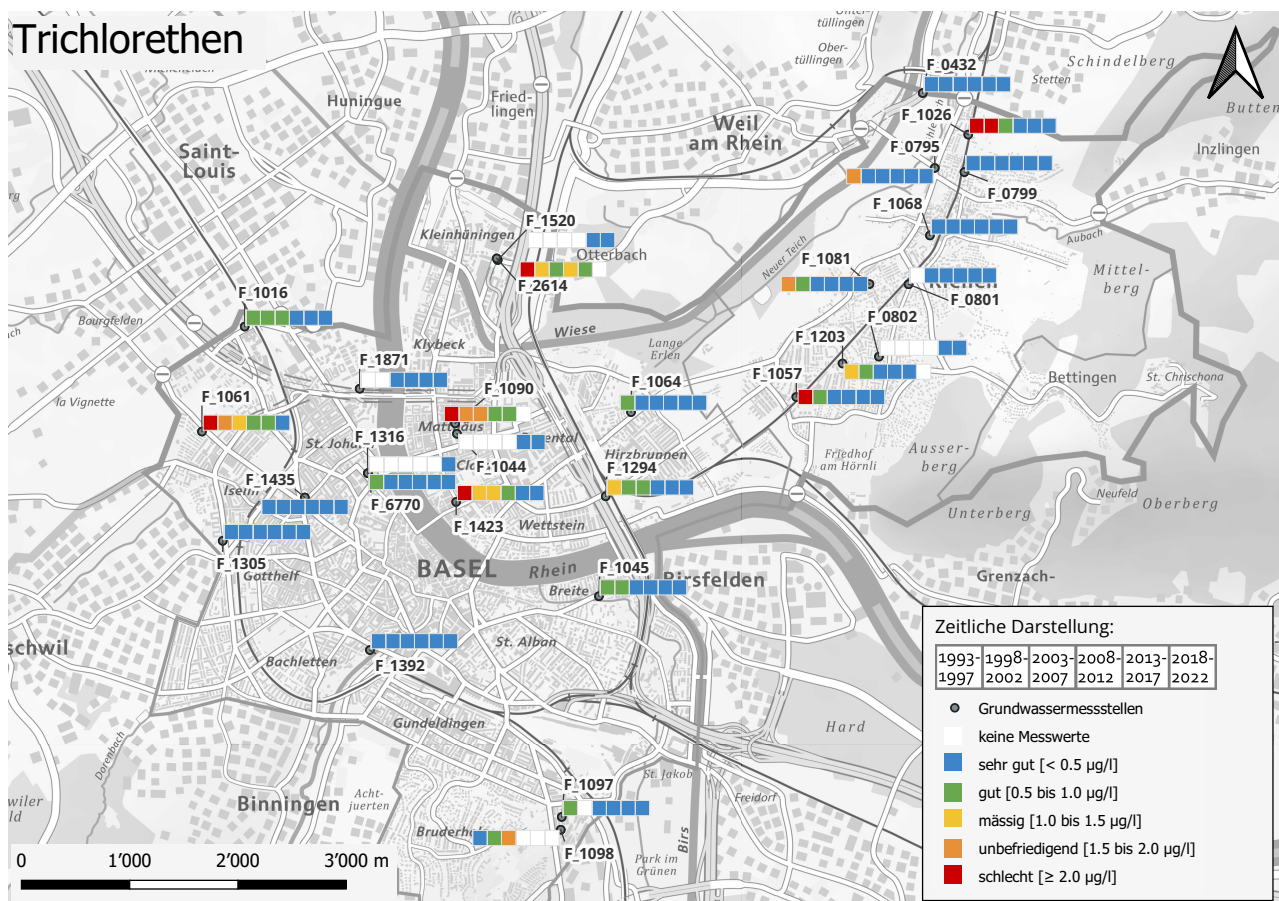


Abbildung 13: Trichlorethen Messzeitraum 1993-2022.

4.8 Aliphatische Kohlenwasserstoffe

Aliphatische Kohlenwasserstoffe sind chemische Verbindungen, die aus Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut und nicht aromatisch sind, das heisst weder zur Gruppe der monocyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (MAKW) noch zur Gruppe der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) gehören. In diese Kategorie fallen unzählige Verbindungen. Sie unterscheiden sich insbesondere in der Anzahl der Kohlenstoffatome im Molekül und werden mit der Anzahl an Kohlenstoffatomen umschrieben. Die beiden Hauptgruppen bilden die aliphatischen Kohlenwasserstoffe mit fünf bis zehn Kohlenstoffatomen (KWS C₅ bis C₁₀), sowie die aliphatischen Kohlenwasserstoffe mit zehn bis vierzig Kohlenstoffatomen (KWS C₁₀ bis C₄₀).

Die aliphatischen Kohlenwasserstoffe bilden den Hauptbestandteil von Benzin, Diesel, Heizöl, Petroleum, Kerosin usw. Sie sind leichter als Wasser, in selbigem nur in Spuren löslich und bilden daher eine aufschwimmende Phase im Grundwasser. Der Anforderungswert dieser Stoffgruppe liegt bei 1 µg/l je Einzelstoff. Aufgrund der sehr grossen Zahl an möglichen Einzelstoffen ist es analytisch sehr schwierig, die Konzentrationen der einzelnen aliphatischen Kohlenwasserstoffe zu bestimmen und so die Einhaltung des Grenzwertes zu überprüfen. In der Regel wird deshalb die Summe aller in einer Probe nachweisbaren aliphatischen Kohlenwasserstoffe gemessen, zum einen die Summe KWS (C₅ bis C₁₀) - diese stammen vornehmlich aus Benzin - und zum anderen die Summe KWS (C₁₀ bis C₄₀) - aus Heizöl oder Diesel. Für diese Summen gibt es in der GSchV keinen Grenzwert.

Auf eine graphische Darstellung der Belastungssituation bezüglich der aliphatischen Kohlenwasserstoffe wird verzichtet. Denn Belastungen mit KWS wurden ausschliesslich an Unfallstandorten oder solchen mit abgelagertem Material nachgewiesen. Aliphatische Kohlenwasserstoffe sind als Schadstoffe relativ immobil. Das heisst, sie werden kaum verlagert und werden mit der Zeit abgebaut. Ein solcher Abbau wird an den uns bekannten Standorten auch beobachtet. Aus diesem Grund werden nur belastete Standorte regelmässig untersucht, die restlichen Grundwasserbohrungen mindestens einmal in fünf Jahren.

Am belasteten Unfallstandort 1392 (Birsigstrasse) wurden beispielsweise im Jahr 1995 noch in der Summe 24'000 µg/l aliphatische Kohlenwasserstoffe der Kettenlänge C₁₀ bis C₄₀ nachgewiesen. Seit 2012 liegt dieser Parameter unter 50 µg/l.

Geeignete Massnahmen zur Verhinderung der Belastung mit aliphatischen Kohlenwasserstoffen wurden schon vor Jahren eingeführt. Insbesondere haben sich Überfüllsicherungen bei Tankanlagen und regelmässige Tankkontrollen bewährt. Beim Strassenverkehr wirken sich die strikten Motorfahrzeugkontrollen positiv aus. Es bleibt jedoch abzuwarten, wie sich die per 1. Januar 2007 in weniger gefährdeten Gebieten aufgehobene Kontroll- und Bewilligungspflicht für Kleintankanlagen in Zukunft auf die Unfallhäufigkeit mit Heizöl auswirken wird.

4.9 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe sind chemische Verbindungen, die aus Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut sind, wobei die Kohlenstoffketten zwei und mehr aneinanderhängende Ringe bilden. Das ist das wesentliche Unterscheidungsmerkmal von den monocyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, die aus nur einem Ring bestehen. Die Ringe der aromatischen Kohlenwasserstoffe weisen ein delokalisiertes Elektronensystem auf, d.h. sie sind aromatisch. Sie bestehen in der Regel aus sechs Kohlenstoffatomen (6-er Ringe). Das delokalisierte Elektronensystem unterscheidet die aromatischen Kohlenwasserstoffe im Wesentlichen von der Gruppe der aliphatischen Kohlenwasserstoffe und bedeutet auch, dass die Atome der Aromaten alle in einer Ebene liegen - in anderen Worten planar sind. Diese Planarität ist ein gewichtiger Grund für Ihre toxischen Eigenschaften.

Der Anforderungswert dieser Stoffgruppe liegt bei 0.1 µg/l je Einzelstoff. Die PAK sind natürlicher Bestandteil von Kohle und Erdöl. PAK entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von Kohle, Heizöl, Holz, Tabak und anderem organischem Material. Bei der Herstellung von Koks und Gas aus Kohle fällt als Nebenprodukt Teer mit sehr hohen Anteilen an PAK an. In der Anfangszeit der Industrialisierung wurde dieser Teer in der Nähe der Gaswerke in Wannen zwischengelagert. Leckagen führten zu massiven Grundwasserunreinigungen, die teilweise auch noch heute nachgewiesen werden.

Einige PAK haben selbst in tiefen Konzentrationen bei Dauerbelastung eine karzinogene Wirkung.

Auf eine graphische Darstellung der Belastungssituation bezüglich PAK wird verzichtet, da sie in der Gesamtkampagne im Jahr 2009 in keiner der in diesem Bericht aufgeführten Fassungen nachgewiesen wurden. In anderen Fassungen im Bereich von belasteten Standorten, die aber zum grossen Teil saniert sind, lagen die PAK-Konzentrationen jedoch über der Nachweisgrenze. Ein Vorteil ist auch, dass PAK im Grundwasser nicht mobil sind, d.h. sie bleiben als Belastung an Ort und Stelle und können das Grundwasser nicht weitläufig gefährden.

Ein laufendes Monitoring auf PAK erfolgt mit jährlichen Untersuchungen auf Naphthalin. Dieses in seiner Struktur einfachste PAK stellt sozusagen die Leitsubstanz für andere PAK dar. In der Messperiode 2008 bis 2022 wurde Naphthalin nur in den Fassungen der belasteten Standorte 2614 (Neuhausstrasse), 1064 (Luftschutzraum Waldshuterstrasse) und 1392 (Birsigstrasse) nachgewiesen. Alle Werte liegen jedoch unter der Anforderung von 0.1 µg/l. Ursache für den Befund bei der Fassung 2614 ist der massive Lastwagenverkehr, bei Fassung 1392 die Kontamination mit Heizöl und bei der Fassung 1064 ist die Ursache unklar.

Geeignete Massnahmen zur Verhinderung der Belastung mit PAK wurden laufend seit den 90-er Jahren getroffen. Produkte, die viel PAK enthalten, sind entweder verboten oder in ihrer Anwendung stark eingeschränkt.

4.10 AOX

Die AOX sind ein Summenparameter. Im Parameter AOX werden alle halogenhaltigen organischen an Aktivkohle adsorbierbaren Verbindungen erfasst. Hintergrund für diesen Parameter ist die hohe chronische Toxizität einiger Verbindungen dieser Stoffklasse. Es gibt jedoch auch natürlich vorkommende AOX-Verbindungen, die nicht chronisch toxisch sind. Weil die Einzelstoffanalytik grosse Fortschritte gemacht hat - giftige Verbindungen können heutzutage als Einzelsubstanzen bestimmt und müssen nicht mehr über einen Summenparameter erfasst werden - verliert der Parameter AOX in der Grundwasseranalytik an Bedeutung.

Der Anforderungswert für AOX liegt bei 0.01 mg/l.

Der Parameter AOX wurde bis zum Jahr 2002 jährlich untersucht. Die Konzentrationen im Grundwasser der in diesem Bericht dargestellten Fassungen lagen immer unter der gesetzlichen Anforderung. Einzig die Fassung 1016 (Schlachthof) wies im Jahr 1997 eine Überschreitung auf (0.013 mg/l). Die Konzentrationen an den anthropogen unbelasteten Standorten lagen im Bereich von 0.003 mg/l bis 0.005 mg/l. Leicht erhöhte AOX-Werte (0.008 mg/l bis 0.009 mg/l) wurden in der Nähe von mit PER belasteten Standorten gemessen, da PER Teil des Summenparameters AOX ist. Die belasteten Standorte waren vornehmlich chemische Reinigungen oder Metallveredlungsbetriebe. Die Belastungssituation mit AOX wird in diesem Bericht nicht graphisch dargestellt.

Geeignete Massnahmen zur Verhinderung der Belastung mit den toxischen Fraktionen der AOX sind in den 1980-er und 1990-er Jahren zum Beispiel mit dem Anwendungsverbot der Polychlorierten Biphenyle (PCB) und einiger Insektizide wie Lindan oder DDT getroffen worden.

Literatur

- BLW. (2023). Verfügbar 30. Oktober 2023 unter <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/verkaufsmengen-der-pflanzenschutzmittel-wirkstoffe.html>
- Geologischer Führer der Region Basel : mit 24 Exkursionen* (2., durchgesehene Auflage). (1988). Birkhäuser.
- Greber, E., Baumann, A., Cornaz, S., Herold, T., Kozel, R., Mural, R., & Zobrist, J. (2002). *Grundwasserqualität in der Schweiz. NAQUATREND - das nationale Beobachtungsprogramm*. (Techn. Ber.) (Sonderdruck Nr. 1472 aus gwa 3/2002). Schweizerischer Verein des Gas und Wasserfaches. Zürich.
- Hunkeler, D., Malard, A., Arnoux, M., Jeannin, P., & Brunner, P. (2021). *Effect of Climate Change on Groundwater Quantity and Quality in Switzerland* (Techn. Ber.) (Hydro-CH2018 Project). Bundesamt für Umwelt. Bern, Switzerland.
- Hydrologisches Jahrbuch*. (2022). Verfügbar 30. Oktober 2023 unter <https://www.aue.bs.ch/wasser/grundwasser/grundwasserpegel-grundwasserqualitaet.html>
- Kiefer, K., Müller, A., Singer, H., Hollender, J., & Reinhardt, M. (2019). Pflanzenschutzmittel-Metaboliten im Grundwasser. Ergebnisse aus der NAQUA-Pilotstudie «Screening». *Aqua & Gas*, 11, 14–23.
- Liechti, P. (2010). *Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe*. (Techn. Ber.) (Umwelt-Vollzug Nr. 1005). Bundesamt für Umwelt. Bern.
- Pestizidaustrag*. (2023). Foto. EAWAG. <https://www.eawag.ch/de/forschung/wasser-fuer-die-oekosysteme/schadstoffe/informationen-zu-pflanzenschutzmitteln-im-wasser/>
- Reinhardt, M., Jud, F., Kiefer, K., Hollender, J., Poiger, T., Knauer, K., Geiser, C., Moschet, C., & Götz, C. (2022). Priorisierung PSM-Metaboliten. Auswahl der Pflanzenschutzmittel-Metaboliten für das NAQUA-Monitoring im Grundwasser. *Aqua & Gas*, 12, 58–67.
- Reinhardt, M., Kozel, R., Hofacker, A., & Leu, C. (2017). Monitoring von PSM-Rückständen im Grundwasser. *Aqua & Gas*, 6, 78–89.
- Rheinschotter*. (2023). Foto. Wikipedia. https://de.wikipedia.org/wiki/Niederterrasse_des_Oberrheins
- SR 814.201, Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 [Stand 1. Februar 2023]. (1998).
- SR 916.161, Verordnung über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln vom 12. Mai 2010 [Stand am 1. Juli 2023]. (2010).
- Umweltbericht beider Basel*. (2022). Verfügbar 30. Oktober 2023 unter <https://www.umweltberichtbeiderbasel.bs.ch/indikatoren/indikatoren-uebersicht/16-wasser/nitrat-im-grundwasser.html>

Anhang

A 90-Perzentilwerte Ammonium

Tabelle 2: GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte Ammonium in mg N/l

Bewertung	Beschreibung	GSchV-Anforderungswert = 0.08 mg N/l
sehr gut	$S < 0.04$	Anforderungswert eingehalten
gut	$0.04 \leq S < 0.08$	
mäßig	$0.08 \leq S < 0.12$	Anforderungswert überschritten
unbefriedigend	$0.12 \leq S < 0.16$	
schlecht	$S \geq 0.16$	
Bestimmungsgrenze (BG): 0.01 mg N/l		

	1993-1997	1998-2002	2003-2007	2008-2012	2013-2017	2018-2022
F_0432	0.030	0.015	0.012	< BG	< BG	< BG
F_0795	0.020	0.013	< BG	0.013	< BG	< BG
F_0799	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_0801		0.020	< BG	< BG	< BG	< BG
F_0802					< BG	< BG
F_1016	0.016	0.074	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1026	0.020	0.020	0.014	< BG	< BG	< BG
F_1044					< BG	< BG
F_1045	0.664	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1057	0.023	0.025	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1061	0.020	0.020	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1064	0.020	0.030	0.011	0.013	< BG	< BG
F_1068	0.023	0.019	0.016	< BG	< BG	0.014
F_1081	0.030	0.025	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1090	0.020	0.025	< BG	0.013	< BG	
F_1097	0.080			< BG	< BG	< BG
F_1098	0.040	0.100	0.020			
F_1203	0.020	0.032	0.012	0.011	< BG	
F_1294	0.026	0.015	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1305	0.030	0.050	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1316	0.174	0.030	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1392	1.080	0.948	0.634	0.718	0.510	0.232
F_1423	0.020	0.028	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1435	0.017	0.012	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1520					0.021	< BG
F_1871			0.250	< BG	< BG	< BG
F_2614	< BG	0.020	< BG	0.024	0.219	
F_6770						0.038

B 90-Perzentilwerte Nitrat

Tabelle 3: GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte Nitrat in mg N/l

Bewertung	Beschreibung	GSchV-Anforderungswert = 5.6 mg N/l
sehr gut	$S < 2.8$	Anforderungswert eingehalten
gut	$2.8 \leq S < 5.6$	
mäßig	$5.6 \leq S < 8.4$	Anforderungswert überschritten
unbefriedigend	$8.4 \leq S < 11.2$	
schlecht	$S \geq 11.2$	
Bestimmungsgrenze (BG): 0.06 mg N/l		

	1993-1997	1998-2002	2003-2007	2008-2012	2013-2017	2018-2022
F_0432	3.79	4.73	3.95	3.61	3.25	2.79
F_0795	8.10	7.92	6.04	5.55	5.43	4.58
F_0799	9.49	10.90	7.16	5.46	6.00	4.14
F_0801		8.19	6.76	6.11	5.63	4.88
F_0802					5.36	4.47
F_1016	12.10	12.50	9.14	8.16	7.37	6.28
F_1026	9.28	9.25	7.35	6.69	6.68	5.50
F_1044					4.44	3.43
F_1045	7.72	8.03	6.74	6.58	6.21	5.07
F_1057	8.05	8.71	6.42	5.82	5.12	4.76
F_1061	10.52	10.08	8.07	8.80	7.41	6.22
F_1064	4.05	3.29	3.30	2.63	2.56	2.49
F_1068	7.78	8.63	7.39	5.84	5.34	4.26
F_1081	8.73	9.29	6.29	5.63	5.39	4.68
F_1090	4.39	4.49	4.21	4.23	8.55	
F_1097	0.10		4.43	2.77	3.44	3.36
F_1098	< BG	0.38	0.90			
F_1203	8.39	9.00	6.30	5.22	5.24	
F_1294	4.52	4.32	3.62	3.83	3.42	2.79
F_1305	14.90	14.10	10.18	10.12	7.11	7.22
F_1316	12.84	8.20	10.04	10.66	7.98	6.34
F_1392	0.13	0.23	< BG	< BG	< BG	0.26
F_1423	6.02	7.33	5.21	4.42	4.30	4.25
F_1435	12.32	13.12	10.13	8.89	6.52	6.17
F_1520					2.24	2.05
F_1871			4.57	1.76	5.73	6.05
F_2614	3.98	2.46	2.25	2.50	1.66	
F_6770						6.47

C 90-Perzentilwerte Sulfat

Tabelle 4: GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte Sulfat in mg/l

Bewertung	Beschreibung	GSchV-Anforderungswert = 40 mg/l
sehr gut	$S < 20$	Anforderungswert eingehalten
gut	$20 \leq S < 40$	
mäßig	$40 \leq S < 60$	Anforderungswert überschritten
unbefriedigend	$60 \leq S < 80$	
schlecht	$S \geq 80$	
Bestimmungsgrenze (BG): 2.5 mg/l		

	1993-1997	1998-2002	2003-2007	2008-2012	2013-2017	2018-2022
F_0432	34.3	46.5	45.8	43.1	42.5	39.4
F_0795	125.0	128.0	108.6	106.3	99.0	102.3
F_0799	70.4	54.7	52.0	52.0	47.8	63.7
F_0801		66.4	60.5	60.6	57.5	57.6
F_0802					58.3	59.8
F_1016	210.2	183.5	147.2	125.6	118.0	96.9
F_1026	127.0	130.5	108.8	108.0	95.1	112.0
F_1044					56.2	37.8
F_1045	75.0	70.9	64.2	63.2	64.9	58.4
F_1057	79.4	84.8	59.4	60.5	57.8	67.6
F_1061	101.8	97.8	86.7	92.2	74.0	64.8
F_1064	34.7	36.2	30.3	29.5	28.9	27.4
F_1068	77.6	81.8	76.9	72.9	70.2	68.1
F_1081	79.1	84.6	62.0	62.9	57.8	77.0
F_1090	37.3	43.4	32.7	47.0	44.4	
F_1097	42.6			66.1	64.0	69.7
F_1098	44.5	49.6	46.9			
F_1203	70.9	78.8	58.4	56.4	56.5	
F_1294	36.2	37.8	33.8	31.8	33.2	29.6
F_1305	121.0	93.8	77.8	72.4	73.2	61.3
F_1316	92.0	71.6	63.5	73.2	63.5	58.0
F_1392	44.0	34.4	22.1	23.5	43.1	31.1
F_1423	56.2	60.3	47.3	42.7	43.3	41.5
F_1435	89.9	91.2	76.5	67.9	59.1	54.9
F_1520					30.5	26.7
F_1871			146.3	70.2	85.7	76.3
F_2614	68.9	33.6	36.0	35.5	24.2	
F_6770						53.5

D 90-Perzentilwerte Chlorid

Tabelle 5: GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte Chlorid in mg/l

Bewertung	Beschreibung	GSchV-Anforderungswert = 40 mg/l
sehr gut	$S < 20$	Anforderungswert eingehalten
gut	$20 \leq S < 40$	
mäßig	$40 \leq S < 60$	Anforderungswert überschritten
unbefriedigend	$60 \leq S < 80$	
schlecht	$S \geq 80$	
Bestimmungsgrenze (BG): 1.5 mg/l		

	1993-1997	1998-2002	2003-2007	2008-2012	2013-2017	2018-2022
F_0432	14.6	19.2	26.9	28.5	33.0	25.3
F_0795	55.5	63.3	64.8	72.4	82.4	70.5
F_0799	27.5	23.5	52.7	31.2	35.1	40.4
F_0801		28.2	30.3	32.5	31.2	33.1
F_0802					34.1	31.2
F_1016	48.0	71.9	61.8	50.7	60.2	49.5
F_1026	57.9	60.5	62.7	72.3	76.1	76.1
F_1044					28.2	25.0
F_1045	32.2	35.0	39.4	50.8	64.0	42.2
F_1057	31.8	32.8	24.9	31.5	31.7	41.0
F_1061	30.2	29.8	26.7	40.1	52.9	40.4
F_1064	13.8	16.1	14.6	15.3	16.2	13.5
F_1068	27.1	29.7	28.7	28.1	30.5	28.9
F_1081	38.6	36.5	28.4	37.4	36.0	49.0
F_1090	38.9	41.6	33.7	35.5	37.8	
F_1097	42.8			70.3	96.8	55.8
F_1098	41.6	51.3	31.0			
F_1203	31.7	29.6	23.8	28.4	33.9	
F_1294	16.4	17.8	18.2	21.8	23.2	16.0
F_1305	68.7	113.1	44.9	47.5	49.5	38.0
F_1316	84.5	64.2	71.2	82.2	86.6	50.9
F_1392	78.7	81.7	161.2	534.4	170.4	205.2
F_1423	25.5	32.9	34.6	43.1	47.3	32.2
F_1435	46.5	47.2	48.3	63.0	65.5	49.5
F_1520					19.6	16.3
F_1871			45.2	129.9	143.0	65.8
F_2614	29.1	15.7	33.9	38.0	29.5	
F_6770						41.9

E 90-Perzentilwerte DOC

Tabelle 6: GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte DOC in mg/l

Bewertung	Beschreibung	GSchV-Anforderungswert = 2 mg/l
sehr gut	$S < 1$	Anforderungswert eingehalten
gut	$1 \leq S < 2$	
mäßig	$2 \leq S < 3$	Anforderungswert überschritten
unbefriedigend	$3 \leq S < 4$	
schlecht	$S \geq 4$	
Bestimmungsgrenze (BG): 0.2 mg C/l		

	1993-1997	1998-2002	2003-2007	2008-2012	2013-2017	2018-2022
F_0432	0.75	0.60	0.70	0.47	0.75	0.69
F_0795	0.70	0.65	0.52	0.40	0.55	0.56
F_0799	1.20	1.10	1.13	0.73	0.91	0.69
F_0801		0.45	0.60	0.45	0.63	0.62
F_0802					0.55	0.61
F_1016	1.00	0.90	0.94	0.78	0.95	0.98
F_1026	0.80	0.70	0.58	0.40	0.53	0.56
F_1044					0.53	0.59
F_1045	0.94	0.70	0.68	0.52	0.65	0.85
F_1057	0.83	0.65	0.64	0.45	0.66	0.67
F_1061	0.90	1.22	0.80	0.72	0.80	0.69
F_1064	0.79	0.65	0.52	0.36	0.53	0.52
F_1068	0.60	0.40	0.47	0.32	0.46	0.48
F_1081	0.73	0.65	0.57	0.47	0.57	0.64
F_1090	0.98	0.50	0.46	0.42	0.53	
F_1097	1.60			0.63	0.73	0.99
F_1098	1.00	1.14	0.67			
F_1203	0.80	0.70	0.60	0.52	0.53	
F_1294	0.56	0.68	0.48	0.42	0.43	0.52
F_1305	1.60	1.20	0.93	0.88	1.15	0.85
F_1316	0.92	0.94	0.64	0.58	0.73	0.74
F_1392	5.60	5.24	4.60	4.70	3.00	2.64
F_1423	1.78	1.36	0.57	0.46	0.58	0.64
F_1435	0.84	0.60	0.63	0.46	0.52	0.59
F_1520					0.77	0.79
F_1871			5.26	2.62	2.18	1.78
F_2614	1.68	3.12	1.72	2.56	2.43	
F_6770						0.71

F 90-Perzentilwerte 2,6-Dichlorbenzamid

Tabelle 7: GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte 2,6-Dichlorbenzamid in µg/l

Bewertung	Beschreibung	GSchV-Anforderungswert = 0.1 µg/l
sehr gut	$S < 0.05$	Anforderungswert eingehalten
gut	$0.05 \leq S < 0.1$	
mäßig	$0.1 \leq S < 0.15$	Anforderungswert überschritten
unbefriedigend	$0.15 \leq S < 0.2$	
schlecht	$S \geq 0.2$	
Bestimmungsgrenze (BG): 0.01 µg/l		

	1998-2002	2003-2007	2008-2012	2013-2017	2018-2022
F_0432	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_0795	< BG	0.017	< BG	< BG	< BG
F_0799		0.091	0.051	0.048	0.019
F_0801	0.033	0.058	0.039	0.027	< BG
F_0802		< BG		0.027	0.019
F_1016			< BG	0.028	0.020
F_1026	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1044				< BG	< BG
F_1045	0.021	0.060	0.050	0.036	< BG
F_1057	0.015	0.054	0.036	0.023	0.013
F_1061	< BG	0.015	0.031	0.029	0.016
F_1064	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1068	0.260	0.345	0.281	0.153	0.097
F_1081	0.048	0.050	0.035	0.026	< BG
F_1090	< BG	< BG	< BG	< BG	
F_1097		< BG	< BG	< BG	< BG
F_1098		< BG			
F_1203	0.038	0.097	0.054	0.040	
F_1294	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1305			0.033	0.034	0.026
F_1316	0.019	0.014	0.047	0.022	< BG
F_1392			< BG	< BG	0.012
F_1423			< BG	< BG	< BG
F_1435			0.015	0.019	0.010
F_1520				< BG	< BG
F_1871			< BG	0.012	< BG
F_2614	< BG	< BG	< BG	< BG	
F_6770					< BG

G 90-Perzentilwerte Benzol

Tabelle 8: GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte Benzol in µg/l

Bewertung	Beschreibung	GSchV-Anforderungswert = 1 µg/l
sehr gut	$S < 0.5$	Anforderungswert eingehalten
gut	$0.5 \leq S < 1$	
mäßig	$1 \leq S < 1.5$	Anforderungswert überschritten
unbefriedigend	$1.5 \leq S < 2$	
schlecht	$S \geq 2$	
Bestimmungsgrenze (BG): 0.25 µg/l		

	1993-1997	1998-2002	2003-2007	2008-2012	2013-2017	2018-2022
F_0432	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_0795	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_0799	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_0801		< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_0802					< BG	< BG
F_1016	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1026	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1044					< BG	< BG
F_1045	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1057	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1061	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1064	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1068	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1081	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1090	< BG	0.66	< BG	< BG	< BG	
F_1097	29.60		< BG	< BG	< BG	< BG
F_1098	0.62	13.00	3.56			
F_1203	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	
F_1294	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1305	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1316	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1392	608.00	464.00	152.40	185.20	0.84	0.59
F_1423	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1435	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
F_1520					< BG	< BG
F_1871			< BG	< BG	< BG	< BG
F_2614	< BG	< BG	< BG	< BG	0.39	
F_6770						< BG

H 90-Perzentilwerte Tetrachlorethen (PER)

Tabelle 9: GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte Tetrachlorethen in µg/l

Bewertung	Beschreibung	GSchV-Anforderungswert = 1 µg/l
sehr gut	$S < 0.5$	Anforderungswert eingehalten
gut	$0.5 \leq S < 1$	
mäßig	$1 \leq S < 1.5$	Anforderungswert überschritten
unbefriedigend	$1.5 \leq S < 2$	
schlecht	$S \geq 2$	
Bestimmungsgrenze (BG): 0.001 µg/l		

	1993-1997	1998-2002	2003-2007	2008-2012	2013-2017	2018-2022
F_0432	1.100	1.008	0.742	0.613	0.498	0.565
F_0795	1.500	1.250	0.962	0.870	0.812	0.948
F_0799	0.040	0.030	0.084	0.077	0.117	0.130
F_0801		0.095	0.083	0.087	0.105	0.096
F_0802					0.165	0.224
F_1016	0.045	0.075	0.050	0.036	0.021	0.063
F_1026	0.946	0.695	0.636	0.473	0.342	0.421
F_1044					2.260	2.520
F_1045	0.652	0.644	0.615	0.479	0.486	0.386
F_1057	1.400	1.400	0.965	0.934	0.793	0.884
F_1061	4.960	1.960	3.140	3.450	2.600	2.310
F_1064	1.230	1.005	1.130	0.960	0.678	0.553
F_1068	6.660	5.450	8.190	6.500	8.150	7.900
F_1081	1.230	1.200	0.912	0.778	0.724	0.630
F_1090	1.800	1.200	1.850	1.600	1.400	
F_1097	0.184		0.290	0.398	0.333	0.304
F_1098	0.070	0.370	3.140			
F_1203	0.306	0.400	0.400	0.339	0.392	
F_1294	5.910	1.162	2.030	1.490	0.909	0.812
F_1305	0.813	0.882	2.918	0.840	0.880	0.750
F_1316	0.884	0.474	0.497	0.437	1.360	0.352
F_1392	0.189	0.060	0.076	0.055	0.128	0.089
F_1423	2.640	1.560	1.960	1.740	1.320	1.012
F_1435	0.358	0.300	0.264	0.265	0.230	0.170
F_1520					3.580	3.240
F_1871			0.374	0.370	1.040	0.882
F_2614	202.000	88.600	89.500	26.400	23.000	
F_6770						0.790

I 90-Perzentilwerte Trichlorethen (TRI)

Tabelle 10: GSchV-Anforderungswert und 90-Perzentilwerte Trichlorethen in µg/l

Bewertung	Beschreibung	GSchV-Anforderungswert = 1 µg/l
sehr gut	$S < 0.5$	Anforderungswert eingehalten
gut	$0.5 \leq S < 1$	
mäßig	$1 \leq S < 1.5$	Anforderungswert überschritten
unbefriedigend	$1.5 \leq S < 2$	
schlecht	$S \geq 2$	
Bestimmungsgrenze (BG): 0.001 µg/l		

	1993-1997	1998-2002	2003-2007	2008-2012	2013-2017	2018-2022
F_0432	0.300	0.050	0.030	0.018	0.006	0.005
F_0795	1.700	0.455	0.272	0.162	0.110	0.043
F_0799	0.010	< BG	0.008	0.005	0.001	< BG
F_0801		0.020	< BG	0.007	0.004	< BG
F_0802					0.053	0.043
F_1016	0.710	0.850	0.596	0.480	0.345	0.228
F_1026	4.930	2.100	0.568	0.363	0.253	0.111
F_1044					0.310	0.255
F_1045	0.647	0.546	0.359	0.340	0.221	0.133
F_1057	2.450	0.605	0.350	0.291	0.241	0.217
F_1061	4.600	1.600	1.074	0.755	0.508	0.274
F_1064	0.586	0.415	0.312	0.299	0.180	0.097
F_1068	0.129	0.250	0.031	0.040	0.052	0.122
F_1081	1.530	0.525	0.370	0.320	0.260	0.191
F_1090	3.600	1.900	1.700	0.974	0.560	
F_1097	0.900		0.060	0.099	0.058	0.039
F_1098	0.360	0.646	1.520			
F_1203	1.230	0.520	0.325	0.290	0.260	
F_1294	1.410	0.890	0.709	0.468	0.339	0.240
F_1305	0.281	0.252	0.194	0.188	0.125	0.066
F_1316	0.544	0.338	0.297	0.337	0.238	0.146
F_1392	0.067	0.094	0.046	0.041	0.021	0.014
F_1423	2.470	1.260	1.060	0.660	0.492	0.310
F_1435	0.364	0.284	0.250	0.220	0.170	0.099
F_1520					0.436	0.388
F_1871			0.424	0.044	0.212	0.162
F_2614	4.400	1.052	0.796	1.170	0.530	
F_6770						0.100

Departement für Wirtschaft, Soziales und Umwelt des Kantons Basel-Stadt
Amt für Umwelt und Energie
Abteilung Umweltlabor
Spiegelgasse 15
Postfach, CH-4001 Basel
Telefon +41 61 267 08 00
www.aue.bs.ch