



AfU Kanton Aargau
AfU Kanton Solothurn
AWA Kanton Bern

Aare Monitoring Chemie 2012-2022

Bericht

Objekt Nr. 1449.20
Bern, 28. November 2024

HUNZIKER **BETATECH**

EINFACH.
MEHR.
IDEEN.

Impressum:**Herausgeber:**

Departement Bau, Verkehr und Umwelt
Abteilung für Umwelt
Entfelderstrasse 22
5001 Aarau

Telefon 062 835 33 60
www.ag.ch/umwelt

Bau- und Justizdepartement
Amt für Umwelt
Werkhofstrasse 5
4509 Solothurn

Telefon 032 627 24 47
so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/

Bau- und Verkehrsdirektion des Kantons Bern
Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern
Reiterstrasse 11
3013 Bern

Telefon 031 633 38 11
www.bvd.be.ch/de/start/ueber-uns/amt-fuer-wasser-und-abfall.html

Projekt Controlling

Holinger AG
Kasthoferstrasse 23
3006 Bern

**Auswertung und
Bearbeitung:**

Hunziker Betatech AG
Jubiläumsstrasse 93
3005 Bern

Tel. 031 300 32 00
E-Mail: bern@hunziker-betatech.ch

Manuel Walser
Daniel Rebsamen
Severin Lehner
Heiko Wehse

Erstelldatum:

28. November 2024

Datei:

1449.20-b002e Aarebericht_2012-2022



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung & Synthese	3
1 Einzugsgebiet der Aare und Messstellen	6
1.1 Charakterisierung Einzugsgebiet	6
1.2 Einwohnerdichten und Abwasserreinigungsanlagen (ARA)	8
1.3 Landwirtschaftliche Nutzung	12
1.4 Messstellen	13
2 Methodik	15
2.1 Datenauswertung	15
2.2 Nährstoffe	17
2.3 Physikalische Parameter	17
2.4 Schwermetalle	18
2.5 Biologie	18
2.6 Mikroverunreinigungen	18
3 Gewässerbeurteilung Aare und Zuflüsse	19
3.1 Nährstoffe	19
3.2 Physikalische Parameter	48
3.3 Schwermetalle	58
3.4 Biologie	61
3.5 Mikroverunreinigungen	75
4 Fazit und Aussicht	82
5 Literaturverzeichnis	84
Anhang	87

Zusammenfassung & Synthese

Aare zeigt mehrheitlich eine gute chemische Wasserqualität

Die Aare hat heute von der Quelle bis zu ihrer Mündung in den Rhein mehrheitlich eine gute Wasserqualität. Nachdem erhöhte Nährstoffkonzentrationen in den 1960er Jahren zu einem schlechten Zustand führten, wurden in den letzten 10 Jahren die gesetzlichen Grenzwerte praktisch durchgehend eingehalten. Auch Mikroverunreinigungen führen in der Aare in der Regel nicht zu Überschreitungen von gesetzlichen Grenzwerten oder ökotoxikologischen Qualitätskriterien. Einzig das Schmerzmittel Diclofenac zeigt an der untersten Messstelle vereinzelte Überschreitungen. Nichtsdestotrotz wird in der Aare eine Vielzahl an verschiedenen Chemikalien aus den Haushalten, Landwirtschaft und Industrie nachgewiesen und dies zum Teil mit hohen Frachten. In den grössten Mengen treten Lebensmittelzusatzstoffe (z.B. Sucralose, Süssungsmittel) oder Korrosionsschutzmittel auf. Auch wenn diese die Wasserlebewesen weniger beeinträchtigen als Arzneimittel oder Pestizide, sollten auch diese Stoffe nicht in die Gewässer gelangen.

Zunehmende Belastung in Fließrichtung

Trotz der mehrheitlich erfreulichen Befunde ist eine zunehmende Belastung in Fließrichtung sichtbar. Die Seen wirken zum Teil als Puffer für Belastungsspitzen und Senken für Nährstoffe. Deswegen sind diese Konzentrationen beim Ausfluss aus den grösseren Seen tiefer als im Zufluss. Verursacher sowohl für die zunehmenden Nährstoff- als auch Mikroverunreinigungskonzentrationen sind dabei die zunehmende Siedlungsdichte und die landwirtschaftlich intensive Nutzung.

Steigende Wassertemperaturen und rascher Verlust von Biodiversität machen der Aare zu schaffen

Besorgniserregend sind in der Aare die zunehmenden Wassertemperaturen. Die Aare hat sich im Unterlauf bei Brugg in den letzten 60 Jahren im Jahresmittel stetig erwärmt, um bis zu ca. 2°C. Besonders lange Hitzeperioden im Sommer können für kältebedürftige Arten kritisch werden. Unterschlupf können diese Arten in den kälteren Seitengewässern oder bei Grundwasseraufstößen finden. Künstliche Barrieren dürfen den Weg in solche kältere Seitengewässer jedoch nicht versperren.

Der Artenrückgang, die schnelle Ausbreitung von standortfremden Arten (Neobiota) und die deutliche Abnahme der Individuendichten und Taxazahl beim Makrozoobenthos wurden in vertieften Untersuchungen zum biologischen Zustand der Aare im Jahr 2022 aufgezeigt. Diese negativen Entwicklungen sind auf eine Kombination mehrerer Ursachen, wie die Klimaerwärmung und die und mangelnde Qualität der Lebensräume, zurückzuführen. Es sind künftig grosse Anstrengungen notwendig, um diese negativen Trends abzumildern und die Biodiversität in der Aare zu erhalten.

Seitengewässer und kleine Bäche zum Teil in schlechtem Zustand

Zu stärkeren anthropogenen Belastungen kommt es in einigen grösseren Zuflüssen der Aare sowie in verschiedenen kleinen Bächen und mittelgrossen Fließgewässern. Durch die starke Verdünnung sind die Einträge für die Aare selbst aber meist nicht kritisch; die Wasserqualität der Aare profitiert diesbezüglich von ihrem grossen alpinen Einzugsgebiet, wo geringe Belastungen der Wasserqualität auftreten und ein hoher Abfluss generiert wird.

Dem Flussverlauf folgend, haben die grösseren Zuflüsse im **Berner Aaretal von Thun bis zur Mündung in den Bielersee** meist eine gute Wasserqualität bezüglich der Nährstoffe. Eine Ausnahme bildet die Chise. Dort führen Belastungen aus den ARA zu einer wesentlichen Verschlechterung der Wasserqualität. Die Saane, welche im Schifflensee gestaut wird und im Einzugsgebiet eine verhältnismässig geringe Bevölkerungsdichte aufweist, ist für die meisten Parameter unbelastet. Allerdings überschreitet die Nitritkonzentration regelmässig den gesetzlichen Grenzwert. Die Grube weist für Kupfer und Zink eine Überschreitung der Grenzwerte auf, während sie mit Ausnahme der organischen Belastung (DOC) eine mehrheitlich gute Bewertung aufweist. Die Auswertung der chemischen Parameter stimmt grundsätzlich mit den biologischen Auswertungen überein. Bei der Chise und Gürbe werden die gesetzlichen Vorgaben für IBCH und SPEAR-Index nicht eingehalten, während die Saane sämtliche Vorgaben für die biologischen Parameter erfüllt. Mikroverunreinigungen wurden in diesen Zuflüssen bis jetzt nicht systematisch untersucht.

Die **Zuflüsse Schüss und Dünern aus dem Jura** weisen eine eher geringe Belastung aus der Landwirtschaft auf. Bei der Schüss sind Defizite aus den Kläranlagen im Oberlauf bekannt. Diese zeigen sich besonders in den biologischen Untersuchungen des Makrozoobenthos (IBCH), wo die gesetzlichen Vorgaben nicht erfüllt werden, obwohl die chemischen Parameter die Vorgaben einhalten. Die Dünern ist durch die Einleitung von gereinigtem Abwasser, Entlastungen aus der Siedlungsentwässerung und durch Industrieabwasser im unteren Flusslauf stark mit Nährstoffen belastet. Zudem verursachen Arzneimittel und weitere Haushalts- und Industriechemikalien eine starke Belastung mit organischen Mikroverunreinigungen. Die Belastung durch Pestizide ist hingegen gering und für Wasserlebewesen nicht problematisch. Kupfer und Zink führen in der Dünern ebenfalls zu Übertretungen der gesetzlichen Vorgaben, bei der Schüss werden diese eingehalten. Sowohl die Schüss als auch die Dünern weisen grosse morphologische Defizite auf; in Kombination mit der mässigen Wasserqualität führt dies zu einem schlechten biologischen Zustand beider Gewässer.

Aus der **Region Oberaargau und Emmental** (inkl. Pfaffern und Wigger) sind besonders die Einflüsse aus dem Siedlungsgebiet in Folge von Niederschlägen, wie z.B. Nitrit in der Langete, sichtbar. Abgesehen davon sind die Einträge von Stickstoff in den Seitengewässern dieser Region klein und erfüllen die gesetzlichen Vorgaben. Zu Überschreitungen der Grenzwerte kommt es jedoch beim Gesamtposphor und Phosphat sowie dem DOC und BSB₅. Die Überschreitungen der zulässigen Phosphorkonzentrationen können teilweise auch mit Niederschlägen vor der Probenahme und den dadurch anspringenden Regenentlastungen der Siedlungsentwässerung sowie der Bodenerosionen und Abschwemmung von landwirtschaftlichen Nutzflächen erklärt werden. Die gesetzlichen Vorgaben für Schwermetalle werden in dieser Region mit Ausnahme von Kupfer bei der Wigger eingehalten. Meist werden auch bei den biologischen Untersuchungen die gesetzlichen Vorgaben eingehalten. Die untersuchten Gewässer Ballmoosbach und Chrümlisbach weisen eine hohe Pestizidbelastung auf, ebenso die Urtenen, welche zusätzlich eine hohe Arzneimittelbelastung aufweist. Es ist davon auszugehen, dass es in anderen Seitengewässern mit ähnlich intensiver Landwirtschaft oder ähnlich hohem Abwasseranteil ebenfalls zu hohen Belastungen durch Mikroverunreinigungen kommt.

Unterhalb von Olten sind die mittelgrossen Seitengewässer deutlich beeinträchtigt. Eine Ausnahme bildet dabei der Aabach, welcher weniger stark belastet ist als seine Nachbargewässer. Die Belastung bei der einbezogenen Messstelle ist geringer, da er auf der kurzen Fliesstrecke unterhalb des Hallwilersees nur wenig durch Nährstoffe beeinträchtigt wird. Mikroverunreinigungen wurden am Aabach jedoch nicht untersucht. Die grossen Zuflüsse Reuss und Limmat weisen ähnlich wie die Aare eine gute Wasserqualität auf. Die Beeinträchtigungen der übrigen Fließgewässer stammen von verschiedenen Einflüssen aus dem Siedlungsgebiet, der Abwasserreinigung, des Strassenabwassers und aus der Landwirtschaft. Belastungen sind sowohl bei den Stickstoffparametern (vor allem Nitrat, vereinzelt aber auch Ammonium und Nitrit) und besonders bei den Phosphorkonzentrationen vorhanden. Ebenso werden bei den meisten der belasteten Gewässer Überschreitungen der zulässigen Kupferkonzentrationen festgestellt. Die Zinkkonzentrationen erfüllen hingegen die gesetzlichen Vorgaben. Bei der Bünz wird eine starke Belastung durch Mikroverunreinigungen aus Arzneimitteln, Industrie- wie Haushaltschemikalien, sowie Pestizide gemessen. Diese Belastung mit Mikroverunreinigungen ist nicht überraschend, da es sich um ein dicht besiedeltes Einzugsgebiet mit intensiver Landwirtschaft handelt. Wenige Stoffe sind für das teilweise hohe Risiko für Wasserlebewesen verantwortlich. Es wird angenommen, dass die übrigen mittelgrossen Fließgewässer eine ähnliche Belastung durch Mikroverunreinigungen aufweisen. Durch den Ausbau verschiedener ARA mit einer Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen oder Zusammenschlüssen von ARA können künftig Verbesserungen der Wasserqualität erwartet werden. Die starke Belastung der mittelgrossen Fließgewässer unterhalb Olten zeigt sich auch in den biologischen Untersuchungen des Makrozoobenthos; viele der Seitengewässer erreichen keine genügende biologische Wasserqualität.

Herausforderungen meistern

In den nächsten Jahren gilt es, die gute chemische Wasserqualität der Aare zu erhalten. Mit dem Ausbau vieler ARA mit einer Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen werden sich die Stofffrachten vor allem von Arzneimitteln spürbar reduzieren. Grosse Herausforderungen kommen mit den zunehmenden Wassertemperaturen in der Folge der Klimaerwärmung auf uns zu. Die bereits deutlich angestiegenen Wassertemperaturen verändern die Lebensgemeinschaften auch in der Aare und beschleunigen den Artenverlust und die Ausbreitung von standortfremden Organismen (Neobiota). Hier gilt es, Strategien zur Eindämmung zu entwickeln und wirkungsvolle Massnahmen zu implementieren. Dazu ist der Einbezug und die enge Zusammenarbeit verschiedener Akteure erforderlich.

Um die negativen Folgen der erhöhten Wassertemperaturen abzumildern, sind die Möglichkeiten zur Erhöhung der Resilienz der aquatischen Lebensgemeinschaften zu nutzen. Mit vielfältigen morphologischen Strukturen, guter Beschattung, einem möglichst naturnahen Abflussregime, intakter Eigendynamik und einer verbesserten Vernetzung in allen drei Dimensionen (Längsvernetzung, Quervernetzung und Tiefenvernetzung zwischen Sohle und Grundwasser) lassen sich die negativen Auswirkungen der Temperaturerwärmung zwar nicht vermeiden aber immerhin abmildern.

Die Aare kann nicht getrennt von ihren Zuflüssen und ihrem Gesamteinzugsgebiet betrachtet und bewirtschaftet werden. Eine integrale, sektorenübergreifende Sicht und Planung sind erforderlich. Damit können umfassende Lösungen gefunden werden, welche gesamtökologische Aufwertungen ermöglichen und nicht nur punktuelle Probleme lösen. Dabei sind auch die kleinen und mittelgrossen Bäche aus dicht besiedelten und intensiv bewirtschafteten Einzugsgebieten in die Betrachtung einzubeziehen. Es gilt Schadstoffeinträge zu reduzieren, morphologischen Defizite zu beheben und die Gewässerräume aufzuwerten. Nur mit einem gesamtheitlichen Ansatz und in Zusammenarbeit aller Beteiligten Sektoren - und gar Kantonsgrenzen - überschreitend - lassen sich nachhaltige Entwicklungen anstossen und unsere wertvollen Gewässer langfristig als Biodiversitäts-Hotspots und Landschaftsperlen erhalten.

Gewässerschema der Aare und ihrer Zuflüsse unterhalb Thun bis zur Mündung in den Rhein

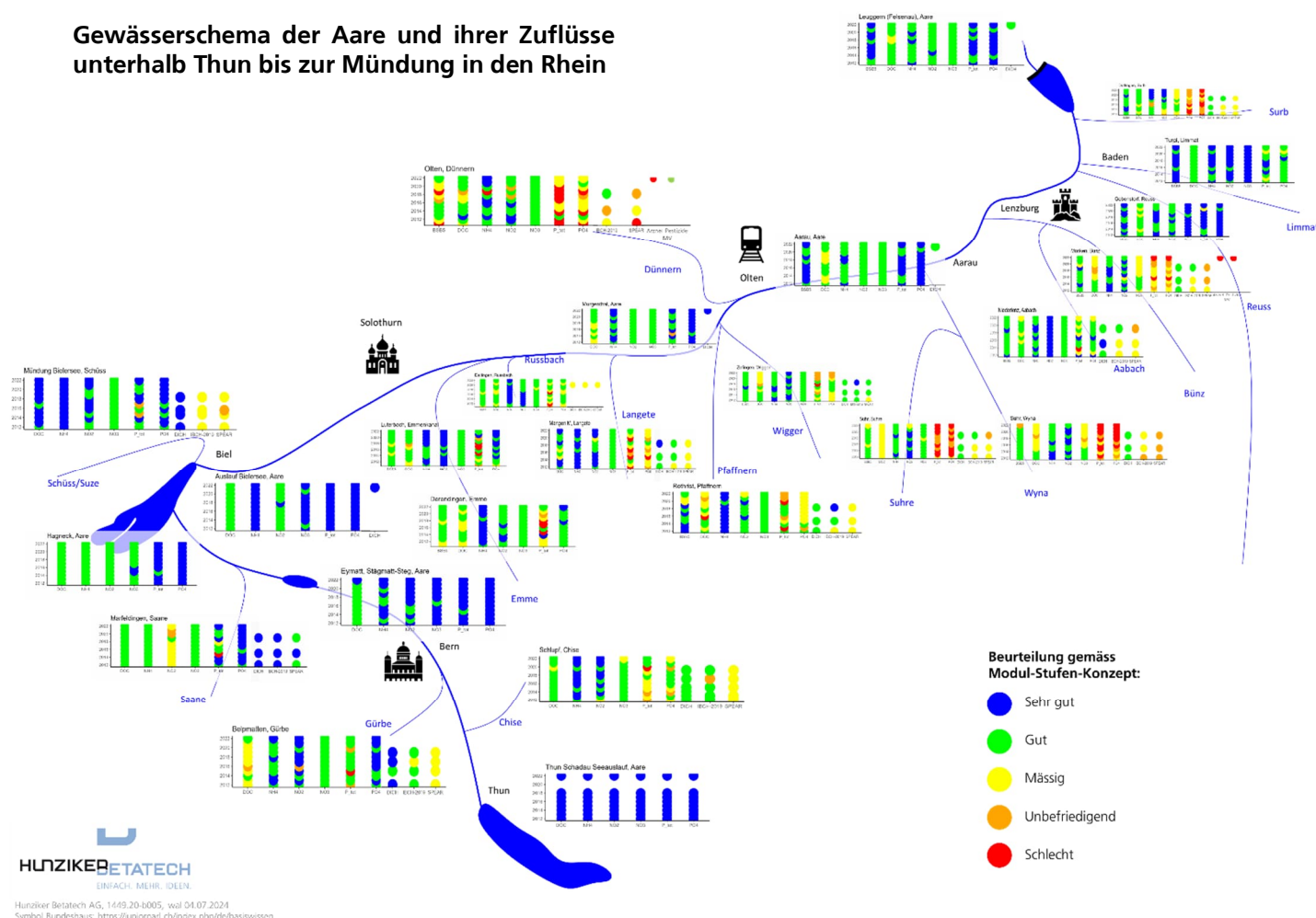


Abbildung 1: Zusammenfassendes Gewässerschema der Aare und ihrer Zuflüsse mit den Beurteilungen gemäss Modul-Stufen-Konzept der Einzelparameter in den Jahren 2012 – 2022 (Format A3 in Anhang 5).

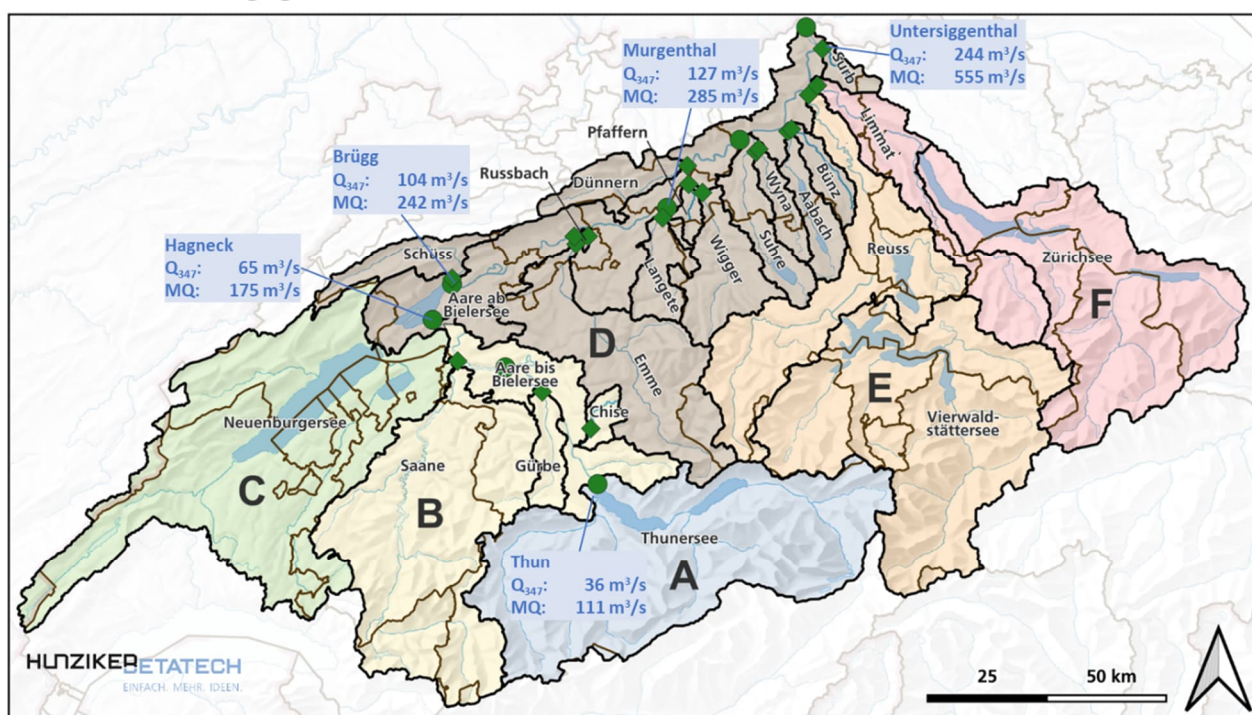
1 Einzugsgebiet der Aare und Messstellen

1.1 Charakterisierung Einzugsgebiet

Die Aare ist mit einer Fliesslänge von fast 300 km der längste, ganzheitlich in der Schweiz liegende Fluss. Sie entwässert ein umfangreiches Einzugsgebiet von 17'709 km², wobei mit der Reuss und der Limmat zwei bedeutende Zuflüsse erst kurz vor dem Zusammenfluss mit dem Rhein einmünden (vgl. Abbildung 3). Die Aare entwässert rund 43% der Schweizer Landesfläche und ist damit noch vor dem Rhein der abflussstärkste Fluss der Schweiz. Im langjährigen Durschnitt führt die Aare vor dem Zusammenfluss mit dem Rhein über 550 m³/s Abfluss. Der Flussverlauf der Aare hat sich im Laufe der Jahrmlionen stark verändert und die heutige Mündung in den Rhein und Entwässerung in Richtung Nordsee existiert erst seit rund 2.9 Mio. Jahren [24]. Im Rahmen der Ersten Juragewässerkorrektion (1868-1891) erhielt die Aare ihren heutigen Verlauf via Hagneckkanal in den Bielersee.

In diesem Bericht wird die Aare ab dem Thunersees bis zur Mündung in den Rhein betrachtet. Die zahlreichen Messstellen ermöglichen es, ein detailliertes Bild der chemischen Wasserqualität zu erstellen. Abbildung 2 zeigt auf der Einzugsgebietskarte die Verteilung der Messstellen sowie die Entwicklung der Abflüsse anhand der Kennzahlen Q_{347} (Niedrigwasser) und MQ (mittlerer Abfluss) entlang des Längsverlaufs der Aare zwischen Thun und der Mündung in den Rhein.

Übersicht Einzugsgebiet Aare



Hintergrund: Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Bundesamt für Umwelt BAFU

1449.20 Aarebericht, reb, 2024-06-05

Kartengrundlagen

- Messstellen Aare
- ◆ Messstellen Seitengewässer
- Einzugsgebiete
- Kantonsgrenze

Abbildung 2: Gesamteinzugsgebiet der Aare mit Gliederung in 6 Teileinzugsgebiete A-F sowie Angaben zum Niedrigwasser und Mittelwasser an ausgewählten Abflussmessstellen des BAFU.

Das Einzugsgebiet der Aare weist im Berner Oberland grosse hochalpine und vergletscherte Gebiete auf, im Seeland und Mittelland durchfließt die Aare ausgedehnte und intensiv bewirtschaftete Landwirtschaftsflächen und Siedlungsgebiete in gemässiger Höhe. Das Gesamteinzugsgebiet weist eine mittlere Höhe von 1'060 m ü. M. auf, der höchste Gipfel ist das Finsteraarhorn mit 4'274 m ü. M. Im Einzugsgebiet sind 43% landwirtschaftlich genutzt, 31% Waldflächen und ca. 8.5% Siedlungsflächen. Die verbleibenden rund 17.5% entfallen auf unproduktive Flächen, Seen und Restgebiete im Ausland. Abbildung 3 zeigt die Einzugsgebietseigenschaften pro Teileinzugsgebiet.

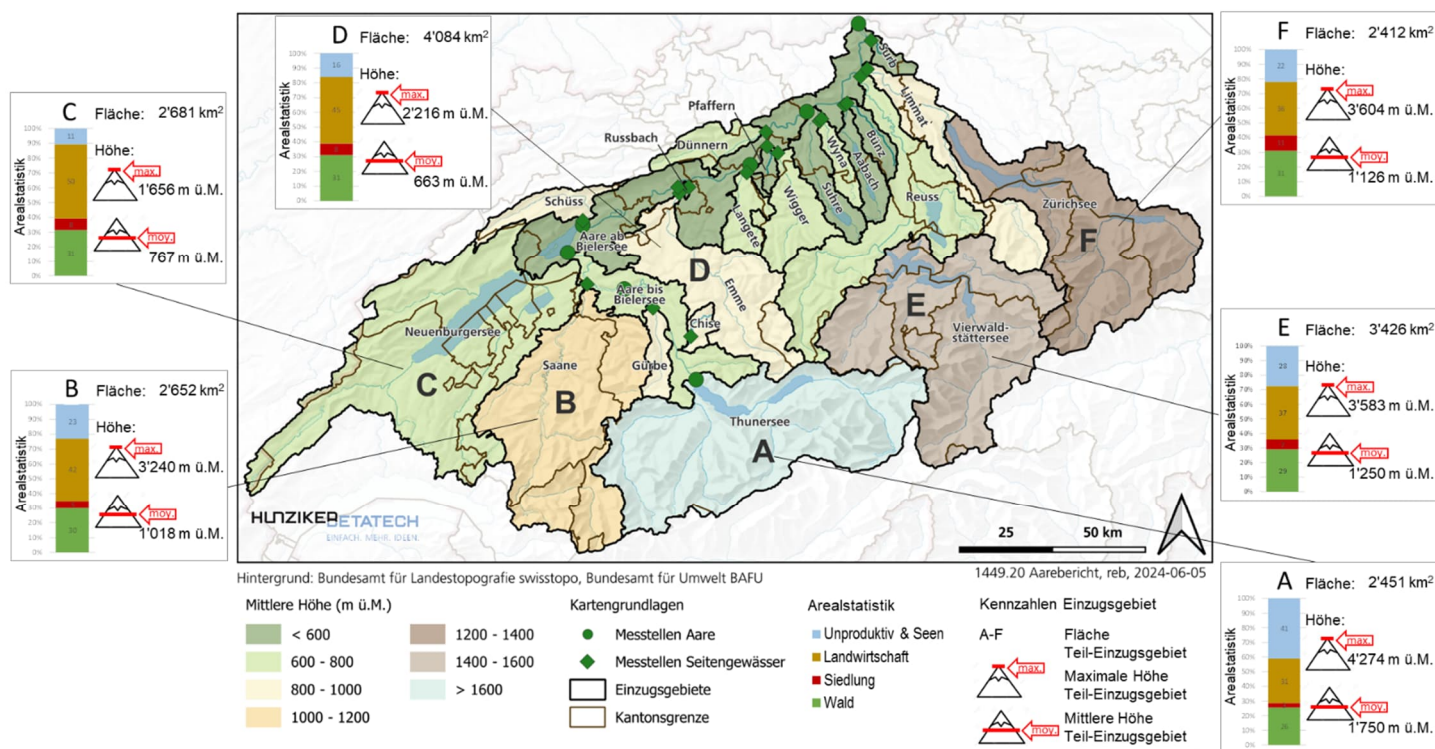


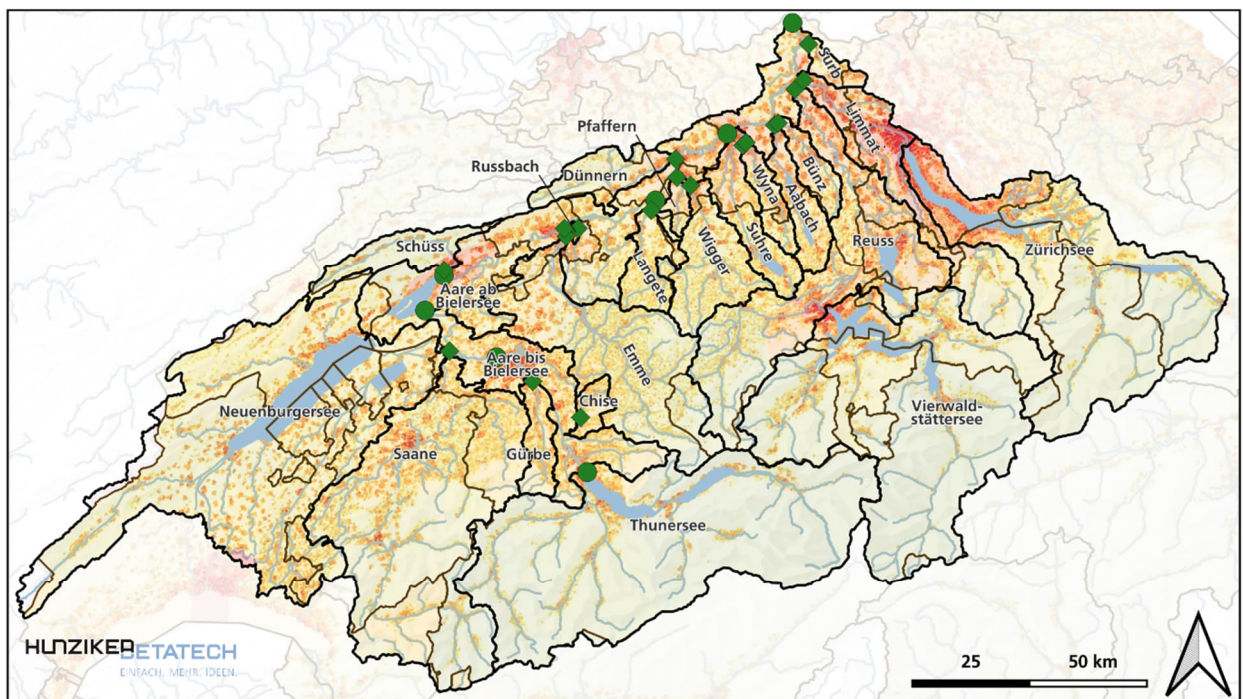
Abbildung 3: Gliederung des Gesamteinzugsgebiets der Aare in sechs Einzugsgebiete. Die Teileinzugsgebiete sind entsprechend der mittleren Höhe eingefärbt. Die Balkendiagramme zeigen pro Einzugsgebiet die Verteilung der Bodenbedeckung gemäss Arealstatistik sowie die maximale und mittlere Höhe. Vergrösserte Ansicht in Anhang 2.

Die Landnutzung im Einzugsgebiet hat einen wesentlichen Einfluss auf die Wasserqualität. In Einzugsgebieten mit erhöhter Siedlungsdichte und intensiver landwirtschaftlicher Nutzung werden mehr Schadstoffe in die Gewässer eingetragen und die Wasserqualität verschlechtert sich. Nachstehend werden die Einwohnerdichten und Kläranlagen, sowie die landwirtschaftliche Nutzung in den Teileinzugsgebieten analysiert. Diese Charakterisierung erlaubt eine erste Einschätzung der wichtigsten Belastungsquellen und dient als Grundlage für die Interpretation der Messdaten zur Wasserqualität.

1.2 Einwohnerdichten und Abwasserreinigungsanlagen (ARA)

Die Einwohnerdichte steht in direktem Zusammenhang mit dem anfallenden Abwasser aus Haushalten, welches in der Schweiz zu einem sehr hohen Anteil in Abwasserreinigungsanlagen (ARA) behandelt wird. Nachfolgend wird für das Einzugsgebiet der Aare die Einwohnerdichte (Abbildung 4) sowie die 263 im Einzugsgebiet liegenden ARA (Abbildung 5) analysiert. Für jede betrachtete Messstelle konnte zudem der durchschnittliche Anteil Abwasser (Abbildung 6) ermittelt werden. Die tabellarische Zusammenstellung der Kennwerte pro Teileinzugsgebiet findet sich in Anhang 2.

Einwohnerdichte Einzugsgebiet Aare



Hintergrund: Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Bundesamt für Umwelt BAFU

1449.20 Aarebericht, reb, 2024-06-10

Kartengrundlagen

● Messstellen Aare

◆ Messstellen Seitengewässer

□ Einzugsgebiete

□ Kantonsgrenze

Einwohnerdichte

1 - 3 Einwohner/ha

4 - 6 Einwohner/ha

7 - 15 Einwohner/ha

16 - 40 Einwohner/ha

41 - 120 Einwohner/ha

> 120 Einwohner/ha

Abbildung 4: Übersicht des Einzugsgebiets der Aare und ihrer Seitengewässer mit Einwohnerdichte pro Teileinzugsgebiet.

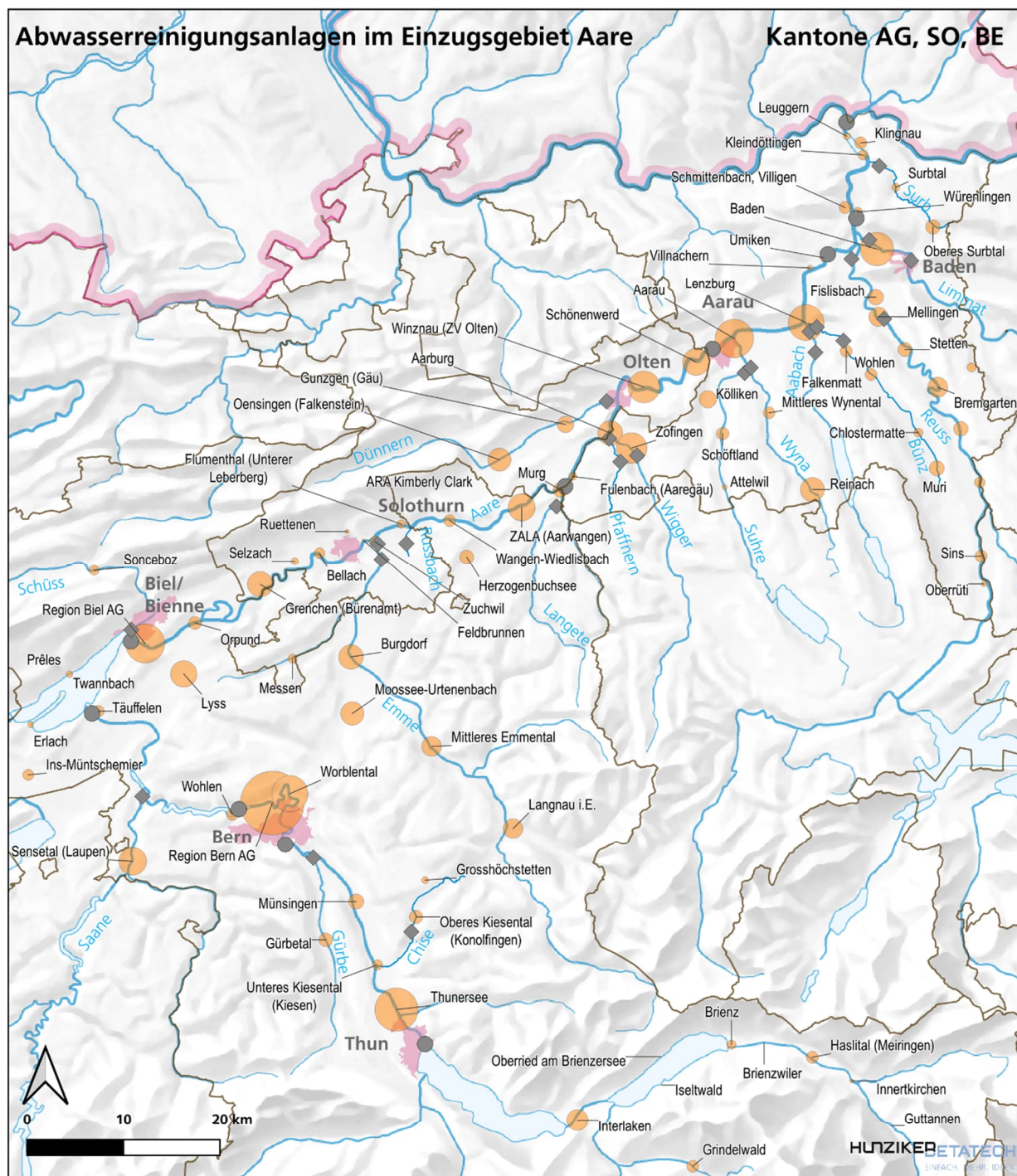
Die Teileinzugsgebiete der Aare oberhalb des Thunersees, der Reuss oberhalb des Vierwaldstättersees und der Limmat oberhalb Zürich- und Obersee weisen bedingt durch die alpine Lage einen hohen Anteil an unproduktiven Flächen auf, während vor allem die tief liegenden Regionen im Einzugsgebiet der Limmat (Abbildung 2, Ziffer F), Reuss (E) und auch der Aare (D) hohe Anteile an Siedlungsflächen aufweisen. Entlang der Aare im Bereich der berücksichtigten Messstellen zwischen Thun und der Mündung in den Rhein ist eine Zunahme der Einwohnerdichten im Längsverlauf der Aare feststellbar. Während die Einzugsgebiete oberhalb des Bielersees im Durchschnitt mittlere Einwohnerdichten aufweisen, sind dicht besiedelte Gebiete bei Biel, Solothurn und ab Rothrist bis Brugg in Abbildung 4 erkennbar. Eine detaillierte Zusammenstellung der durchschnittlichen Einwohnerdichten über alle betrachteten Teileinzugsgebiete findet sich in Anhang 2.

Wichtige Zuflüsse der Aare wie die Saane, Emme und das Einzugsgebiet von Neuenburger- und Murtensee (Abbildung 2, Ziffer C) weisen geringe bis mittlere Einwohnerdichten auf. Im Zusammenhang

mit der Wasserqualität wirken die grossen Seen als bedeutende Senken; die Wasserqualität im Seeausfluss ist meist gut.

In der dicht besiedelten Schweiz ist eine gute Wasserqualität nur dank gut funktionierenden Abwasserreinigungsanlagen (ARA) zu erreichen. Seit der Inbetriebnahme der ersten Kläranlage 1917 in St. Gallen wurde dank technischen Innovationen die Reinigungsleistung stetig verbessert und ein fast flächendeckendes Netz an ARA in Betrieb genommen, so dass heute in der Schweiz praktisch alle Haushalte (98%) einer ARA angeschlossen sind [20]. Trotz einer immer besseren Reinigungsleistung sind die ARA vielerorts immer noch eine bedeutende Belastungsquelle für die Wasserqualität in Oberflächengewässern. Der Ausbau der ARA mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe für die Elimination von Mikroverunreinigungen ist erst angelaufen; viele ARA weisen heute noch keine entsprechende vierte Reinigungsstufe auf. Zudem haben ARA, welche in ein kleines Gewässer entwässern, oft ein schlechtes Verdünnungsverhältnis. Vor allem bei Trockenheit kann dies zu einer Verschlechterung der Wasserqualität beitragen. Im Einzugsgebiet der Aare befinden sich die grössten ARA bei den grossen Städten (Thun, Bern und Biel), sowie im dicht besiedelten Mittelland zwischen Zofingen bis zum Zusammenfluss mit dem Rhein. In Abbildung 5 sind die ARA im Untersuchungsgebiet entsprechend ihrer Reinigungskapazität dargestellt.

Die 263 ARA im Einzugsgebiet der Aare reinigen das Abwasser von über 4.2 Mio. Einwohnern (knappe Hälfte der Schweizer Bevölkerung). Zusätzlich wird umfangreiches Abwasser aus Gewerbe, Industrie und der Siedlungsentwässerung behandelt. Alle ARA im Einzugsgebiet der Aare reinigen gemeinsam rund 625 Mio. m³ Abwasser pro Jahr. Dies entspricht rund 3.5% des Gesamtabflusses der Aare bei der Mündung in den Rhein. Der Abwasseranteil in den Gewässern variiert sehr stark, wie aus Abbildung 6 erkennbar ist. Die Aare weist im Vergleich zu vielen Zuflüssen eher geringe Anteile an Abwasser auf, da sie dank dem grossen und hoch gelegenen Einzugsgebiet ganzjährig hohe Abflüsse aufweist. Höchstwerte bezüglich Abwasseranteil werden bei der Messstelle an der Suhre (9.6%) und an der Surb (7.7%) erreicht. Vor allem ein hoher Abwasseranteil im direkten Einzugsgebiet einer Messstelle (nicht oberhalb grösserer Seen) kann die Wasserqualität negativ beeinflussen. Entscheidend ist in diesen Fällen zusätzlich die Art der Abwasserbehandlung (Reinigungsstufen) und die Zuverlässigkeit der einleitenden ARA.



Hintergrund: Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Bundesamt für Umwelt BAFU

1449.20 Aarebericht, sle/wal, 2024-06-21

Messstelle

- Aare
- ◆ Seitengewässer

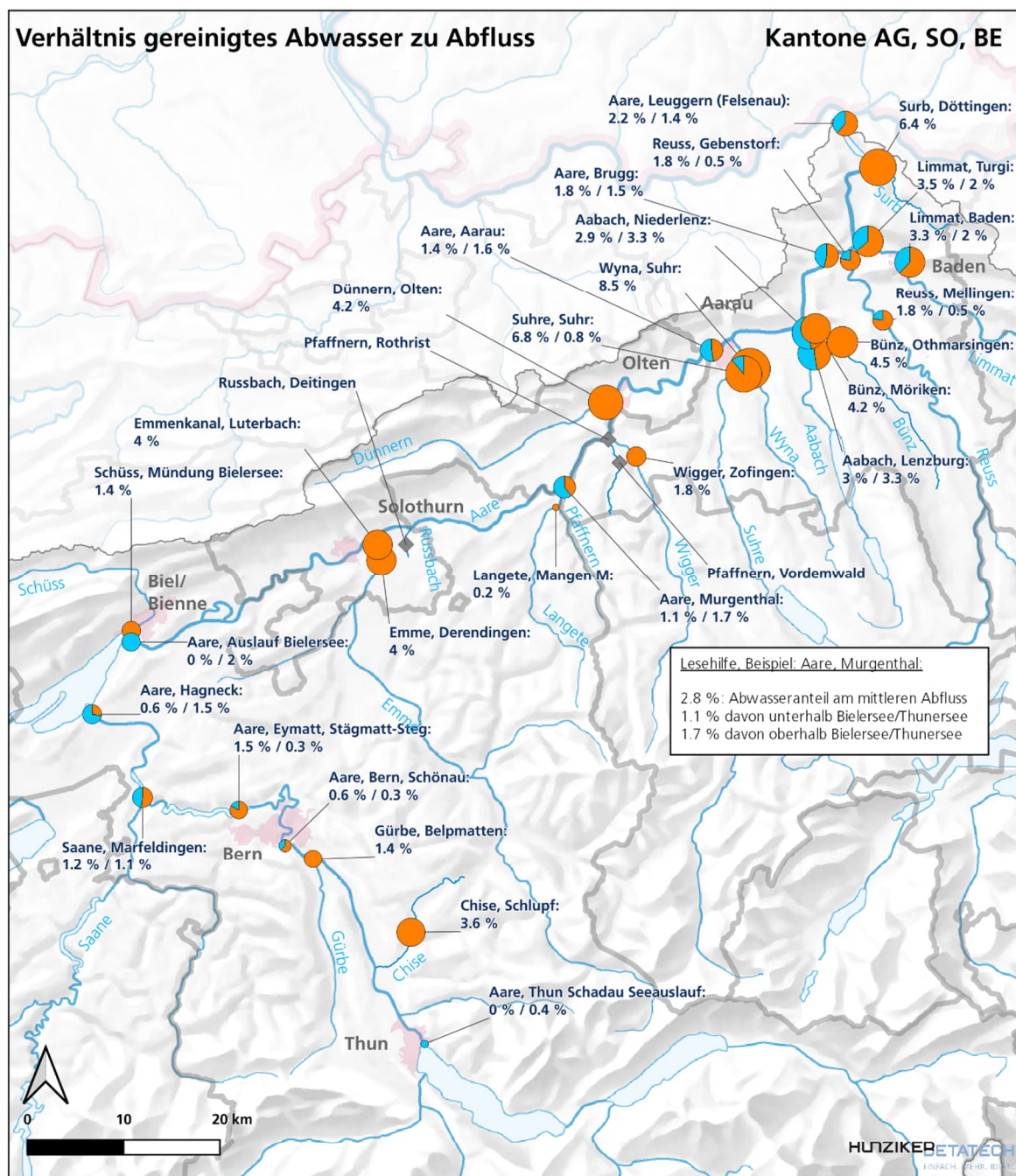
Grundlage

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

ARA nach angeschlossenen Einwohnergleichwerten (85%, CSB)

- 5'000 EW
- 20'000 EW
- 100'000 EW
- 300'000 EW

Abbildung 5: Abwasserreinigungsanlagen (ARA) im Einzugsgebiet der Aare. Die Symbolgrösse entspricht der Grösse der Anlage anhand der Zulauffracht (EW_{85%, CSB, 120}). Daten: VSA Micropoll 2024



Grundlage

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung
- ◆ Messstelle ohne ARA im Einzugsgebiet

Verhältnis gereinigtes Abwasser/Abfluss

- Symbol-grösse**
- Kreis proportional zu Verhältnis gereinigtes Abwasser zu mittlerem Abfluss (MQ), kumuliert über alle ARA oberhalb Messstelle
 - Anteil Abwasser aus dem direkten Einzugsgebiet, ohne Gebiet oberhalb Seen (in Beschriftung erste %-Angabe)
 - Anteil Abwasser im indirekten Einzugsgebiet, oberhalb Seen (in Beschriftung zweite %-Angabe)
- Farbe**

Abbildung 6: Übersicht des Abwasseranteils am durchschnittlichen Abfluss pro Messstelle. Blau ist der Abwasseranteil dargestellt, der oberhalb grösserer Seen anfällt, orange der Abwasseranteil direkt (unterhalb der Seen). Daten: VSA Micropoll, 2024

1.3 Landwirtschaftliche Nutzung

Wie aus Abbildung 3 erkennbar, variiert die landwirtschaftliche Nutzfläche je nach Teileinzugsgebiet zwischen rund 30% - 50%. Der Einfluss auf die Wasserqualität ist dabei stark abhängig von der Art der landwirtschaftlichen Nutzung. Die Wasserqualität wird vor allem bei intensiver Bewirtschaftung durch Einträge von Pflanzenschutzmitteln, Nitrat und Phosphor beeinträchtigt. Durch den Verzicht oder den zurückhaltenden Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Kunstdünger sowie naturnahe Gewässerräume lassen sich die Schadstoffeinträge in die Gewässer wirkungsvoll vermindern.

In Abbildung 7 ist der Anteil an Fruchtfolgeflächen (FFF) in den Teileinzugsgebieten dargestellt. Dies erlaubt eine grobe Einschätzung des Anteils intensiv bewirtschafteter Agrarflächen. Für eine weitergehende Analyse und Interpretation müssten die jeweils lokalen Verhältnisse berücksichtigt, die Art der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und der Zustand der Gewässerräume mitberücksichtigt werden. Die grobe Analyse in Abbildung 7 zeigt mittlere Anteile (> 30%) an Fruchtfolgeflächen in den Einzugsgebieten entlang der Aare vom Thunersee bis zur Mündung in den Rhein. Tendenziell nimmt der Anteil an Ackerbauflächen in Fließrichtung zu und der Anteil an der Viehwirtschaft ab. Die Teileinzugsgebiete von Russbach, Aabach, Bünz und Surb fallen durch hohe Anteile an intensiv bewirtschafteten Landwirtschaftsflächen auf. In alpinen und voralpinen Einzugsgebieten sowie dem Jura ist der Anteil der Fruchtfolgeflächen tiefer.

Das Teileinzugsgebiet C bis zum Neuenburgersee ist vor allem landwirtschaftlich geprägt. Auf die Aare haben diese Teileinzugsgebiete jedoch nur einen reduzierten Einfluss: Die Seen wirken als Senke für Schadstoffe; Belastungen werden teilweise abgebaut oder durch Sedimentation dem Wasser entzogen und langfristig zurückgehalten.

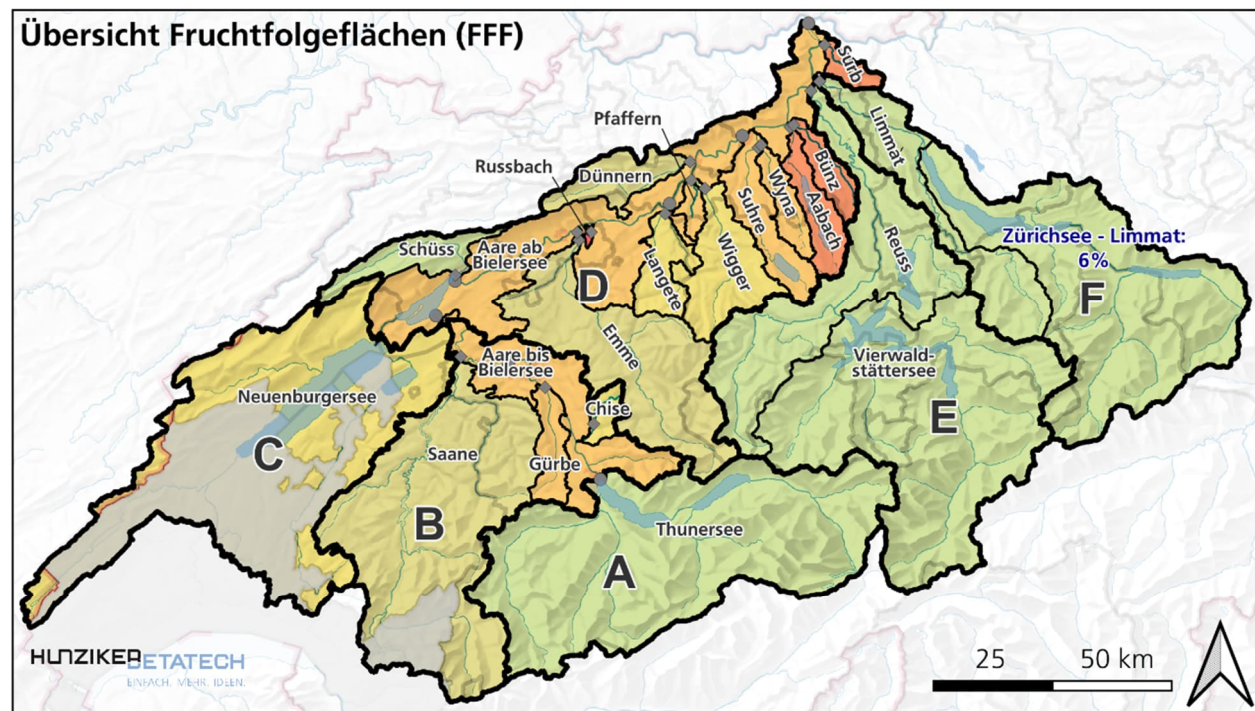


Abbildung 7: Übersicht des Einzugsgebiets der Aare und ihrer Seitengewässer mit Anteil der Fruchtfolgeflächen (FFF) pro Teileinzugsgebiet. Daten vom Kanton VD nicht verfügbar (grau).



1.4 Messstellen

Die Messstellen an der Aare und den Zuflüssen werden durch die kantonalen Gewässerschutzlabore betrieben. Gemäss Vorgehen des Modul-Stufen-Konzeptes [1] werden den Gewässern jährlich 12 Stichproben entnommen und bezüglich verschiedener chemischer und physikalischer Parameter beurteilt. Die Beschreibung und Auswertung der einzelnen Parameter erfolgen im Kapitel 2. Stellenweise werden weitere Parameter erfasst. Die entsprechenden Messstellen sind in Abbildung 8 dargestellt und in Anhang 1 tabellarisch aufgelistet. In Abhängigkeit der durchgeführten Untersuchungen werden fünf Typen von Messstellen unterschieden:

Chemisch-physikalische Messungen

Die Nährstoffe und die physikalischen Parameter Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und der gelöste Sauerstoff werden gemäss Vorgaben des Modul-Stufen-Konzeptes [1] gemessen und ausgewertet. Dazu werden in den Gewässern jährlich 12 Stichproben entnommen und zu einer jährlichen Bewertung zusammengefasst.

Biologiemessstellen

Für die Seitengewässer werden die biologischen Untersuchungen für DI-CH, IBCH und SPEAR ausgewertet. Der DI-CH wird zudem auch für die Messstellen an der Aare unterhalb des Bielersees ausgewertet.

Hydrometriemessstellen

Von den meisten grösseren Seitengewässern und an der Aare wird bei den Hydrometriemessstellen der Abfluss kontinuierlich gemessen. Je nach Messtechnik werden auch die Wassertemperaturen aufgezeichnet. Die Tabelle in Anhang 1 gibt eine Übersicht, welche Abflüsse den verschiedenen Chemiemessstellen zugeordnet werden.

Mikroverunreinigungen

Bei der Chemiemessstelle in Olten an der Dünern (Kt. SO) und in Othmarsingen an der Bünz (Kt. AG, nur 2022) wurden zeitproportionale Zweiwochenmischproben entnommen und gemäss den chronischen Qualitätskriterien (CQK) des Ökotoxizentrums [17] und gemäss der Gewässerschutzverordnung [38] ausgewertet.

Mikroverunreinigungen: Abflussproportionale Mischproben (NADUF)

Bei der Messstelle in Brugg werden abflussproportionale Mischproben zur Berechnung der Stofffrachten für die Mikroverunreinigungen entnommen. Die Daten stammen aus der nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität NAWA des BAFU [19].

Grundlagen und Links

- [17] Ökotoxizentrum: Qualitätskriterien Mikroverunreinigungen
[Ökotoxizentrum Qualitätskriterien Vorschläge](#)
- [18] Bundesamt für Umwelt: Hydrologische Daten und Vorhersagen
<https://www.hydrodaten.admin.ch/de/>
- [19] Bundesamt für Umwelt: Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA)
[Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität \(NAWA\) \(admin.ch\)](#)
- [21] Kanton Aargau: Abteilung Landschaft und Gewässer: EnVIS HydroWeb
<https://www.ag.ch/app/envis/#hydroweb>
- [22] Kanton Bern: Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern: Hydrologische Daten
<https://www.bvd.be.ch/de/start/themen/wasser/hydrologische-daten.html>
- [23] Kanton Solothurn: Amt für Umwelt: Oberflächengewässer
<https://so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/wasser/oberflaechengewaesser/>

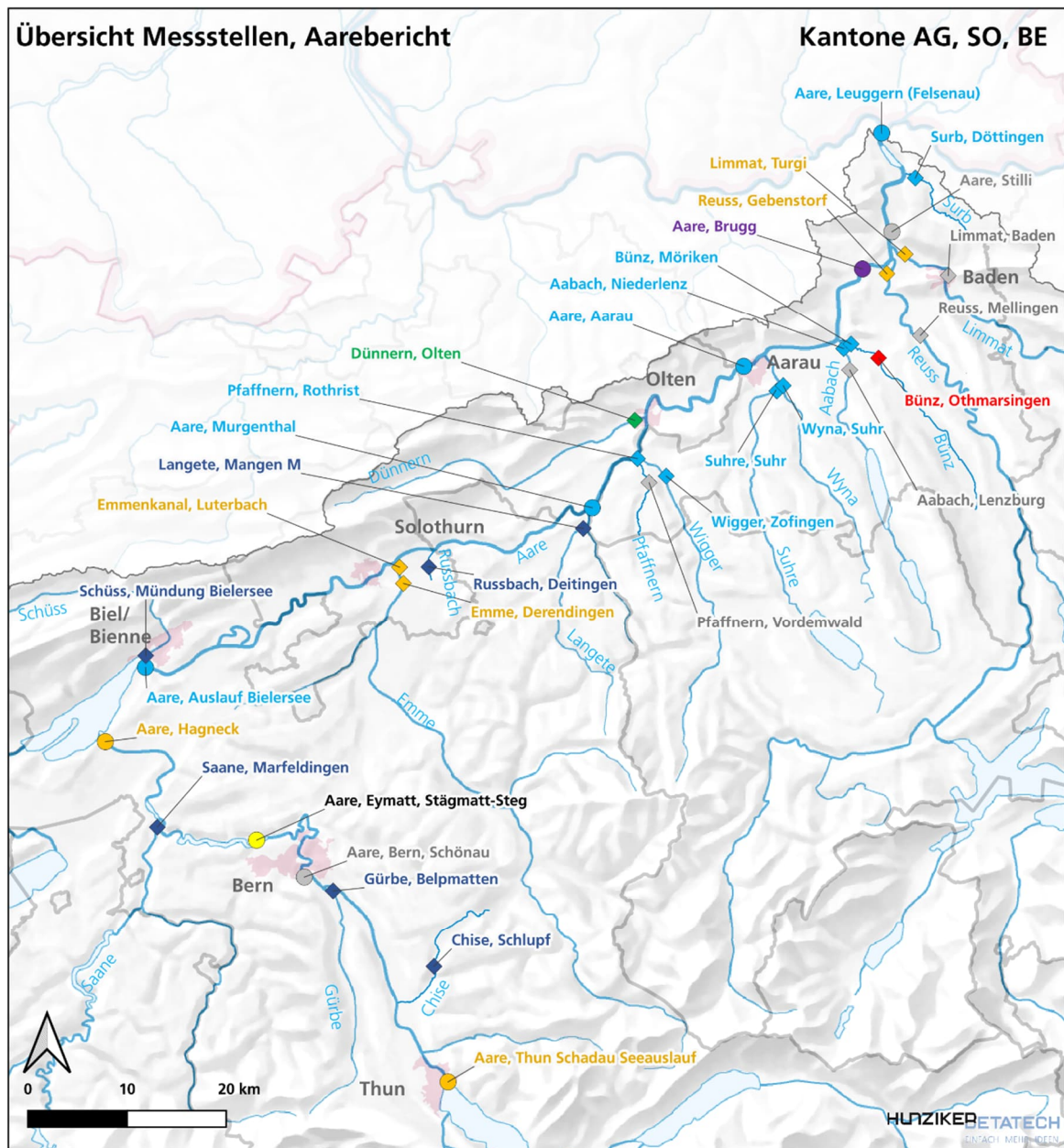


Abbildung 8: Übersicht der für die Auswertung berücksichtigten Messstellen



2 Methodik

2.1 Datenauswertung

An über 20 Messstellen an der Aare und den wichtigsten Zuflüssen (siehe Anhang 1) entnehmen die Anrainerkantone Bern, Solothurn und Aargau regelmässig Wasserproben zur Ermittlung der Wasserqualität. Die Probenahme und Analytik im Labor erfolgen nach dem einheitlichen und standardisierten Vorgehen des **Modul-Stufen-Konzepts** [1]. Für diesen Bericht wurden die Messdaten der letzten 11 Jahre der verschiedenen Kantone zusammengetragen. Die Auswertung wurde für die meisten Parameter bereits im Vorfeld durch die Kantone Bern, Aargau und Solothurn erstellt. Für die Auswertung in vorliegendem Bericht wurden die vorhandenen Rohdaten verifiziert. Teilweise hatte das leichte Anpassungen bei der Bewertung von einzelnen Parametern zur Folge, da gewisse Berechnungsschritte in der Methodik (z.B. die Berechnung der Quantile) nicht eindeutig definiert sind. Die Messresultate mit abweichender Bewertung sind im Anhang 3 aufgeführt. Für den vorliegenden Bericht wurde für alle Datensätze die gleiche Auswertungsmethodik verwendet, um eine einheitliche, konsistente Bewertungsskala anwenden zu können.

Die Bewertung gemäss Modul-Stufen-Konzept ergibt sich aus 12 jährlichen Stichproben (monatlich). Der massgebende Wert, der in die Beurteilung einfliesst, entspricht dem rechnerischen 90 % - Quantil aller Stichproben. Die Zielvorgabe für die verschiedenen Parameter ist meistens durch die Gewässerschutzverordnung (GSchV) [38] definiert. Bei gewissen Parametern lässt das Modul-Stufen-Konzept einen Bereich zu, der je nach natürlicher Vorbelastung eines Gewässers angepasst werden kann (siehe Kapitel 2.2). In Abbildung 9 ist die Bewertung gemäss Modul-Stufen-Konzept dargestellt. Darin erfüllen die Beurteilungen «sehr gut» und «gut» die Anforderungen der GSchV, während die Beurteilungen mässig bis schlecht diese Anforderungen nicht erfüllen.

Die Bewertung der Wasserqualität nach Modul-Stufen-Konzept wird wesentlich durch die Witterungsbedingungen beeinflusst. In nassen Jahren sind die Abschwemmungen aus Landwirtschaftsland und die Entlastungen der Siedlungsentwässerung grösser und führen zu höheren Nährstoffgehalten in den Gewässern. Die Bewertung der Nährstoffe erfolgt anhand von Stichproben. Punktuelle Einträge (wie z.B. Entlastungen aus der Siedlungsentwässerung bei Regenwetter) können bei der Probenahme für Stichproben verpasst werden. Falls die Probenahme während einem Regenereignis stattfindet, kann in Einzelfällen auch eine Überbewertung resultieren. Deshalb sind zur Interpretation der Bewertungen auch die allgemeinen Witterungsbedingungen miteinzubeziehen. Da monatlich und über viele Jahre Stichproben entnommen werden, ergibt sich in der Summe ein guter Überblick über die Wasserqualität, da sowohl Trockenwetter- wie auch Regenwettersituationen in die Gesamtbewertung einfließen.

Beurteilung		Bedingung/Beschreibung		Einhaltung Zielvorgabe
	sehr gut	Der Schätzwert ⁴ (S) ist kleiner als die halbe Zielvorgabe (Z) ⁵	$S < \frac{1}{2} Z$	Zielvorgabe eingehalten
	gut	der Schätzwert (S) ist kleiner als die Zielvorgabe (Z)	$\frac{1}{2} Z \leq S < Z$	
	mässig	der Schätzwert (S) ist kleiner als die eineinhalbfache Zielvorgabe (Z)	$Z \leq S < 1,5 \cdot Z$	Zielvorgabe überschritten (nicht eingehalten)
	unbefriedigend	der Schätzwert (S) ist kleiner als die doppelte Zielvorgabe (Z)	$1,5 \cdot Z \leq S < 2 \cdot Z$	
	schlecht	der Schätzwert (S) ist gleich wie oder grösser als die doppelte Zielvorgabe (Z)	$S \geq 2 \cdot Z$	

Abbildung 9: Bewertung des Modul-Stufen-Konzept [1]

Die Bewertung der untersuchten Parameter wird im Kapitel 3 in Karten und zusätzlich in Box-Plots dargestellt. Beide Darstellungsarten enthalten die gleichen Messdaten. Das Kartenlayout erlaubt die rasche Orientierung und zeigt die räumliche Verteilung der Bewertungen. Die zeitliche Entwicklung der Bewertung über die 11 Jahre von 2012 bis 2022 ist mit gestapelten Symbolen (Münzstapel) visualisiert (Abbildung 10).

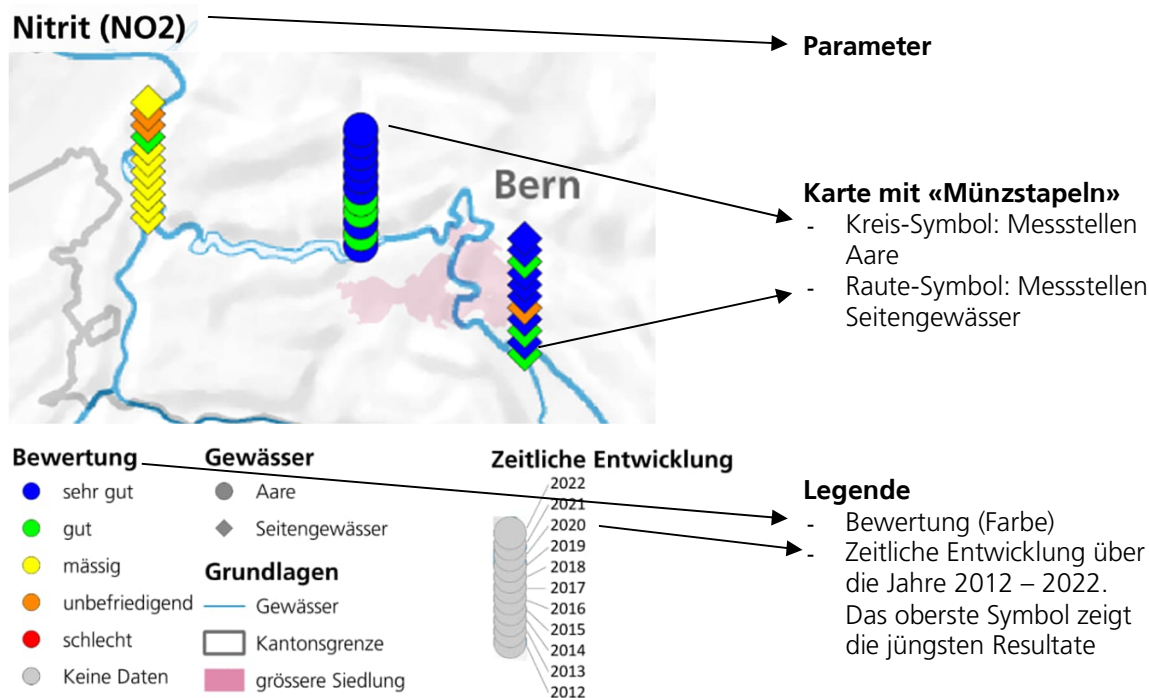


Abbildung 10: Erklärungen zum Kartenlayout

In den Box-Plot-Diagrammen ist das Resultat der Bewertung aller Messungen von 2012-2022 anhand des 90% - Quantils farblich in Balken pro Messstelle enthalten. Ebenfalls ist der Median aller Messungen als Linie innerhalb der Balken sowie das Minimum und das Maximum aller Messungen dargestellt. Mit roten vertikalen Linien wird die Zielvorgabe visualisiert (Abbildung 11).

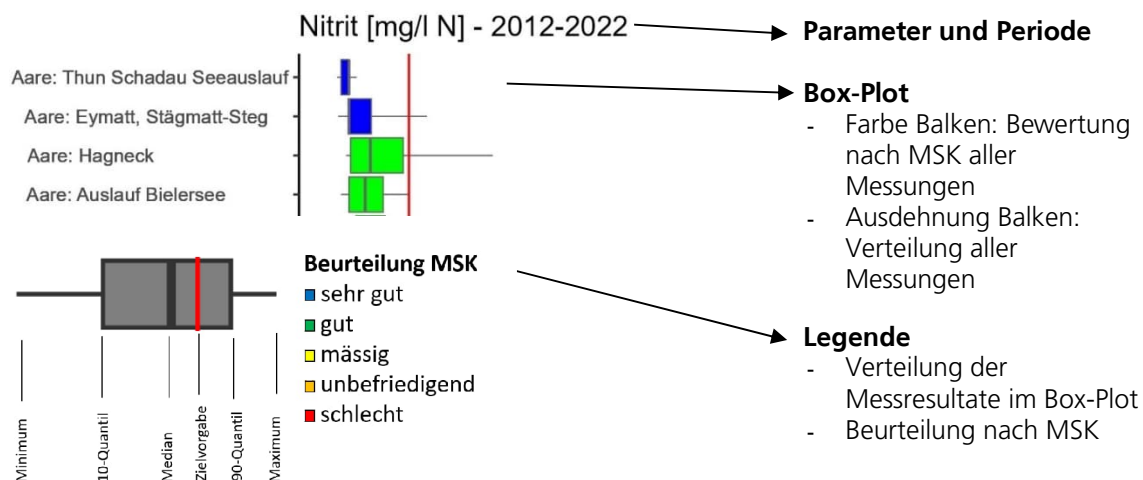


Abbildung 11: Erklärungen zum Box-Plot Layout



2.2 Nährstoffe

Die Grenzwerte für Ortho-Phosphat, Gesamtphosphor, Nitrat und Gesamtstickstoff sind im Modul-Stufen-Konzept als fixe, unabhängige Werte definiert.

Tabelle 1: Parameter mit einem fixen Grenzwert im Modul-Stufen-Konzept

Parameter	Grenzwert
Ortho-Phosphat (PO_4^{3-})	0.04 [mg/L P]
Gesamtphosphor – unfiltriert (P_{tot})	0.07 [mg/L P]
Nitrat (NO_3^-)	5.6 [mg/L N]
Gesamtstickstoff	7.0 [mg/L N]

Der Grenzwert für DOC (gelöster organischer Kohlenstoff) ist abhängig von der natürlichen Vorbelastung des Gewässers. Diese schwankt zwischen 1-4 mg/L und wird von den Kantonen für die einzelnen Gewässer festgelegt. Es wurden die Zielwerte für jedes Gewässer der Kantone verwendet (siehe Anhang 1).

Die Grenzwerte des BSB₅ (Biochemischer Sauerstoffbedarf) können in wenig verschmutzten Gewässern tiefer gesetzt werden. Die Gewässerschutzverordnung sieht deshalb einen Anforderungsbereich von 2 bis 4 mg/L O₂ vor. Für die Auswertungen dieses Berichtes werden die Grenzwerte des Kanton Aargau mit 3 mg/L O₂ für alle Messstellen übernommen.

Die Grenzwerte für Ammonium sind abhängig von der Wassertemperatur und dem pH-Wert des Wassers. Die Klassifizierung wird gemäss Vorgaben des Modul-Stufen-Konzepts gemacht, indem die Quotienten der einzelnen Ammonium-Messwerten durch den jeweils messwertspezifischen Grenzwert (Abhängig von Temperatur und pH-Wert) gebildet wurden. Anschliessend wird das 90%-Quantil von diesen Quotienten für die Klassifizierung verwendet.

Die Grenzwerte für Nitrit sind abhängig vom Chloridgehalt. Dabei wird zwischen drei verschiedenen Grenzwertklassen unterschieden. Analog zur Auswertung von Ammonium werden die einzelnen Nitrit-Messwerte jeweils durch den messwertspezifischen Grenzwert geteilt und anschliessend das 90%-Quantil dieser Quotienten für die Klassifizierung verwendet.

Für die Einschätzung der Gesamtbewertung werden verschiedene chemische Bewertungen (Nährstoffe) zu einer Note aggregiert. Die Methodik wird vom Reussbericht «2014-2018» [7] übernommen. Es wird folgende Gewichtung vorgenommen.

Tabelle 2: Gesamtbewertung der Nährstoffe analog zum Reussbericht [7].

Parameter	Gewichtung	Bemerkung
BSB ₅	3	
DOC	1	
Ammonium NH_4^+	3	
Nitrit NO_2^-	3	
Nitrat NO_3^-	2	
Gesamtphosphor P_{tot}	1	
Gelöster Phosphor P_{filt}	1 (2)	Gewichtung 2 falls keine Werte für Phosphat vorliegen.
Ortho-Phosphat PO_4^{3-}	1 (2)	Gewichtung 2 falls keine Werte für gelösten Phosphor vorliegen.

2.3 Physikalische Parameter

Es werden die Parameter Chlorid, elektrische Leitfähigkeit, pH, gelöster Sauerstoff und Temperatur dargestellt und ausgewertet. Für die Parameter Chlorid, elektrische Leitfähigkeit, pH und gelöster Sauerstoff werden die Vorgaben gemäss Modul-Stufen-Konzept verwendet. Für die Temperatúrauswertung werden folgende Darstellungen erstellt:

- Tages-, Saison-, Jahresmittel
- Abweichung des Jahresmittels vom Mittelwert der Messperiode
- Durchschnittliche Anzahl Stunden pro Tag mit Wassertemperaturen über 19°C beziehungsweise 24°C (Darstellung pro Monat)
- Maximale Dauer (in Tagen, respektive Stunden) mit Temperaturen immer über 19°C beziehungsweise 24°C (Darstellung pro Jahr)

2.4 Schwermetalle

Für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink sind in der Gewässerschutzverordnung Grenzwerte definiert. Die Klassifizierung wird anhand dieser Grenzwerte durchgeführt (siehe Kapitel 2.1). Es werden jeweils die gelösten Konzentrationen gemessen. Im Gegensatz zu den Nährstoffparametern werden für die Schwermetalle nur 2 Stichproben pro Jahr entnommen. Deshalb erfolgt die Beurteilung nur nach der Gewässerschutzverordnung (erfüllt/nicht erfüllt) mit dem maximalen Messwert und nicht nach der 5-stufigen Bewertung des Modul-Stufen-Konzepts (sehr gut bis schlecht).

2.5 Biologie

Die Parameter Kieselalgen (DI-CH), Makrozoobenthos (IBCH), SPEAR Index (Bioindikator für landwirtschaftliche Pestizide mit kurzfristigen und starken Belastungen im Gewässer) und Äusserer Aspekt werden von den beteiligten Kantonen gemäss Modul-Stufen-Konzept ausgewertet und für die Seitengewässer (respektive DI-CH auch für die Aare unterhalb des Bielersees) übernommen.

2.6 Mikroverunreinigungen

Die Auswertung der Mikroverunreinigungen wurde gemäss Entwurf des Modul-Stufen-Konzeptes zu Mikroverunreinigungen [3] erstellt und mit den Auswertungen des Kanton Aargau abgeglichen. Die Bewertung wurde anhand der Gesamtliste aller aktuellen Qualitätskriterien des Ökotoxizentrums [17] durchgeführt. Zusätzlich wurde die Einhaltung der Gewässerschutzverordnung überprüft (eingehalten/nicht eingehalten, siehe Anhang 6). Die Bewertung anhand der Qualitätskriterien des Ökotoxizentrums berücksichtigt dabei mehr Substanzen als die Grenzwerte in der Gewässerschutzverordnung. Die Anwendung der vorhandenen ökotoxikologischen Kriterien schätzt das Risiko für Wasserlebewesen besser ab und entspricht somit einem umfassenderen, realitätsnahen Ansatz.



3 Gewässerbeurteilung Aare und Zuflüsse

3.1 Nährstoffe

3.1.1 Ammonium

Erläuterungen Parameter

Ammonium (NH_4^+) gelangt über die Abwässer sowie durch Abschwemmung und Auswaschung von landwirtschaftlich genutzten Gebieten in das Gewässer. Während Ammonium nicht direkt umweltschädigend ist, wirkt Ammoniak (NH_3) fischtoxisch. Ammonium und Ammoniak befinden sich im Gewässer in einem chemischen Gleichgewicht. Das Gleichgewicht ist abhängig von der Temperatur und dem pH-Wert. Bei Temperaturen über 10°C oder einem pH grösser als 9, verschiebt sich das Gleichgewicht in Richtung Ammoniak. Zur Bewertung der Ammonium Konzentrationen gemäss Modul-Stufen-Konzept wird deshalb auch der pH und die Temperatur miteinbezogen [1].

Besonders in kleineren oder stark belasteten Gewässern können vermehrt unzulässige Ammonium- respektive Ammoniak-Konzentrationen gefunden werden. Auch langsam fliessende Gewässerabschnitte sind tendenziell eher betroffen. In langsam fliessenden Abschnitten ist die Primärproduktion höher, die Photosynthese führt zu einer Erhöhung des pH und verschiebt das Gleichgewicht in Richtung des fischtoxischen Ammoniaks [1]. Ammonium gelangt zusätzlich zu Einleitungen gereinigten Abwassers auch über die Entlastungen der Siedlungsentwässerung und durch Abschwemmung von Dünger auf landwirtschaftlichen Nutzflächen in die Gewässer. Der Parameter ist ein wesentliches Kriterium für die Beurteilung der Abwassereinleitungen und Entlastungsbauwerken. Hinweise darauf können in den kommunalen GEP (Generelle Entwässerungsplanung) gefunden werden [25].

Beobachtungen

Die Aare wird bezüglich Ammoniumbelastung durchgehend mit sehr gut oder gut beurteilt. Unterhalb der Seen ist die Beurteilung jeweils sehr gut und reduziert sich im weiteren Verlauf der Fliessstrecke auf überwiegend gute Beurteilungen.

Alle Seitengewässer erhalten eine mehrheitlich gute Bewertung (sehr gut - gut). Nur die Dünern und Surb weisen einzelne Jahre mit unbefriedigender oder schlechter Bewertung auf.

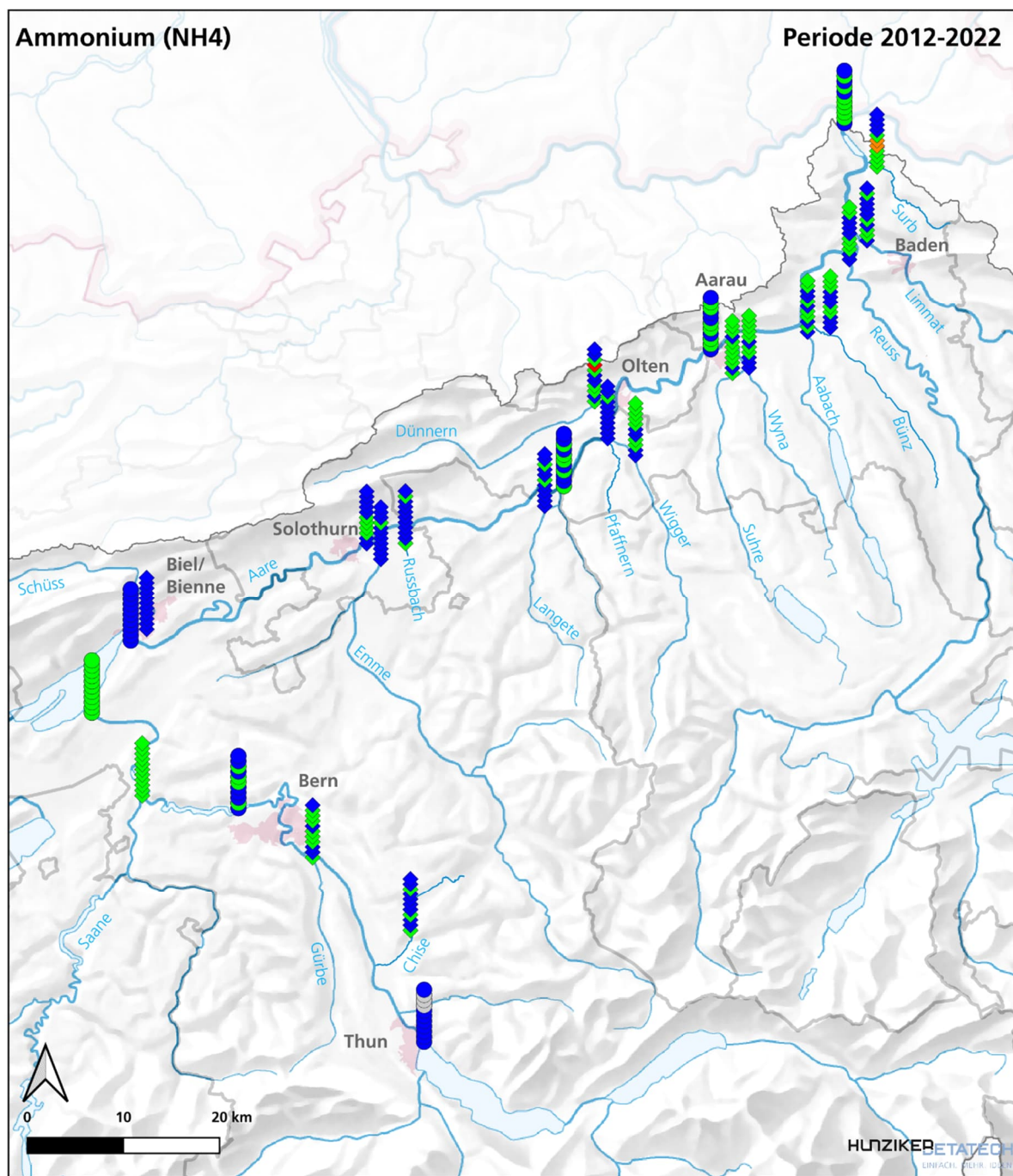
Interpretationen

Die Aare befindet sich bezüglich Ammoniumbelastung in einem guten Zustand. Der Trend von sehr gut zu gut im Verlauf der Aare ist aus gewässerökologischer Sicht nicht problematisch. Er zeigt aber auf, dass auch die Aare anthropogenen Einflüssen ausgesetzt ist.

Ebenso haben die Zuflüsse eine gute Wasserqualität in Bezug auf das Ammonium. Nur selten werden die Grenzwerte der GSchV nicht eingehalten. Mögliche Verschmutzungsgründe könnten Einträge aus landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten sein, eine ungenügende Reinigungsleistung der ARA oder Einträge aus der Siedlungsentwässerung. Bis 2018 wurde das Abwasser der ARA Surbtal batchweise in die Surb eingeleitet. Die dadurch bedingten temporären Anstiege von Nährstoffen führten zu schlechteren Beurteilungen. Die nun kontinuierliche Einleitung verursacht keine derartigen Konzentrationsschwankungen mehr (vgl. Abbildung 12).

Grundlagen und Links

- [1] Liechi Paul 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe. Umwelt-Vollzug Nr. 1005. Bundesamt für Umwelt, Bern. 44 S.
- [16] Modul-Stufen-Konzept
<https://modul-stufen-konzept.ch/>

**Bewertung**

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht
- Keine Daten

Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

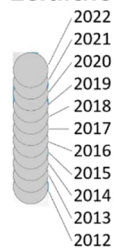
Zeitliche Entwicklung

Abbildung 12: Beurteilungen der Ammoniumkonzentrationen im Einzugsgebiet der Aare.

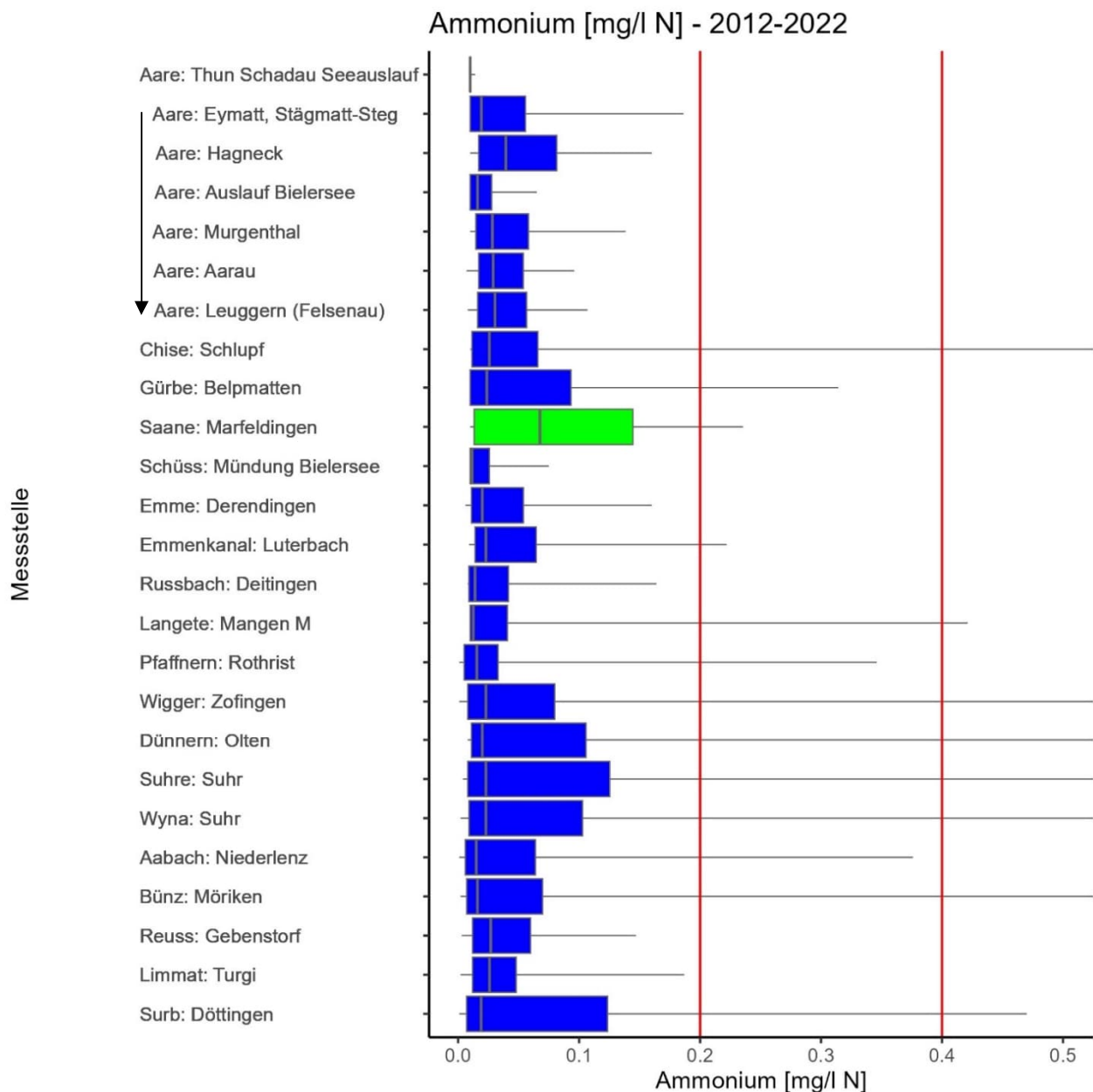
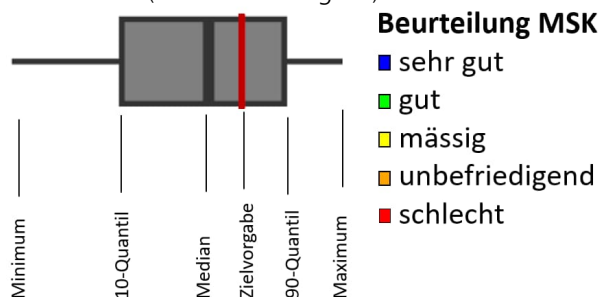


Abbildung 13: Boxplot der Ammoniumkonzentrationen über die Jahre 2012-2022. Farbgebung Balken entsprechend dem rechnerischen 90 % Quantil aller Stichproben.

Legende:

Die Anforderungen für Ammonium hängen vom pH und der Temperatur ab. Entsprechend gibt es zwei Grenzwerte (0.2 und 0.4 mg/l-N).



3.1.2 Nitrit

Erläuterungen Parameter

Nitrit (NO_2^-) ist stark fischgiftig, besonders für Salmoniden (Forellen- und lachsartige Fische). Nitrite sind ein Nebenprodukt bei der Nitrifikation (Umwandlung von Ammonium NH_4^+ zu Nitrat NO_3^-) oder unter anaeroben Bedingungen bei der Denitrifikation von Nitrat zum gasförmigen Lachgas (N_2O) oder Stickstoff (N_2). Nitrit entsteht vor allem durch eine ungenügende Abwasserreinigung. Die Toxizität des Nitrits hängt zudem von der Chlorid Konzentration ab. Je höher die Chlorid Konzentration, desto weniger wirkt Nitrit fischgiftig. Deshalb wird die Chlorid Konzentration zur Bewertung der Nitrit-Belastung miteinbezogen [1].

Beobachtungen

Die Aare wird bezüglich Nitrit durchgehend mit sehr gut oder gut bewertet. Bis zum Wohlensee ist die Aare mehrheitlich mit sehr gut bewertet, während sie nach dem Wohlensee mehrheitlich als gut bewertet wird.

Die meisten Zuflüsse haben eine sehr gute oder gute Bewertung. Jedoch weisen einige Gewässer einzelne Jahre mit mässiger oder unbefriedigender Bewertung auf. Eine Ausnahme bildet die Saane, welche praktisch durchgehend mässig oder unbefriedigend bewertet wird.

Interpretationen

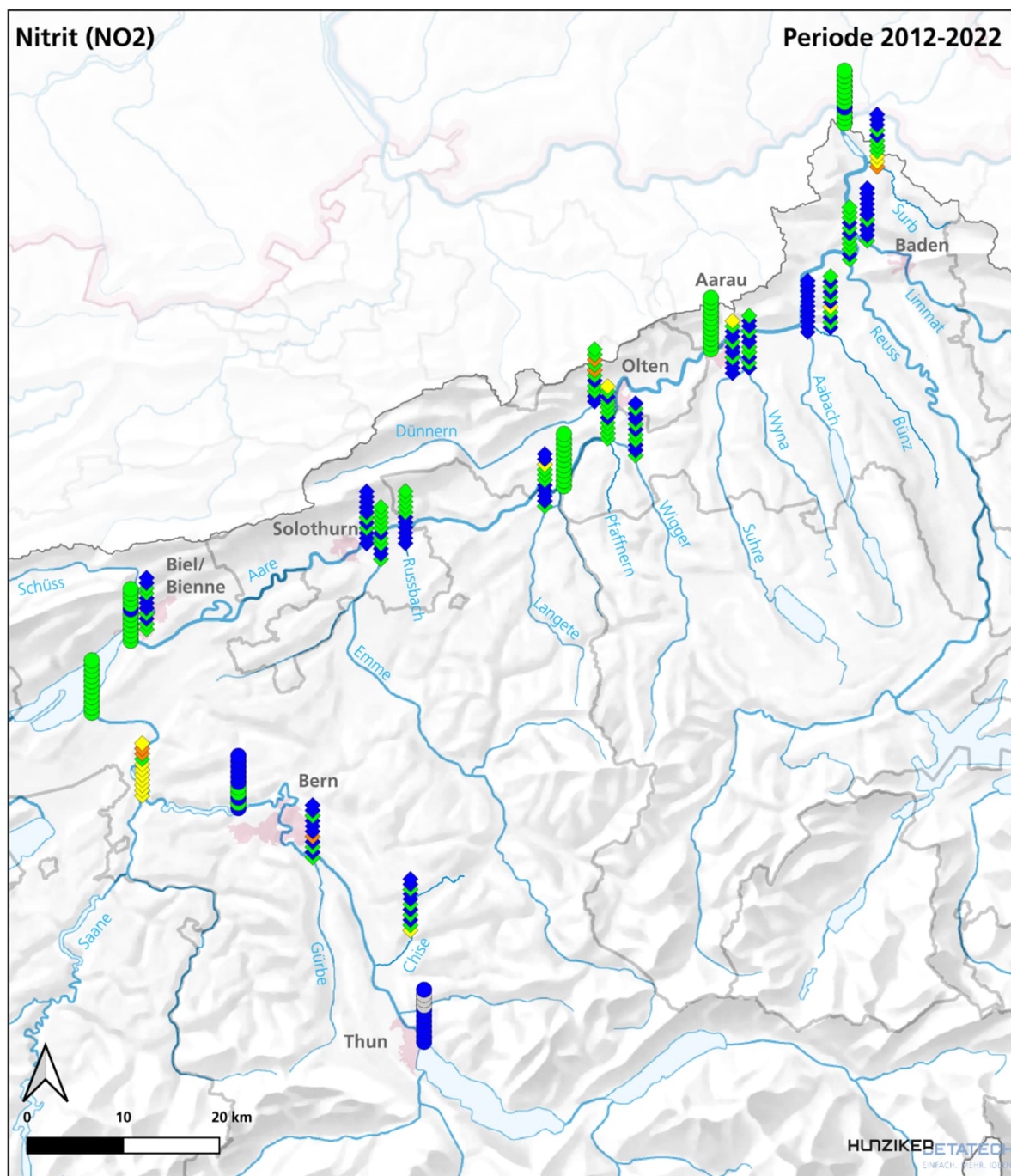
Nitrit ist aufgrund seiner Fischtoxizität besonders kritisch. Die Aare befindet sich diesbezüglich zwar in einem guten Zustand, jedoch werden einige Zuflüsse mässig oder sogar unbefriedigend bewertet. Die Saane weist oft mässige oder unbefriedigende Bewertungen auf. Allerdings entsteht bei der Saane das Nitrit durch einen biologischen Prozess im Schiffenensee (mündlich Rico Ryser Fachbereichsleiter Gewässer- und Bodenschutzlabor, Kanton Bern) und wird nicht durch die Abwasserreinigung eingeleitet.

Bei der Langete führten Entlastungen von ungereinigtem Abwasser aus der Siedlungsentwässerung 2020 zu einer Überschreitung der Grenzwerte der GSchV [26]. Die Entlastungen wurden durch Regenereignisse kurz vor der Probenahme verursacht. In den letzten Jahren erfüllte ebenfalls die Dünern (2018 und 2020), sowie die Pfaffern und Suhre im 2022 die Grenzwerte gemäss GSchV nicht.

Bei der Chise, Gürbe und Surb ist es seit mindestens 6 Jahren nicht mehr zu einer Überschreitung der Grenzwerte in der GSchV gekommen. Die Probleme können bei diesen Fliessgewässern als überwunden betrachtet werden.

Grundlagen und Links

- [16] Modul-Stufen-Konzept
<https://modul-stufen-konzept.ch/>
- [26] Kanton Bern, Berichte Gewässerqualität
 - [Zustand Fliessgewässer: Region Sense-Aaretal](#)
 - [Zustand Fliessgewässer: Region Oberargau-Emmental](#)



Hintergrund: Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Bundesamt für Umwelt BAFU

1449.20 Aarebericht, sle/wal, 2024-03-06

Bewertung

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht
- Keine Daten

Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

Zeitliche Entwicklung

- 2022
- 2021
- 2020
- 2019
- 2018
- 2017
- 2016
- 2015
- 2014
- 2013
- 2012

Abbildung 14: Beurteilungen der Nitritkonzentrationen im Einzugsgebiet der Aare.

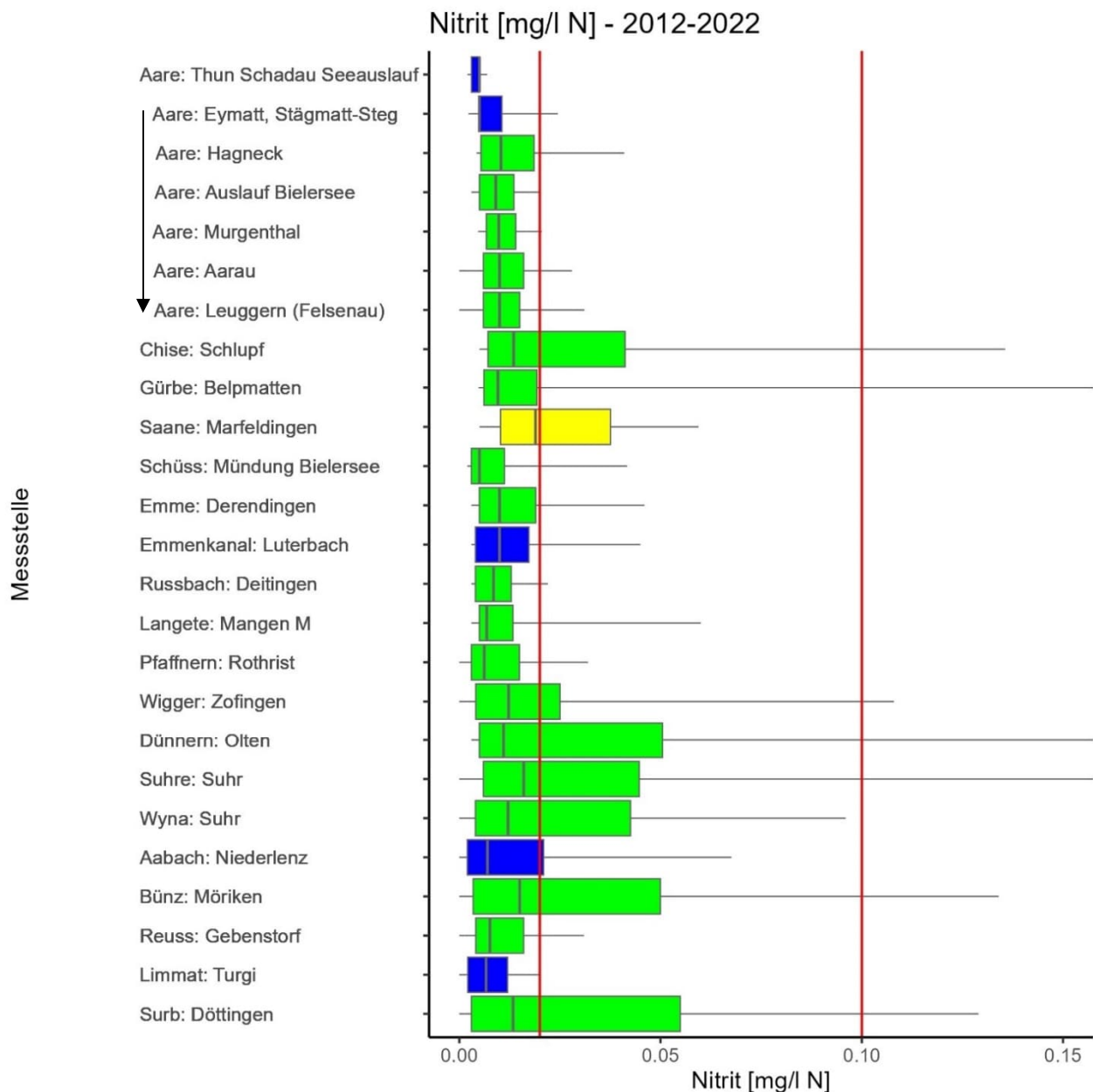
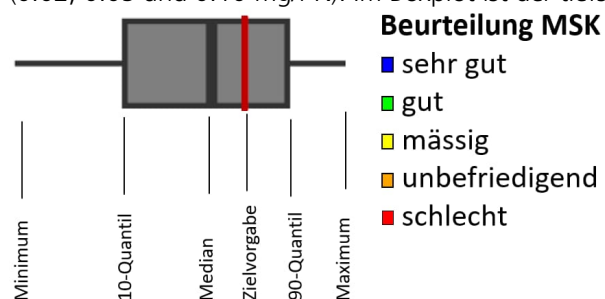


Abbildung 15: Boxplot der Nitritkonzentrationen über die Jahre 2012-2022. Farbgebung Balken entsprechend dem rechnerischen 90 % Quantil aller Stichproben.

Legende:

Die Anforderungen für Nitrit hängen von der Chloridkonzentration ab. Entsprechend gibt es drei Grenzwerte (0.02, 0.05 und 0.10 mg/l-N). Im Boxplot ist der tiefste und höchste Grenzwert eingezeichnet.



3.1.3 Nitrat

Erläuterungen Parameter

Stickstoff ist ein wichtiger Nährstoff für Wasserorganismen, wobei der grösste Teil des anorganischen Stickstoffs in Form von Nitrat vorliegt. Pflanzen nehmen Stickstoff vor allem über Nitrat auf. In Schweizer Fliessgewässern ist Nitrat nur selten ein limitierender Faktor. Allerdings ist Nitrat in der Nordsee, wo die Aare via Rhein schlussendlich mündet, ein limitierender Faktor. Nitrat kann in Fliessgewässern und Seen zu negativen Auswirkungen führen, wenn Konzentrationen $> 10 \text{ mg/L N}$ vorliegen. Das Modul-Stufen-Konzept übernimmt den Grenzwert aus der Trinkwassergesetzgebung von 5.6 mg/L N . Nitratgehalte grösser als 1.5 mg/L N lassen sich jedoch bereits auf Abschwemmungen und Auswaschungen von landwirtschaftlich genutzten Flächen oder auf Einleitung von Abwässern schliessen. Die natürliche Belastung der Fliessgewässer liegt unterhalb von 1 mg/L N . Deshalb wird der Grenzwert von sehr gut zu gut im Modul-Stufen-Konzept auf 1.5 mg/L N gesetzt, was tiefer liegt als die proportionale Bewertung (50% des Grenzwertes), welche üblicherweise verwendet wird [1].

Beobachtungen

Die Aare wird bezüglich Nitrat durchgehend mit sehr gut oder gut bewertet. Unterhalb der Seen sind die Bewertungen mit wenigen Ausnahmen sehr gut, weiter flussabwärts ist die Bewertung mehrheitlich gut.

Die Zuflüsse zur Aare sind meistens gut, im Einzugsgebiet unterhalb von Olten werden die Seitengewässer teilweise auch mit mässig oder unbefriedigend bewertet. Besonders die Wyna, Bünz und Surb weisen viele Überschreitungen des Grenzwerts gemäss GSchV auf.

Interpretationen

Nitrat per se führt nicht zu schädlichen Auswirkungen auf die Gewässerorganismen. Allerdings ist es ein Indikator für Abschwemmungen aus landwirtschaftlichen Flächen oder Einleitungen von kommunalen Abwässern. Es ist eine Verschlechterung durch anthropogene Einflüsse von oben nach unten sichtbar, welche durch die grossen Seen unterbrochen wird. Die Aare erfüllt dabei die Grenzwerte aus der GSchV durchgehend. Direkt unterhalb von Thuner- und Bielersee weist die Aare sehr gute Nitrat-Bewertungen auf, flussabwärts reduziert sich die Bewertung auf überwiegend gute Beurteilungen.

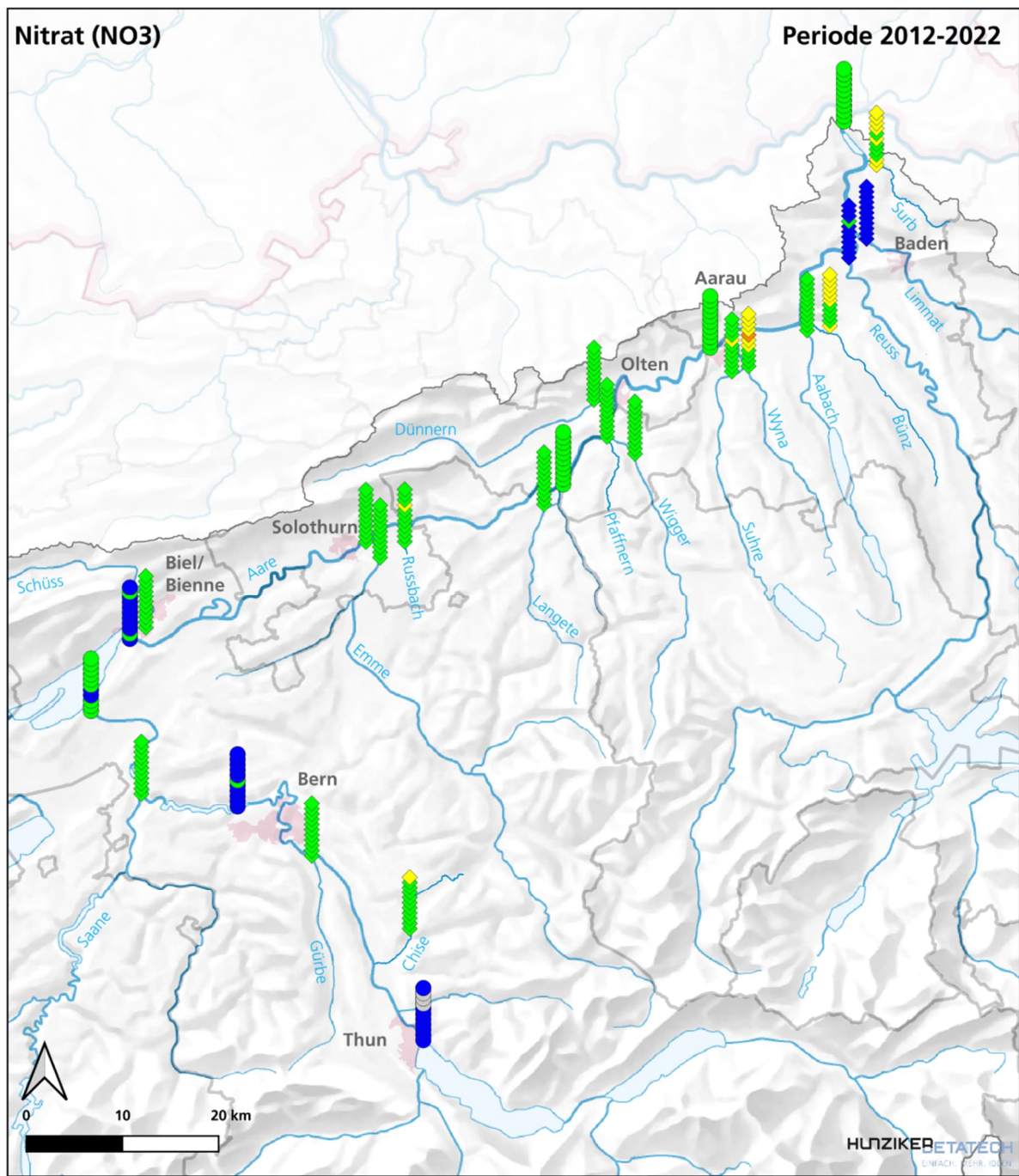
Stärker belastet sind die mittelgrossen Zuflüsse aus dem Mittelland. Diese fliessen durch Gebiete mit intensiver Landwirtschaft und hoher Bevölkerungsdichte. Hier ist der anthropogene Einfluss durch die Siedlungsdichte und intensive Landwirtschaft deutlich sichtbar. Die Chise ist stark durch die milchverarbeitende Industrie geprägt. Die ARA Oberes Kiesental kann dies nicht vollständig abbauen. Durch die stetig steigenden Produktionsmengen aus der Industrie liessen sich die Grenzwerte aus der GSchV im Jahr 2022 nicht einhalten [26]. Im Moment sind Abklärungen für ein Zusammenschluss der ARA Oberes Kiesental mit der ARA Worblental am laufen; es liegt eine Machbarkeitsstudie vor.

Die Wyna hat ein ungünstiges Verdünnungsverhältnis mit dem gereinigten Abwasser (siehe Abbildung 6), was zu höheren Nährstoffkonzentrationen führt.

Die erhöhten Konzentrationen in der Bünz dürften auf Abschwemmungen von intensiv genutzten landwirtschaftlichen Nutzflächen wie auch durch das gereinigte Abwasser von 3 ARA zurückzuführen sein.

Grundlagen und Links

- [16] Modul-Stufen-Konzept
<https://modul-stufen-konzept.ch/>
- [26] Kanton Bern, Berichte Gewässerqualität
[Zustand Fliessgewässer: Region Sense-Aaretal](#)

**Bewertung**

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht
- Keine Daten

Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

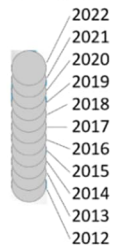
Zeitliche Entwicklung

Abbildung 16: Beurteilungen der Nitratkonzentrationen im Einzugsgebiet der Aare.

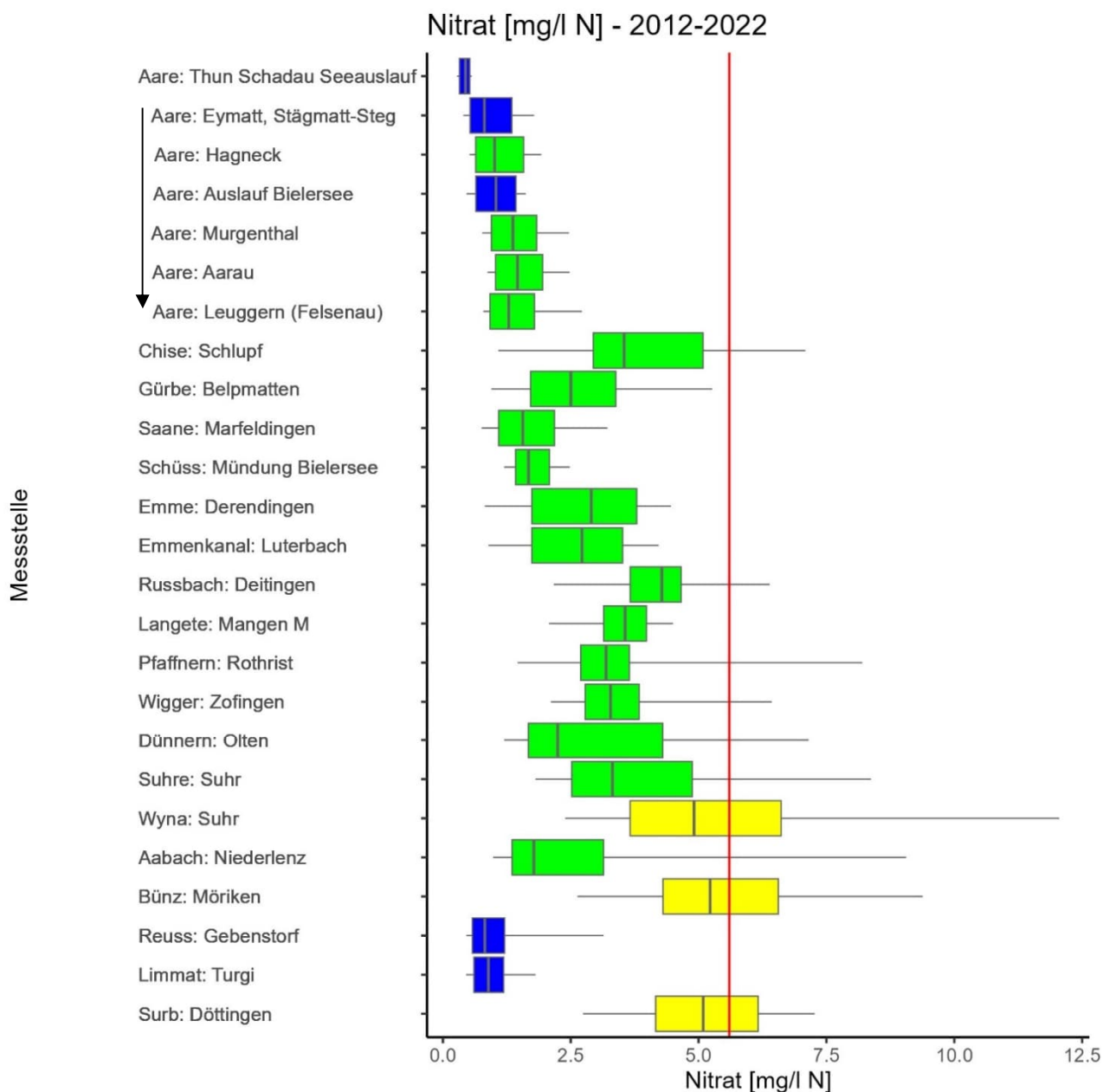
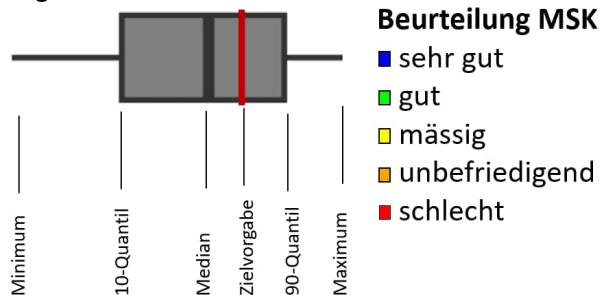


Abbildung 17: Boxplot der Nitratkonzentrationen über die Jahre 2012-2022. Farbgebung Balken entsprechend dem rechnerischen 90 % Quantil aller Stichproben.

Legende:



3.1.4 Gesamtstickstoff

Erläuterungen Parameter

Der Gesamtstickstoff bezeichnet die Summe aller Stickstoff-Parameter; es werden dabei sowohl organische wie partikuläre (in Biomasse fixierte) Stickstoffanteile erfasst. Der Gesamtstickstoff wird als Ergänzung oder Ersatz für Nitrat gemessen, welches oft den höchsten Anteil am Gesamtstickstoff hat. Die Gewässerschutzverordnung gibt keinen Grenzwert für den Gesamtstickstoff vor. Im Modul-Stufen-Konzept wird ein Grenzwert von 7 mg/L N vorgeschlagen, wobei ein rein ökologisch begründeter Wert (d.h. die natürliche Vorbelastung, siehe auch für Nitrat Kapitel 3.1.3) tiefer liegen würde (3-4 mg/L N). Deshalb wird die Klassengrenze von sehr gut zu gut auf 2 mg/L N gesetzt, was tiefer liegt als die proportionale Bewertung [1].

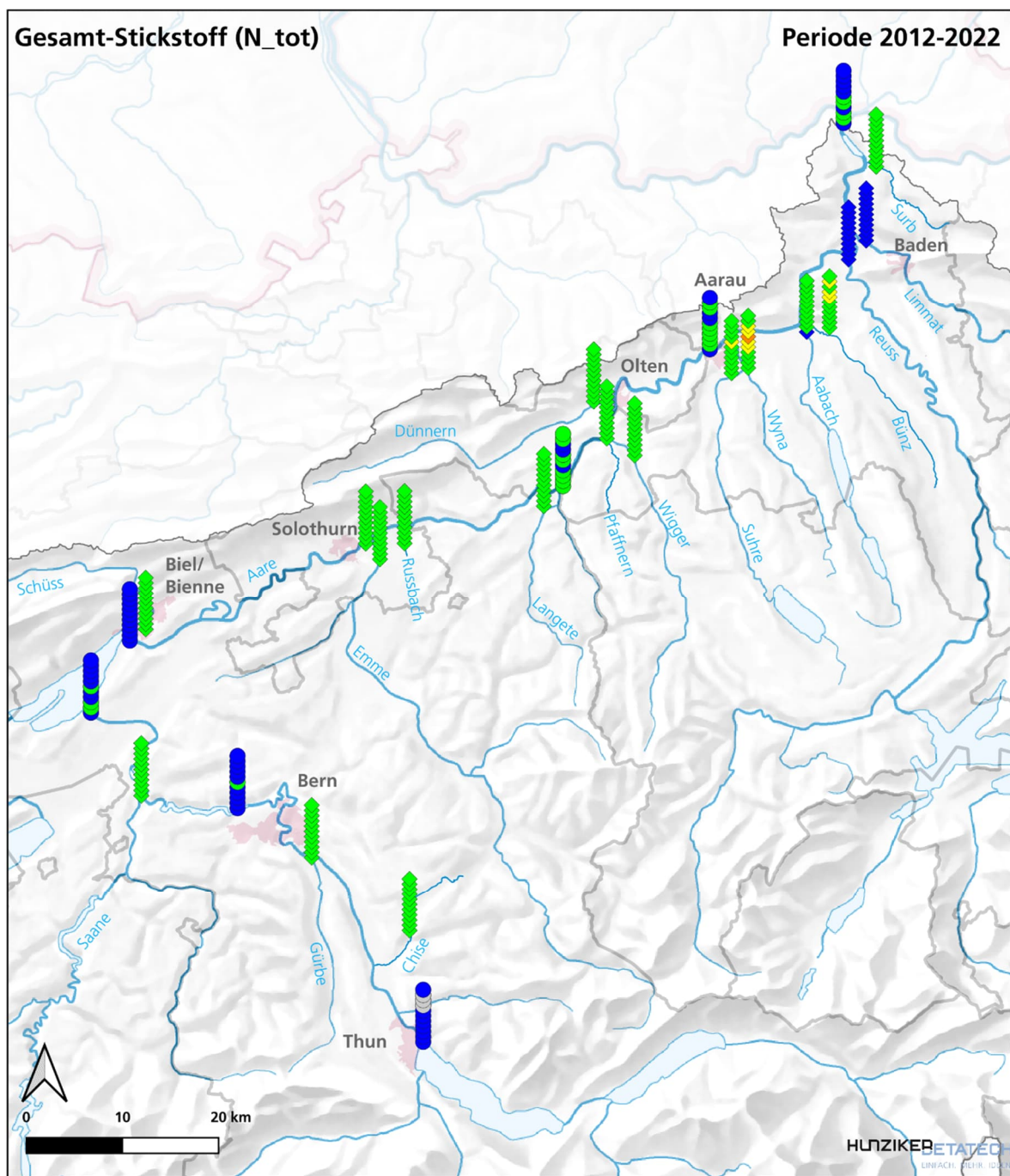
Beobachtungen

Die Aare wird durchgehend sehr gut oder gut bewertet. Es ist dabei kein Trend in Fließrichtung sichtbar. Die Zuflüsse sind meistens gut bewertet. Nur im Einzugsgebiet unterhalb von Olten gibt es auch einzelne Gewässer mit mässigen oder unbefriedigenden Bewertungen.

Interpretationen

Beim Gesamtstickstoff zeigt sich ein sehr ähnliches Bild wie für Nitrat, allerdings ist die Belastung weniger deutlich ersichtlich. Es ist eine Belastung aus Gebieten mit grosser Bevölkerungsdichte und intensiver Landwirtschaft sichtbar.

Die Schweizer Oberflächengewässer sind nicht durch Stickstoff limitiert, wodurch ein erhöhter Stickstoffeintrag nicht problematisch ist. Jedoch ist die Nordsee durch Stickstoff limitiert, weshalb die Stickstofffrachten im Einzugsgebiet des Rheins, wobei die Aare der grösste Schweizer Zufluss ist, doch relevant sind. Insgesamt exportiert die Schweiz zu viel Stickstoff in die Nordsee.



Bewertung

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht
- Keine Daten

Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

Zeitliche Entwicklung

- 2022
- 2021
- 2020
- 2019
- 2018
- 2017
- 2016
- 2015
- 2014
- 2013
- 2012

Abbildung 18: Beurteilungen der Gesamtstickstoffkonzentrationen im Einzugsgebiet der Aare.

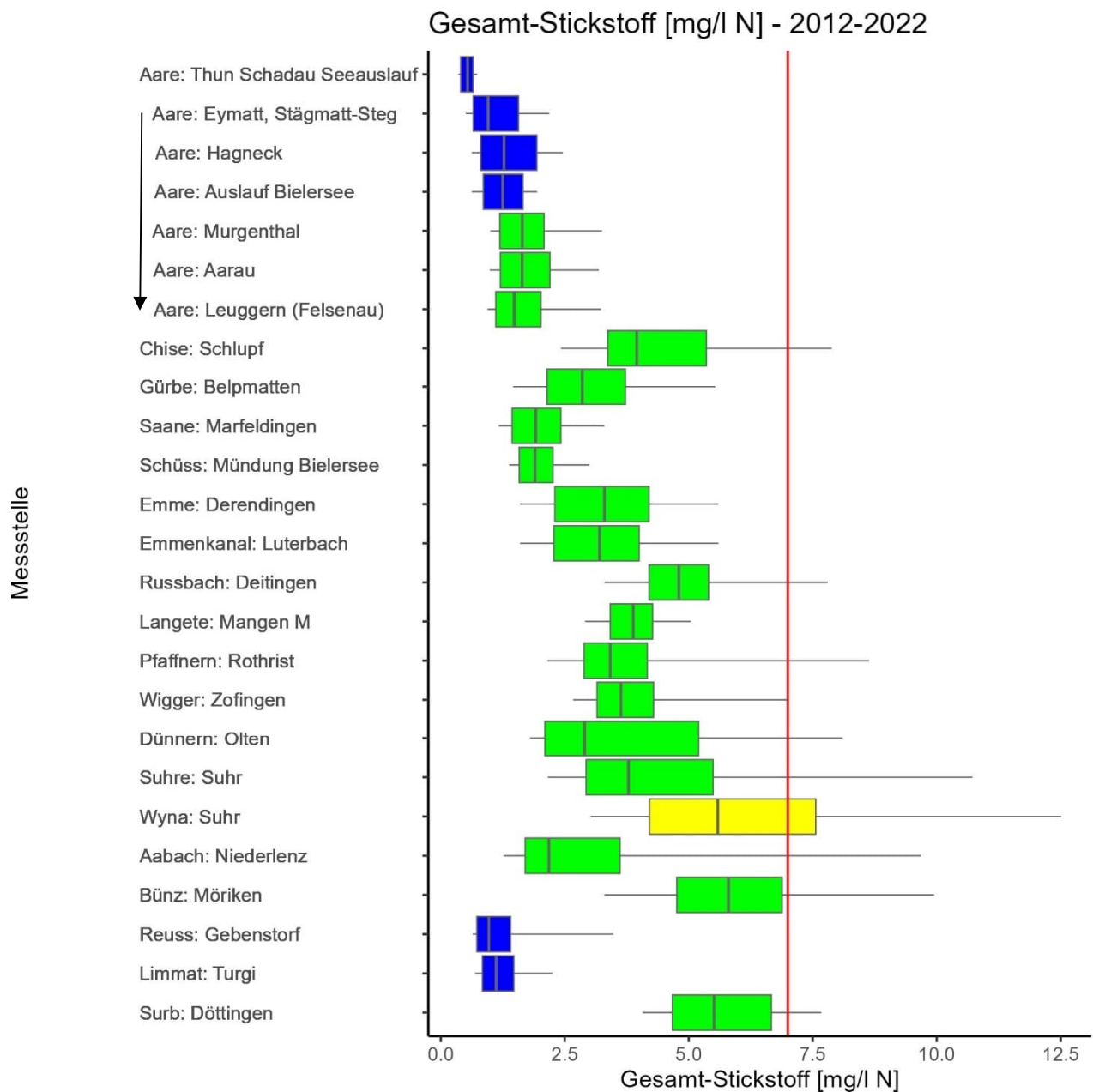
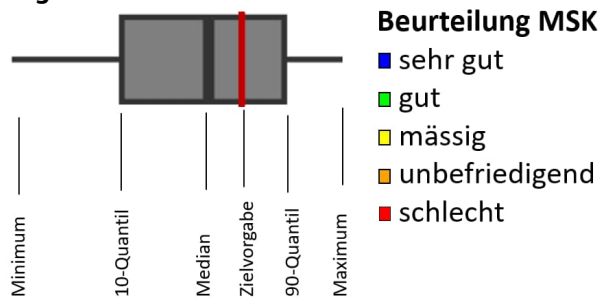


Abbildung 19: Boxplot der Gesamtstickstoffkonzentrationen über die Jahre 2012-2022. Farbgebung Balken entsprechend dem rechnerischen 90 % Quantil aller Stichproben.

Legende:





3.1.5 Gesamtphosphor

Erläuterungen Parameter

Phosphor gelangt aus der Landwirtschaft oder über Abwassereinleitungen und Regenüberläufe in die Gewässer. In natürlichen Gewässern kommt Phosphor nur in geringen Mengen vor. Vor allem Seen sind Phosphor-limitiert und zusätzlicher Phosphoreintrag begünstigt das Pflanzenwachstum. Fliessgewässer werden kaum durch eine hohe Phosphorkonzentration beeinträchtigt, nur in sehr langsam fliessenden Abschnitten (z.B. Stauseen) werden die Gewässer negativ beeinflusst. In Fliessgewässern dient Phosphor deshalb vor allem als Indikator für die anthropogene Belastung. Die Zielvorgabe des Modul-Stufen-Konzepts liegt bei 0.07 mg/L P [1].

Beobachtungen

Die Aare wird bis auf eine Ausnahme als sehr gut oder gut bezüglich Gesamtphosphor bewertet. Nur im Jahr 2015 war die Bewertung in Murgenthal unbefriedigend. Mit den Boxplots (siehe Abbildung 21) kann der Trend in Fliessrichtung gut identifiziert werden. Die Aare wird vor dem Bielersee durchgehend als sehr gut bewertet und hat bei seinem Ausfluss eine sehr kleine Phosphorkonzentration. Diese nimmt anschliessend im weiteren Flussverlauf rasch zu, wird aber bis zur Mündung als gut bewertet.

Die Zuflüsse weisen Bewertungen über alle Zustandsklassen von sehr gut bis schlecht auf. Die grossen Zuflüsse Reuss und Limmat weisen sehr gute bis mässige Bewertungen auf. Alle anderen Fliessgewässer weisen auch unbefriedigende oder schlechte Bewertungen auf. In gewissen Fliessgewässern (Suhre, Wyna, Bünz und Surb) wurde die GSchV für kein Jahr eingehalten. Über alle Jahre betrachtet sind besonders die Emme, Dünern, Suhre und Wyna stark belastet (siehe Boxplot, Abbildung 21).

Interpretationen

Die Aare und die grossen Zuflüsse Reuss und Limmat befinden sich in einem guten Zustand bezüglich des Parameters Gesamtphosphor, ebenso wie die Saane und Schüss, welche mehrheitlich gut bewertet werden.

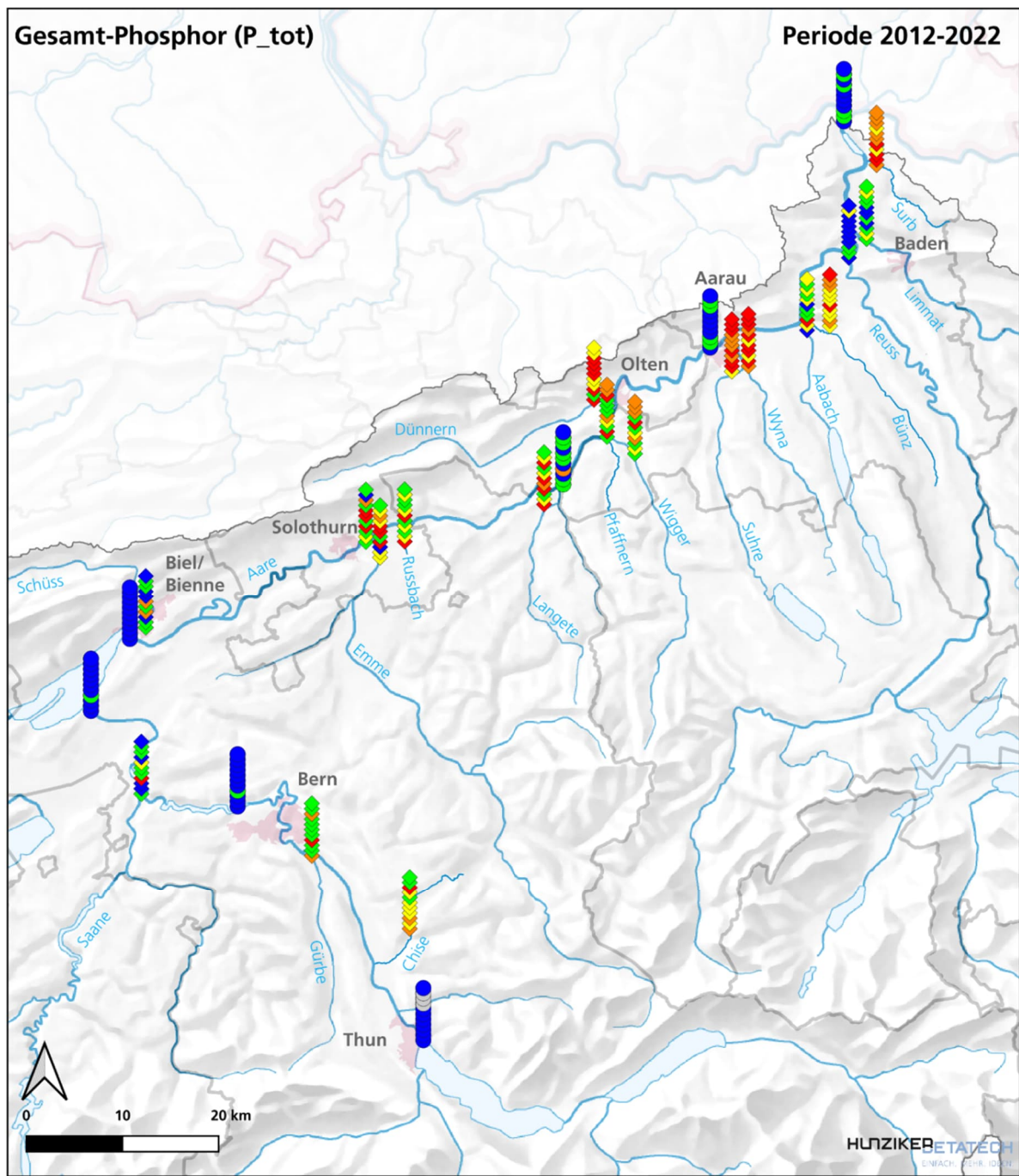
Bei allen übrigen Zuflüssen ist eine grosse Belastung sichtbar. Diese kommt wahrscheinlich sowohl aus der Landwirtschaft wie auch aus der Siedlungsentwässerung und den ARA. Da der Gesamtphosphor auch den partikulären Phosphor umfasst, hat die starke Belastung nicht direkte Auswirkungen auf Wasserlebewesen. Hohe Gesamtphosphor-Konzentrationen weisen vor allem auf einen starken anthropogenen Einfluss auf das Gewässer hin und sind somit Indikator für erhöhte menschliche Aktivitäten (Siedlungsdichte, Landwirtschaft oder Industrie).

Der Parameter Gesamtphosphor ist auch stark abhängig von den meteorologischen Verhältnissen. Niederschläge führen zu anspringenden Regenentlastungen aus der Siedlungsentwässerung und zu Bodenerosion, welche die Gesamtphosphorkonzentrationen erhöht. Für die Messstelle an der Langete führten so z.B. Regenereignisse zu den erhöhten Phosphor-Konzentrationen [26].

Grundlagen und Links

[16] Modul-Stufen-Konzept
<https://modul-stufen-konzept.ch/>

[26] Kanton Bern, Berichte Gewässerqualität
[Zustand Fliessgewässer: Region Oberargau-Emmental](#)

**Bewertung**

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht
- Keine Daten

Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

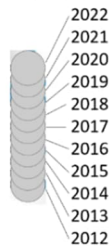
Zeitliche Entwicklung

Abbildung 20: Beurteilungen der Gesamtposphorkonzentrationen im Einzugsgebiet der Aare.

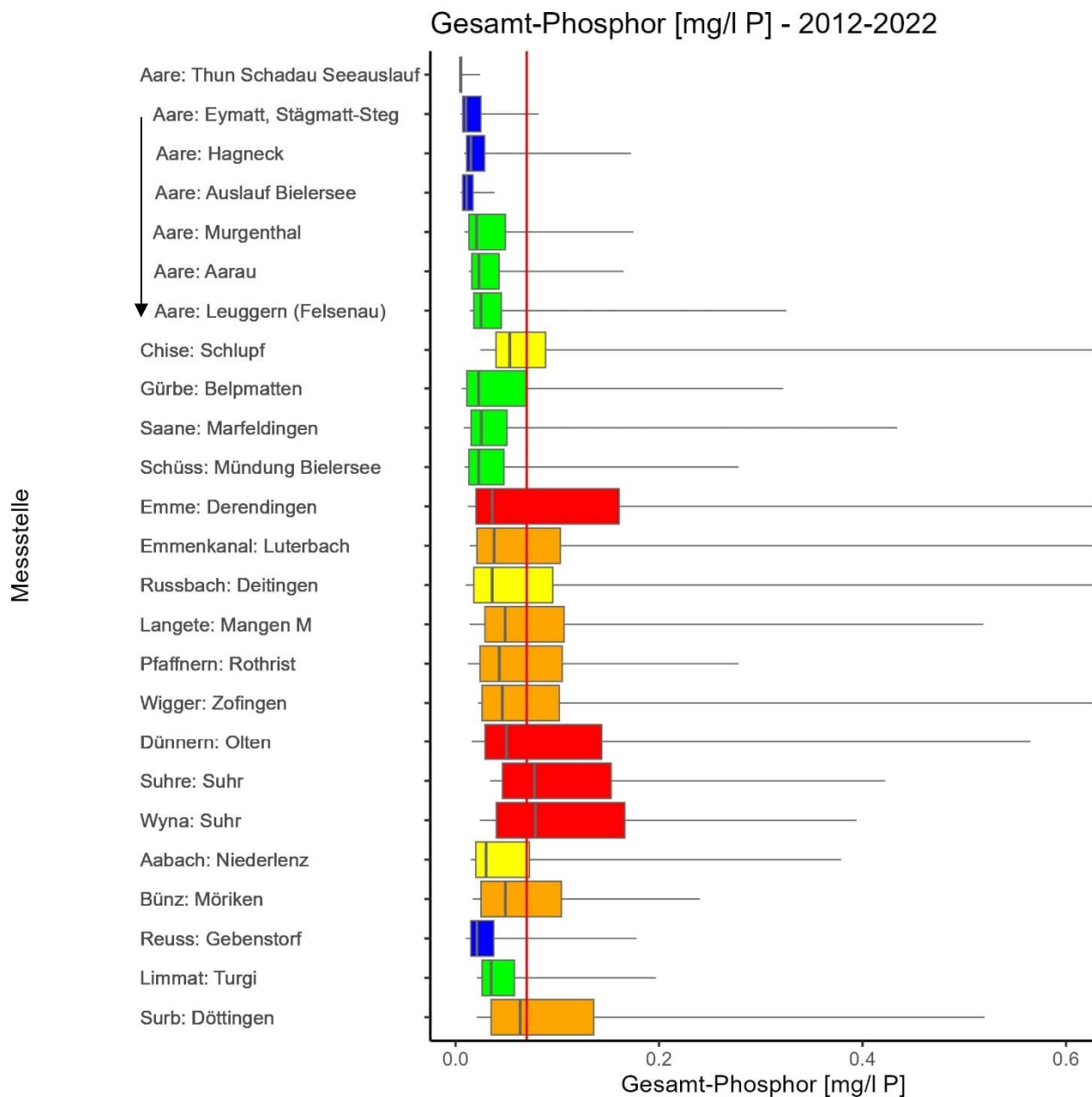
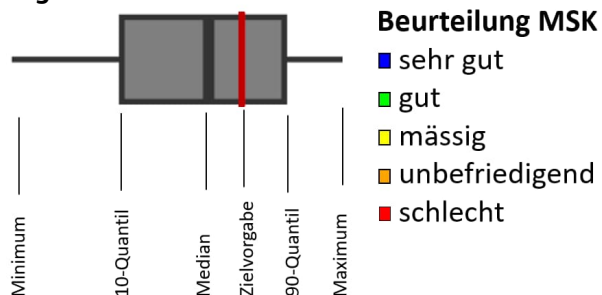


Abbildung 21: Boxplot der Gesamtposphorkonzentrationen über die Jahre 2012-2022. Farbgebung Balken entsprechend dem rechnerischen 90 % Quantil aller Stichproben.

Legende:



3.1.6 Ortho-Phosphat

Erläuterungen Parameter

Orthophosphat (PO_4^{3-}) ist für Pflanzen eine physiologisch direkt wirksame Phosphorkomponente. Da Phosphor in Fließgewässern in der Regel nicht limitierend wirkt, ist ein erhöhter Orthophosphatgehalt meist ein Indikator für anthropogene Belastung eines Fließgewässers. Orthophosphat stammt aus der Abwasserreinigung, aus Entlastungen der Siedlungsentwässerung, aus Abschwemmung und Auswaschung von landwirtschaftlich genutzten Flächen oder von biochemischem Abbau organischen Materials. Relevant bei Einleitungen von gereinigtem Abwasser ist in der Regel ebenfalls das Verdünnungsverhältnis. Wenn dieses beispielsweise im Gewässer nur 1:10 beträgt, kann es vorkommen, dass die Orthophosphatkonzentration die Zielvorgabe überschreitet, obwohl die betreffende Abwasserreinigungsanlage die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung einhält. Die Zielvorgabe des Modul-Stufen-Konzeptes liegt bei 0.04 mg/L P, wobei es gemäss Gewässerschutzverordnung keine numerischen gesetzlichen Anforderungen gibt. [1]

Beobachtungen

Die Aare wird durchgehend sehr gut oder gut bezüglich Orthophosphat bewertet. In den Boxplots (Abbildung 23) ist eine Zunahme in Fließrichtung, unterbrochen vom Bielersee, zu beobachten.

Die Zuflüsse weisen Bewertungen über alle Zustandsklassen von sehr gut bis schlecht auf. Dabei erfüllen die Gürbe, Saane, Schüss, Emme und Emmenkanal, sowie die Reuss die Zielvorgaben des Modul-Stufen-Konzept über alle Jahre. Die Limmat weist nur eine Überschreitung im Jahr 2021 auf, während es in den übrigen Seitenbächen regelmässig zu Überschreitungen der Zielvorgaben kommt.

Interpretationen

Der Russbach, Aabach und die Limmat sind mehrheitlich in einem guten Zustand, aber nicht durchgehend. Da die mässigen Bewertungen in den Jahren 2021-2022 aufgetreten sind, ist die Belastung erst neulich entstanden. Es ist wichtig, den zukünftigen Trend im Auge zu behalten.

Bei den übrigen Zuflüssen ist eine anthropogene Belastung deutlich sichtbar, welche im Einzugsgebiet unterhalb von Olten noch zunimmt. Dies ist nicht erstaunlich, da es sich um dicht besiedeltes Gebiet mit intensiver Landwirtschaft handelt. Der Aabach wird allerdings als «gut» bewertet. Dieser entspringt dem Hallwilersee und wird auf der kurzen Fließstrecke nur wenig beeinträchtigt. Der See wirkt dabei als Senke für die Phosphateinträge, weshalb der Aabach beim Auslauf des Sees aufgrund des fortschreitenden Sanierungsverlaufs eine tiefe Phosphatkonzentration hat. In den Boxplots ist zudem gut ersichtlich, wie die Belastung im Einzugsgebiet von oben gegen unten zunimmt und nur die grossen Fließgewässer eine gute Wasserqualität in Bezug auf Orthophosphat aufweisen (da die Belastung stärker verdünnt ist, fallen die Auswirkungen geringer aus). Es fällt zudem die Chise auf, welche vereinzelt sehr hohe Werte aufweist. Hier könnte die ARA Oberes Kiental ein Grund für die erhöhten Belastungen sein.

In der Bünz und der Surb sind die erhöhten Phosphatwerte wahrscheinlich den ARA zuzuordnen (ARA Muri Bünzen und Hendschicken respektive ARA Oberes Surbtal) [14]. Besonders eine schlechte Verdünnung in trockenen Jahren oder im Sommer erhöht das Risiko erhöhter Phosphat-Einträge. Ebenfalls führen starke Niederschläge durch Entlastungen aus der Siedlungsentwässerung und Abschwemmungen zu erhöhten Phosphatkonzentrationen (siehe Kapitel 3.1.5).

Grundlagen und Links

[16] Modul-Stufen-Konzept
<https://modul-stufen-konzept.ch/>

[26] Kanton Bern, Berichte Gewässerqualität
[Zustand Fließgewässer: Region Seeland-Berner Jura](#)

[14] Hunziker Betatech AG 2024: Monitoring Bünztal 2017 – 2022 (im Entwurf). Darstellung und Interpretation der Wasserqualitätsmessungen und Belastungsquellen

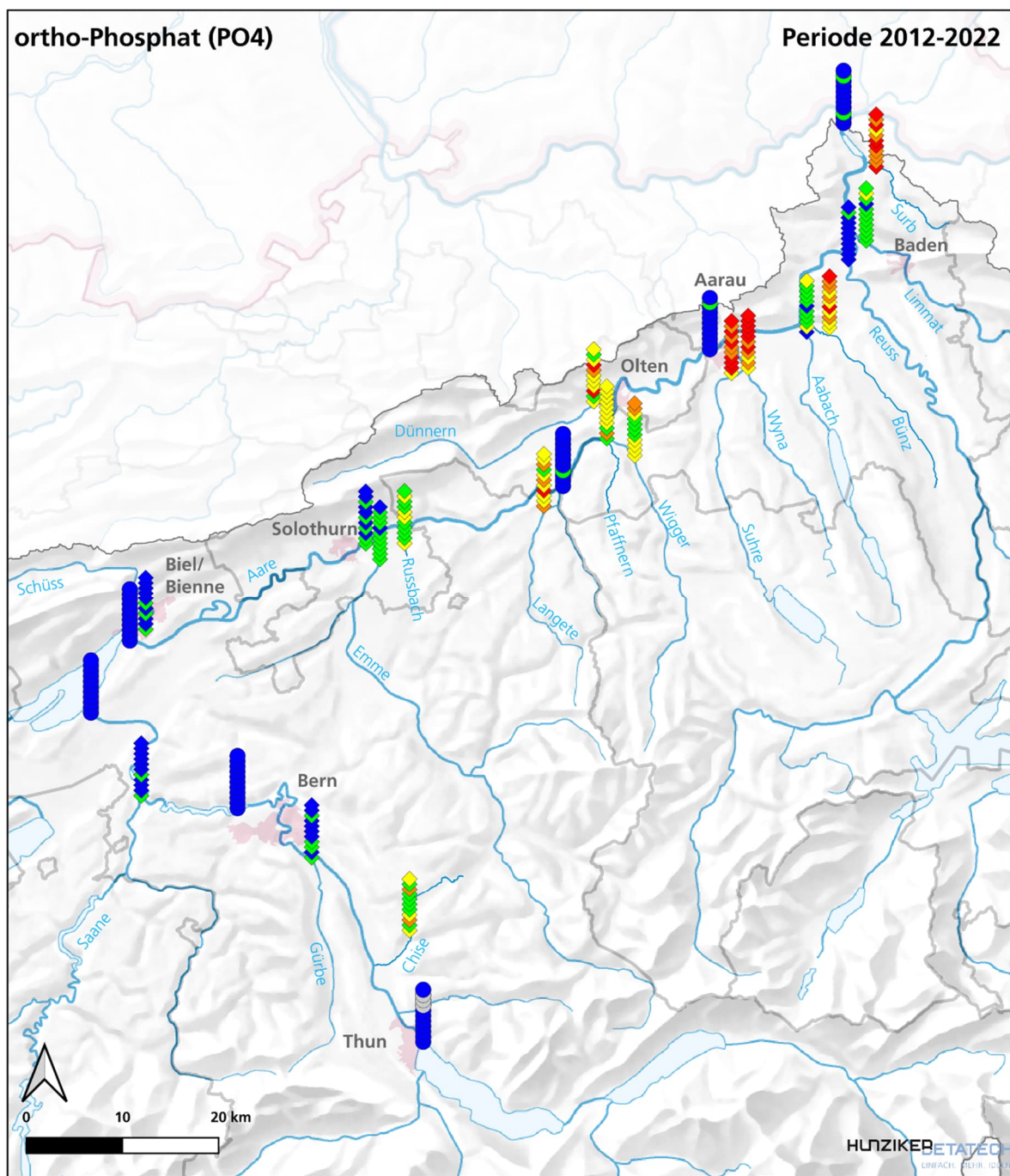


Abbildung 22: Beurteilungen der Phosphatkonzentrationen im Einzugsgebiet der Aare.

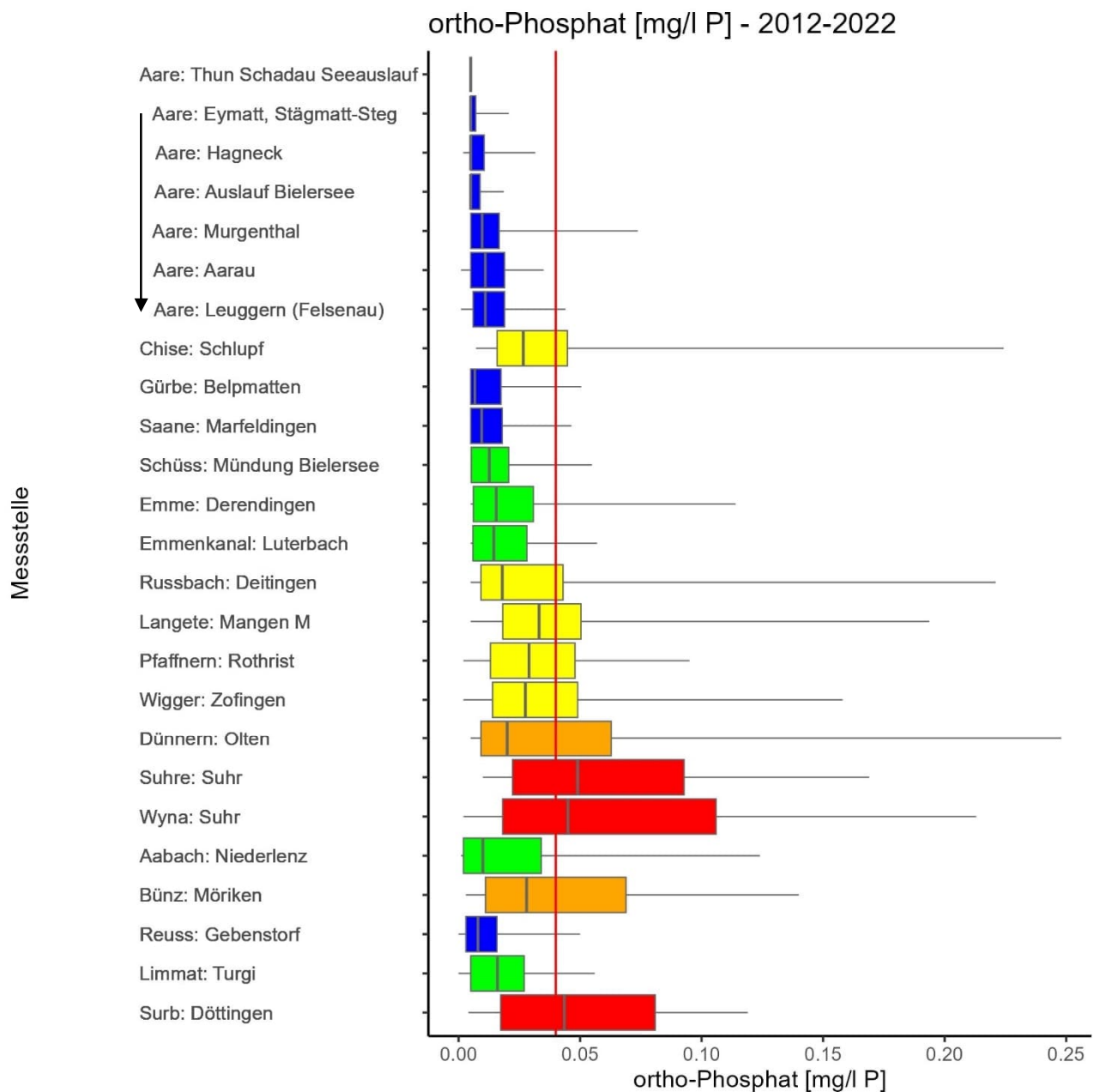
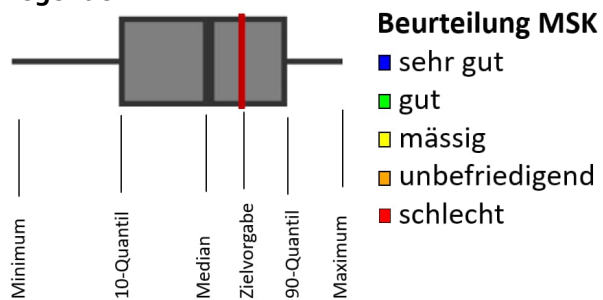


Abbildung 23: Boxplot der Phosphatkonzentrationen über die Jahre 2012-2022. Farbgebung Balken entsprechend dem rechnerischen 90 % Quantil aller Stichproben.

Legende:





3.1.7 Gelöster Organischer Kohlenstoff (DOC)

Erläuterungen Parameter

Der gelöste organische Kohlenstoff (DOC= dissolved organic carbon) kann ein Indikator für die anthropogene Belastung eines Gewässers sein, kann aber auch auf natürliche Weise auftreten, wie z.B. im Abfluss von eutrophen Seen oder von Mooren. Zudem ist der DOC-Gehalt im Herbst grösser durch den Abbau des abfallenden Laubes. Die Gewässerschutzverordnung nimmt deshalb nicht einen fixen Grenzwert an, sondern einen variablen Bereich von 1 bis 4 mg/L C. Für die Aare wird ein Grenzwert von 2 mg/L C verwendet, für die relevanten Zuflüsse zwischen 2-4 mg/L C gemäss Tabelle im Anhang 1. Die Bestimmung des natürlichen DOC ist insofern relevant, da der anthropogene DOC in der Regel leichter abbaubar ist und zu einer Zunahme des Bewuchses führt [1].

Beobachtungen

Die Aare wird bis und mit Auslauf Bielersee sehr gut oder gut bezüglich DOC bewertet. Weiter unterhalb ist sie gut bis mässig bewertet.

Die Zuflüsse weisen Bewertungen über alle Zustandsklassen von sehr gut bis schlecht auf. Die Zuflüsse Saane, Schüss und Limmat halten die GSchV durchgehend ein. Alle übrigen Seitengewässern weisen regelmässige Überschreitungen der Grenzwerte gemäss GSchV auf.

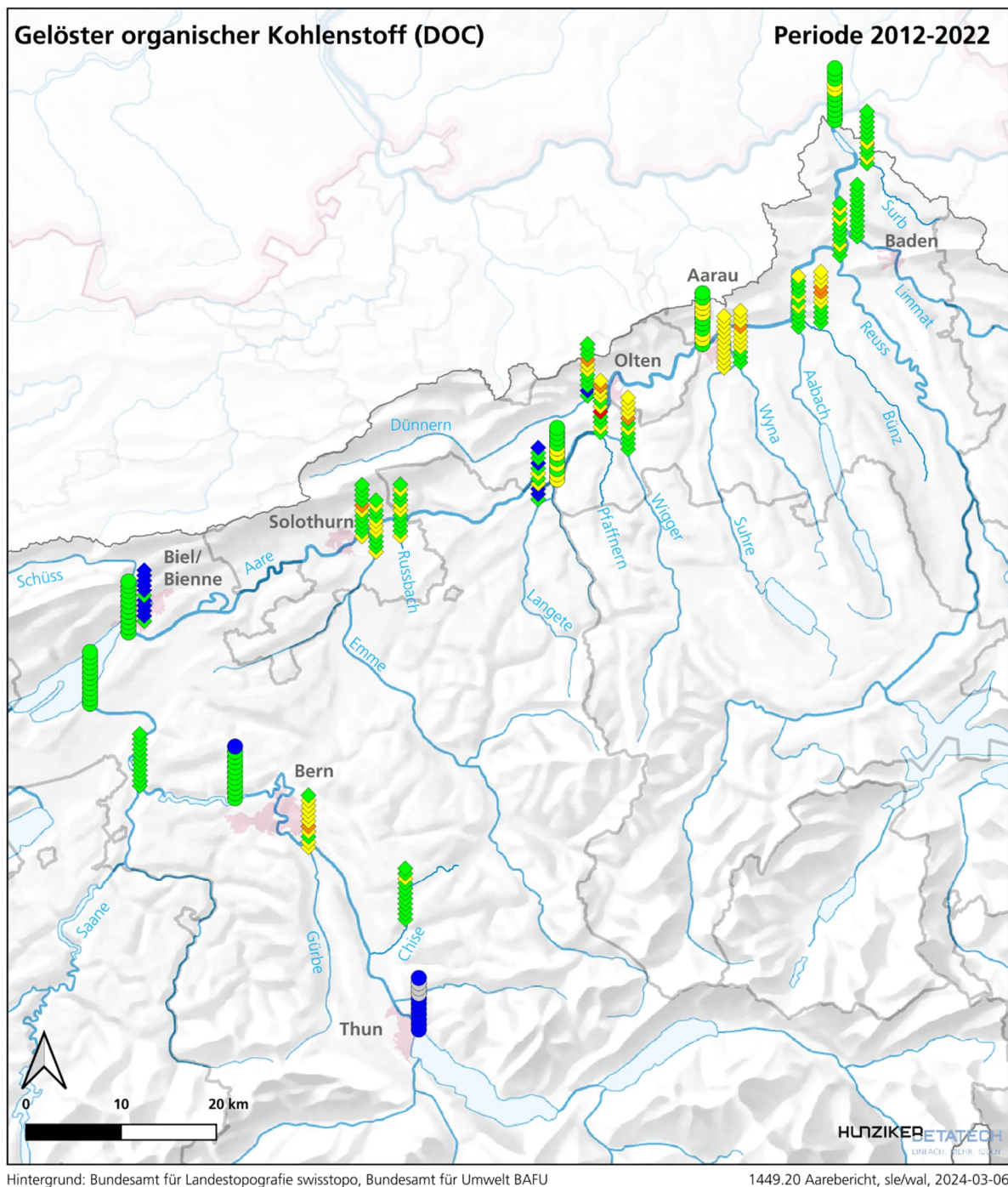
Interpretationen

Es zeigt sich eine im Einzugsgebiet flussabwärts ansteigende Belastung, sowohl bei der Aare wie auch bei den Zuflüssen. Die erste Messstelle im Flussverlauf der Aare, wo die Grenzwerte nicht immer eingehalten wurden, ist jene in Murgenthal (AG). Die kontinuierliche Zunahme der DOC-Konzentrationen im Flussverlauf der Aare ist deutlich im Box-Plot (Abbildung 25) erkennbar. Viele Zuflüsse werden zwischen gut bis mässig bewertet, wobei auch eine natürliche Belastung nicht vollständig ausgeschlossen werden kann. Genaue Verschmutzungsquellen lassen sich nicht mit diesem Parameter bestimmen, trotzdem kann eine Verschlechterung flussabwärts beobachtet werden, wo der Siedlungsdruck und die Landwirtschaft intensiver werden.

Bei Betrachtung längerer Zeitreihen z.B. über die letzten 40 Jahre, kann in der Aare eine starke Verbesserung des Parameters beobachtet werden. Zwischen 1982-1992 war die Aare bei Murgenthal mässig bis schlecht bewertet, über die Jahre verbesserte sich die Wasserqualität stetig. Einen bedeutenden Einfluss hatte dabei die Schliessung der Zellulosefabrik in Attisholz (SO) im Jahr 2006. In den letzten 10 Jahren ist die Wasserqualität bezüglich DOC mässig bis gut und seit 2019 wird die Anforderung der GSchV für DOC in der Aare praktisch immer eingehalten [26].

Grundlagen und Links

- [16] Modul-Stufen-Konzept
<https://modul-stufen-konzept.ch/>
- [26] Kanton Bern, Berichte Gewässerqualität
[Zustand Fließgewässer: Zustand Aare](#)

**Bewertung**

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht
- Keine Daten

Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

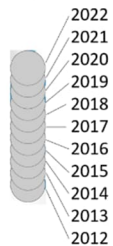
Zeitliche Entwicklung

Abbildung 24: Beurteilungen des gelösten organischen Kohlenstoffs im Einzugsgebiet der Aare.

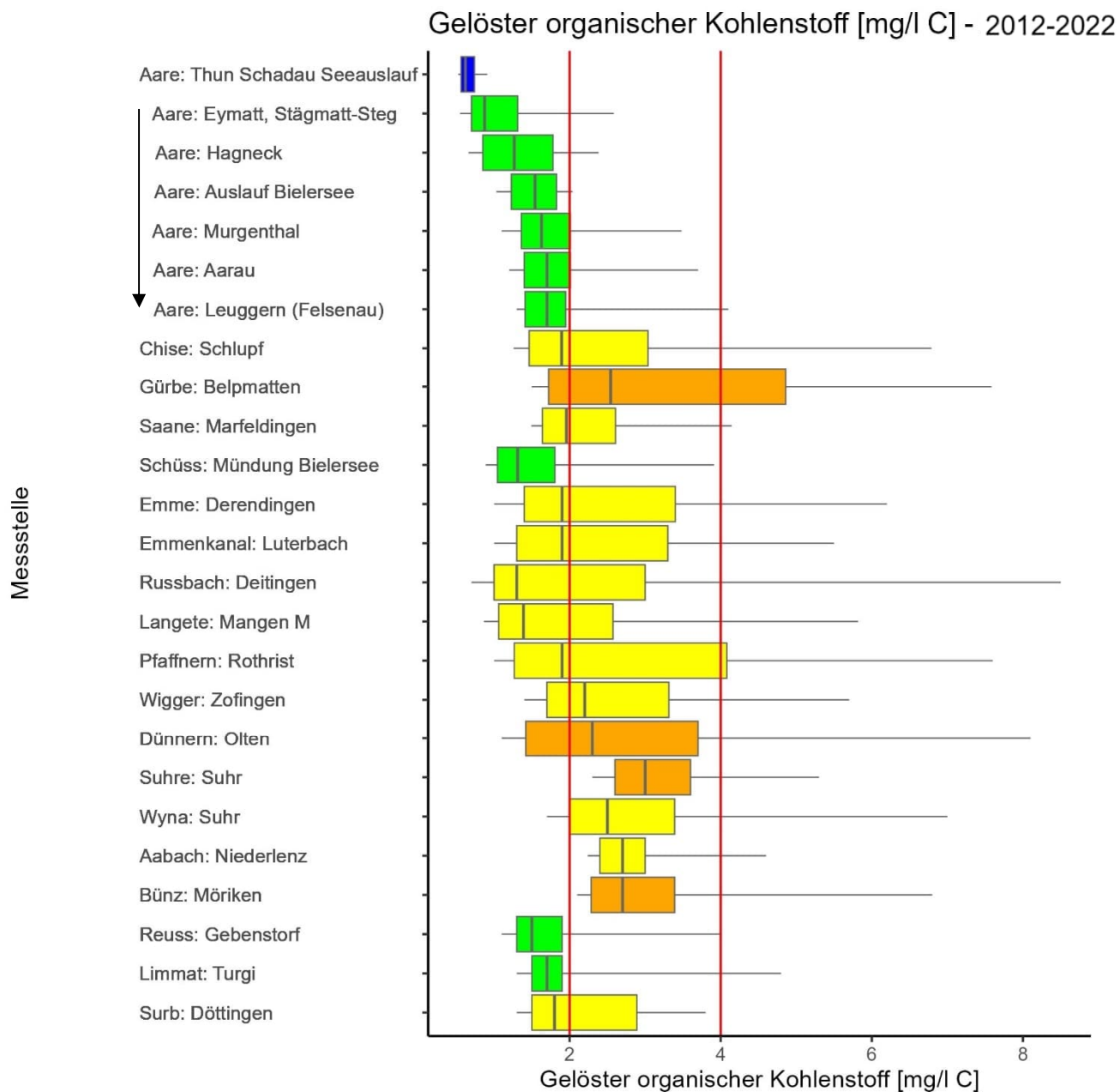
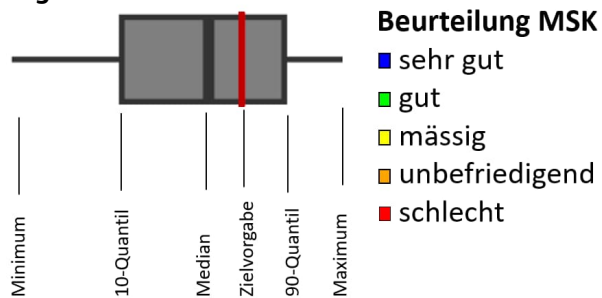


Abbildung 25: Boxplot des gelösten organischen Kohlenstoffs über die Jahre 2012-2022. Farbgebung Balken entsprechend dem rechnerischen 90 % Quantil aller Stichproben.

Legende:



3.1.8 Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB₅)

Erläuterungen Parameter

Der Biochemische Sauerstoffbedarf ist ein Mass für den Sauerstoffverbrauch durch biologische Abbauprozesse im Gewässer. Er gibt an, wieviel Sauerstoff in einer bestimmten Zeiteinheit, hier in 5 Tagen, aufgezehrt wird. Sauerstoffzehrende Substanzen sind leicht abbaubare Stoffe wie z.B. organischer Kohlenstoff, Ammoniak, Nitrit und Schwefelwasserstoff.

Je nach natürlicher Vorbelastung kann für den Biochemischen Sauerstoffbedarf ein anderer Zielwert verwendet werden (2 bis 4 mg/L O₂). Dabei spielt die Morphologie, Hydrologie und die Wassertemperatur eine wichtige Rolle. Empfindlich sind vor allem langsam fliessende oder tiefe Gewässer (z.B. Stauseen). Wenn organisches Material auf der Sohle liegen bleibt, kann die Sauerstoffzehrung in der Sohlennähe und in der Sohle so gross werden, dass anaerobe Verhältnisse auftreten. Dabei können reduzierte Substanzen entstehen, wie z.B. Nitrit, Methan oder Schwefelwasserstoff, welche fischgiftig sein können. Für diesen Bericht wurde der Grenzwert des Kanton Aargau mit 3 mg/L O₂ für die Bewertung übernommen [1].

Beobachtungen

Im Kanton Bern werden keine BSB₅ Proben entnommen. In den übrigen Kantonen verteilen sich die Bewertungen auf alle Zustandsklassen.

Die Aare und die grossen Zuflüsse Reuss und Limmat werden sehr gut bis gut bezüglich des biochemischen Sauerstoffbedarfs bewertet.

Die übrigen Zuflüsse werden sehr unterschiedlich bewertet. Wigger, Aabach und die Surb weisen keine Überschreitung der Zielvorgabe mit 3 mg/L O₂ auf, alle anderen Zuflüsse weisen vereinzelte Überschreitungen auf. In der Wyna und der Dünner kommen auch unbefriedigende oder schlechte Bewertungen vor.

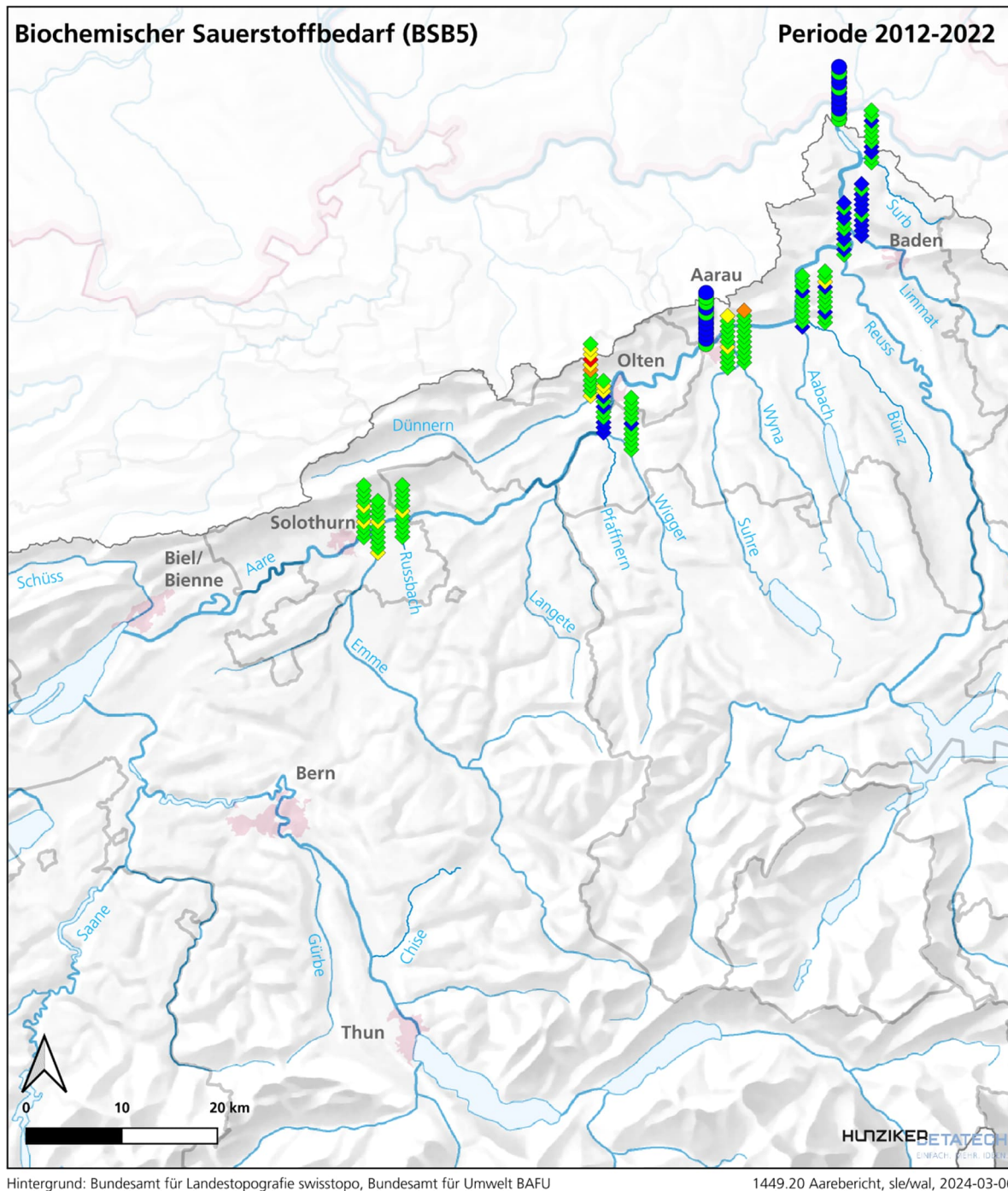
Interpretationen

Die Zuflüsse weisen häufig Bewertungen zwischen gut und mässig auf. Es können dabei keine klaren Belastungsquellen erkannt werden und es ist keine Zunahme im Einzugsgebiet flussabwärts erkennbar (siehe auch Boxplots). Die Belastung kann auch durch verstärkende Faktoren wie eine naturfremde Morphologie oder erhöhte Wassertemperaturen zunehmen. Einzig die Dünner weist mehrere Bewertungen über der numerischen Anforderung von 3 mg/L O₂ auf, bei allen anderen Messstellen sind es nur einzelne Messwerte oder Jahre mit Überschreitungen und daher weniger problematisch. Der erhöhte Sauerstoffverbrauch der Dünner ist auf die erhöhte Konzentration von gelöstem Kohlenstoff (DOC) zurückzuführen (siehe erhöhte Konzentration von beiden Stoffen im 2019) [13].

Grundlagen und Links

[16] Modul-Stufen-Konzept
<https://modul-stufen-konzept.ch/>

[13] Hunziker Betatech AG 2018: Biologische Wasserqualität der Dünner (BIWaQua Due), Technischer Bericht im Auftrag des Amt für Umwelt Kanton Solothurn



Bewertung

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht
- Keine Daten

Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

Zeitliche Entwicklung

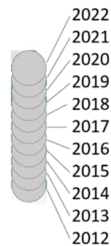


Abbildung 26: Beurteilungen des Biochemischen Sauerstoffbedarfs im Einzugsgebiet der Aare.

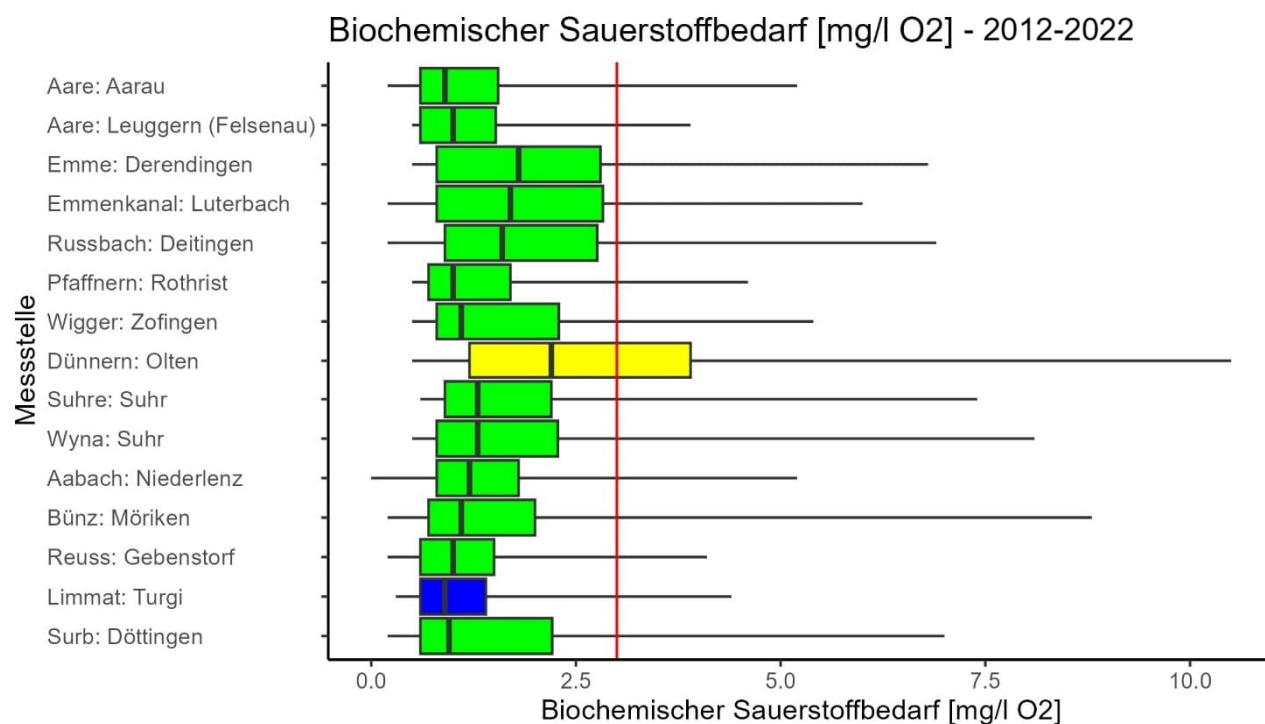
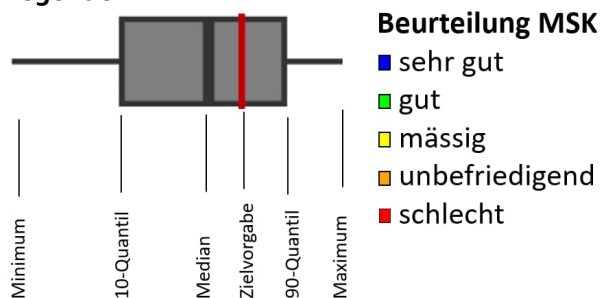


Abbildung 27: Boxplot des biochemischen Sauerstoffbedarfs über die Jahre 2012-2022. Farbgebung Balken entsprechend dem rechnerischen 90 % Quantil aller Stichproben.

Legende:





3.1.9 Chlorid

Erläuterungen Parameter

Chlorid kommt natürlicherweise als geogener Parameter in kleineren Konzentrationen (2 bis 4 mg/L Cl⁻) in den Gewässern vor. Im Mittelland sind jedoch ca. 90% der Chloridfrachten anthropogenen Ursprungs und kommen aus der Strassensalzung, von Ionenaustauschern, von Hofdünger, Fällungsmittel, aus dem Siedlungsgebiet via ARA und Regenentlastungen sowie weiteren Quellen. Chlorid ist in grossen Konzentrationen von mehr als 200 mg/L Cl⁻ toxisch für Pflanzen. Die Gewässerschutzverordnung enthält keine numerische Anforderung für Chlorid, zur Bewertung wird deshalb der Grenzwert des Moduls Kieselalgen mit 26 mg/L Cl⁻ verwendet [2]. Die Chloridkonzentration beeinflusst die Beurteilung des fischtoxischen Nitrits (siehe Kapitel 3.1.2).

Beobachtungen

Keine Messstelle überschreitet den Wert von 200 mg/L, welche für Pflanzen zu toxischer Wirkung führt. Für einen Grenzwert von 26 mg/L (gemäss Modul-Stufen-Konzept Kieselalgen [2]) ergibt sich folgende Bewertung:

- Die Aare wird durchgehend mit sehr gut bis gut bewertet, wobei alle Werte bis und mit Murgenthal sehr gut sind.
- Die mittelgrossen Zuflüsse im Einzugsgebiet unterhalb von Olten, sowie die Chise und Wigger weisen regelmässige Überschreitungen der Anforderungen auf. Die Chise, Suhre, Wyna und Bünz weisen sogar schlechte Werte auf. Die übrigen Zuflüsse im Einzugsgebiet oberhalb von Olten, sowie die Reuss und die Limmat weisen immer Konzentrationen unter der numerischen Anforderung von 26 mg/L Cl⁻ auf.

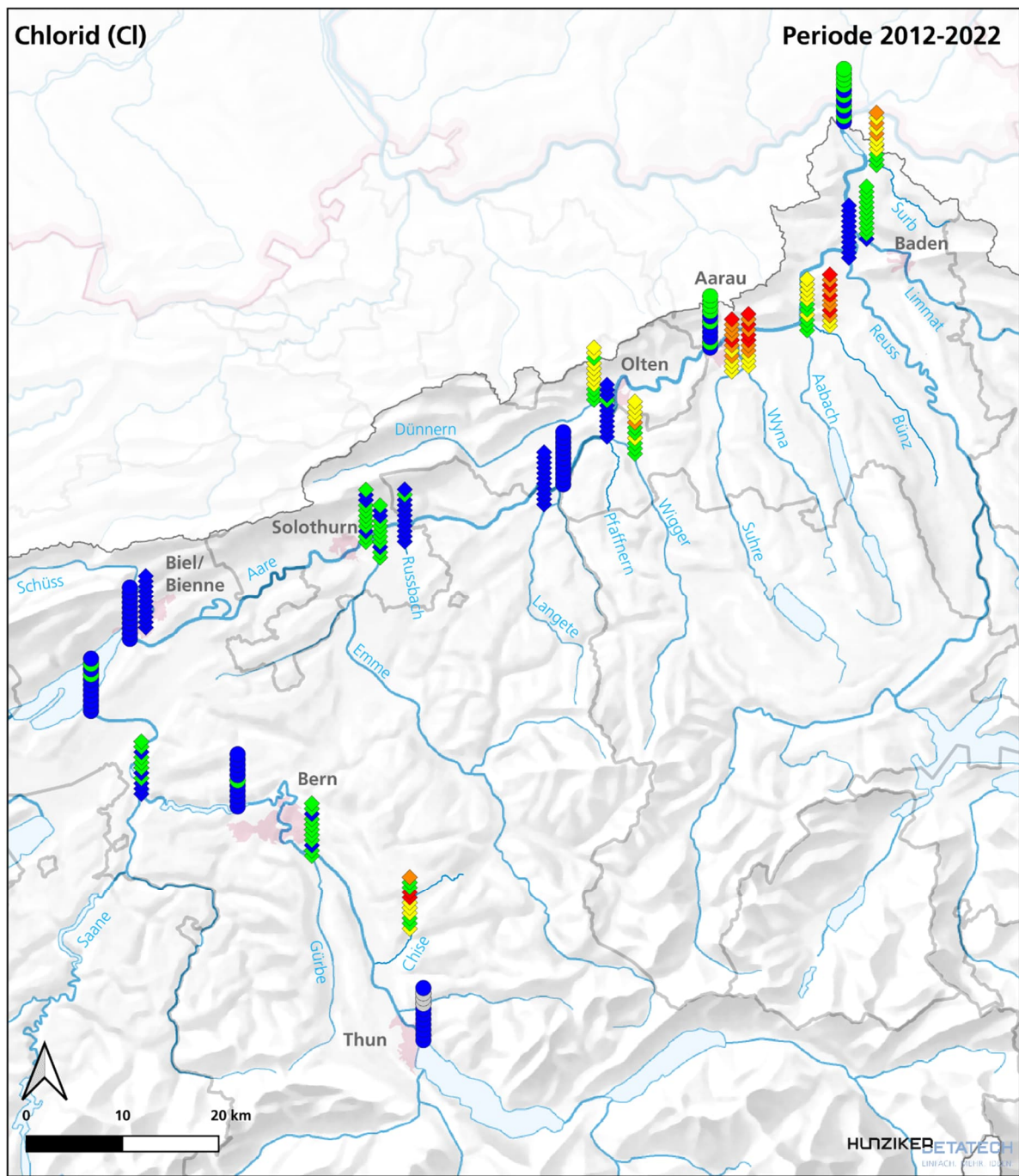
Interpretationen

In der Aare ist eine Zunahme der Konzentration in Fliessrichtung feststellbar, was gut in den Boxplots ersichtlich ist. Alle grossen Fliessgewässer (Aare, Saane, Emme, Reuss, Limmat) weisen eine gute Wasserqualität bezüglich des Chlorids auf. Die Chise sowie alle kleineren Seitenzuflüsse ab dem Wiggerspitz (Zufluss der Wigger) fallen mit einer deutlich schlechteren Qualität auf. Der anthropogene Einfluss wird immer deutlicher und hängt wahrscheinlich mit der höheren Bevölkerungsdichte, dichterem Strassennetz, sowie der intensiven Landwirtschaft zusammen.

Chlorid ist einer der wenigen Parameter, bei welchem eine Zunahme der Konzentration in den letzten Jahren festgestellt wurde. Besonders im Mittelland (z.B. Wyna oder Suhre) ist eine Erhöhung der Chloridkonzentration seit 2015 sichtbar (siehe Ganglinien im Anhang 3). Sehr hohe Chloridkonzentrationen können vor allem im Winter lokal aufgrund der Strassenräumung auftreten, allerdings nehmen die Konzentrationen mit zunehmender Entfernung von der Quelle rasch ab. Um kritische Standorte in Gewässern zu identifizieren, sind weitergehende Analysen und lokale Messungen erforderlich. Dabei müssen die Ionenzusammensetzung, Wasserhärte des Gewässers und die unterschiedliche Sensitivität von Wasserlebewesen auf erhöhte Salzgehalte berücksichtigt werden. Vor allem Algen, Wasserpflanzen und Amphibien weisen eine erhöhte Sensitivität auf.

Grundlagen und Links

- [16] Modul-Stufen-Konzept
<https://modul-stufen-konzept.ch/>

**Bewertung**

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht
- Keine Daten

Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

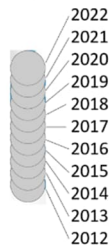
Zeitliche Entwicklung

Abbildung 28: Beurteilungen der Chloridkonzentration im Einzugsgebiet der Aare.

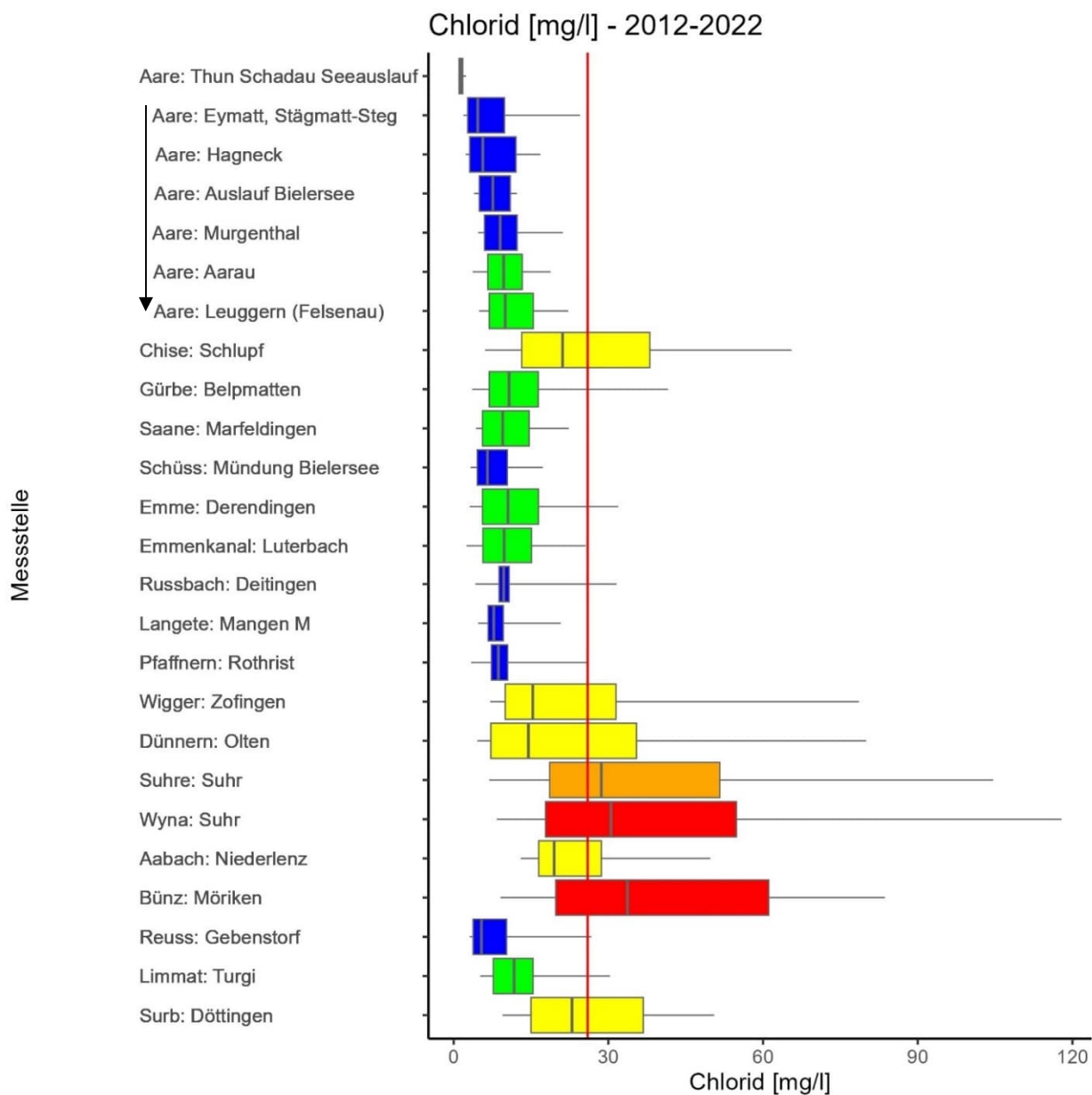
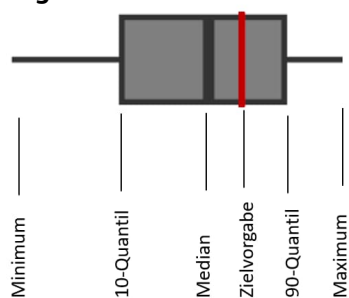


Abbildung 29: Boxplot der Chloridkonzentrationen über die Jahre 2012-2022. Farbgebung Balken entsprechend dem rechnerischen 90 % Quantil aller Stichproben.

Legende:



Beurteilung MSK

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht

3.1.10 Gesamtbeurteilung Nährstoffe

Erläuterung Parameter

Die Belastung durch die Nährstoffe wird zu einer Gesamtbeurteilung zusammengefasst. Diese ergibt sich aus dem Mittelwert der nach ökologischer Relevanz gewichteten Einzelparameter (siehe Kapitel 2.2). Trotz einer guten Gesamtbewertung können einzelne Nährstoffe problematisch sein. Das Vorgehen zur Beurteilung wurde analog zum Reussbericht gewählt [7].

Beurteilungen

Die Aare wird durchgehend sehr gut und an wenigen Messstellen und Jahren mit guten Resultaten bezüglich der Gesamtbeurteilung Nährstoffe bewertet. Es ist kein Trend in Fließrichtung ersichtlich.

Viele Seitengewässer befinden sich durchgehend in einem sehr guten bis guten Zustand. Einige Fließgewässer weisen in einzelnen Jahren jedoch auch mässige Werte auf. Es handelt sich dabei um die Chise, Dünneren, Suhre, Wyna und die Surb.

Interpretationen

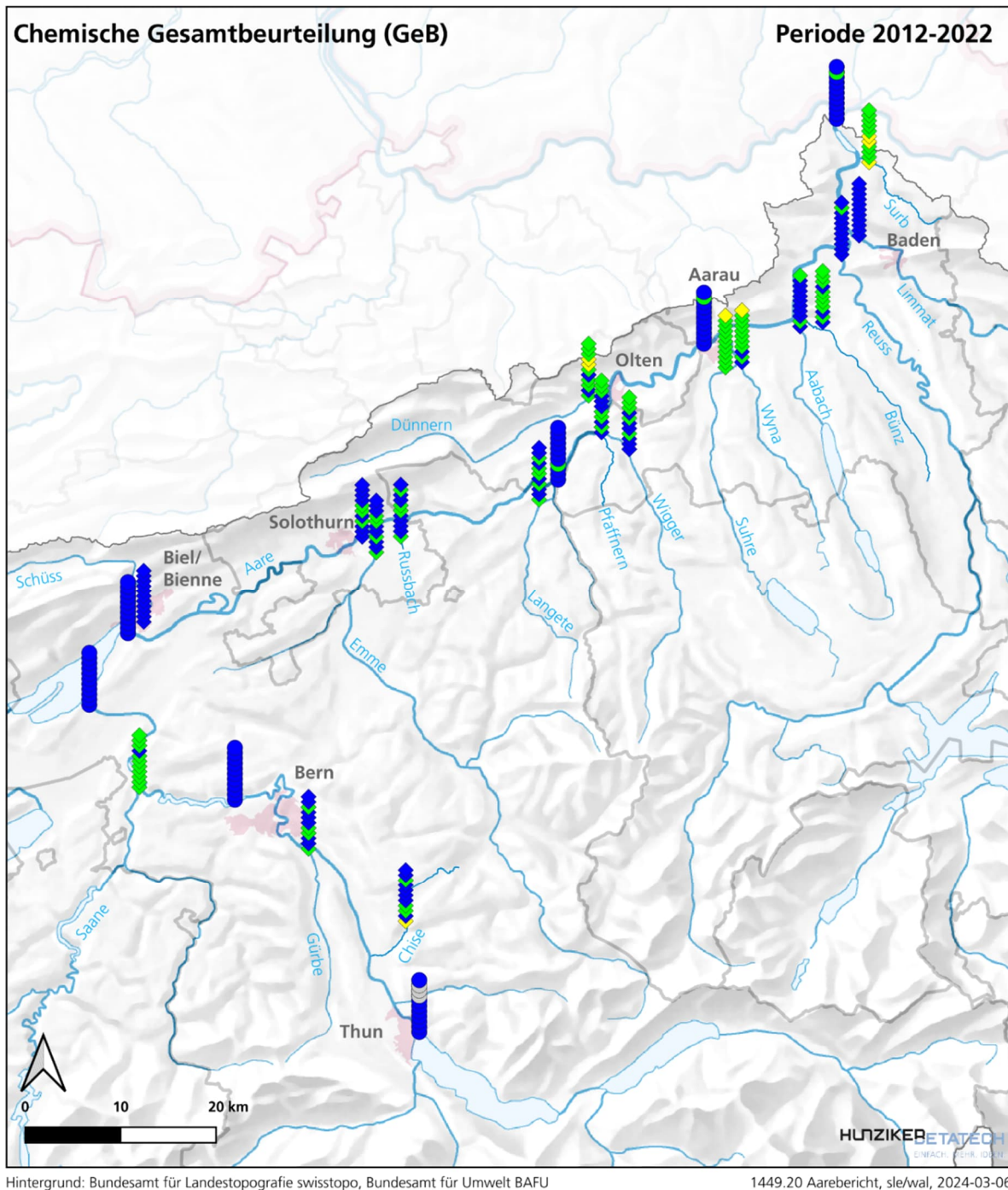
Die Aare ist nur wenig mit Nährstoffen belastet und weist seit längerem eine stabile und gute Qualität bezüglich des Nährstoffgehalts auf.

Die Zuflüsse zeigen eine höhere Belastung mit Nährstoffen. Dies überrascht nicht, da vor allem kleine bis mittelgrosse Gewässer im Mittelland stärker belastet sind. Im Gegensatz zu der Aare ist die Verdünnung der Seitengewässer deutlich geringer, sie sind deshalb anfälliger für erhöhte Konzentrationen von Schadstoffen durch Nährstoffeinträge. Die starke Gewichtung des Ammoniums, Nitrits und des BSB₅ erklärt, weshalb die Gesamtbeurteilung einen besseren Zustand vermittelt als aus den Einzelparametern zu erwarten wäre. Während die Werte der Chise nur im 2012 mässig waren und sich nachher verbessert haben, sind die mässigen Bewertungen der Dünneren, Suhre, Wyna und Surb auch in den letzten 5 Jahren der Messperiode aufgetreten.

Grundlagen und Links

[32] Reussbericht 2014-2018, creato, Herausgeber: Kantone Luzern, Zug und Aarau

- [Reussbericht](#)
 - [Zusammenfassung Reussbericht](#)
-



Bewertung

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht
- Keine Daten

Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

Zeitliche Entwicklung

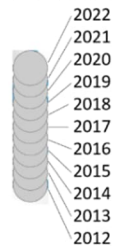


Abbildung 30: Gesamtbeurteilung der Nährstoffe im Einzugsgebiet der Aare.

3.2 Physikalische Parameter

3.2.1 Wassertemperatur

Erläuterungen Parameter

Der mittlere tägliche Temperaturverlauf eines Gewässers folgt um einige Wochen verzögert der mittleren Lufttemperatur. Dabei ist der Anstieg oft langsamer als der Temperaturabfall. Der Temperaturverlauf kann zudem vom Grundwassereintrag beeinflusst werden und ist stark abhängig von der Höhenlage des Einzugsgebiets und seiner Vergletscherung. Tendenziell nimmt die Wassertemperatur im Längsverlauf eines Fließgewässers zu; Faktoren dafür sind die sinkende mittlere Höhe, Sonneneinstrahlung und Lufttemperatur. Eine starke Beschattung des Gewässers kann sich hingegen kühlend auswirken. Die Aare als abflussreiches und breites Gewässer erwärmt sich tendenziell langsam im Fließverlauf. Der Tagesgang der Temperatur hängt allgemein von der Distanz zur Quelle ab. Im Quellbereich sind die Schwankungen klein und weitgehend parallel zur Temperaturentwicklung der Umgebung. Die grossen Seen im Einzugsgebiet der Aare haben eine starke regulierende Wirkung auf die Wassertemperaturen. Im Sommer ist die Temperatur des meist oberflächennahen Ausflusses aus den Seen entsprechend hoch. Für die Aare haben auch die Flusskraftwerke mit ihren Staubecken, das KKW Beznau und weitere Industrieanlagen einen bedeutenden Einfluss auf die Wassertemperaturen. Im Mittellauf sind die täglichen Schwankungen maximal und verzögert zur Lufttemperatur; das Tagesminimum wird in der Aare bei Brugg morgens zwischen 7 und 9 Uhr erreicht, das Tagesmaxima zwischen 16 und 19 Uhr [1]. In kleinen Gewässern ist die Heterogenität der Temperaturverhältnisse besonders hoch. Zahlreiche Faktoren wie Höhenlage, Quellspeisung, Morphologie, Beschattung, laterale und vertikale Vernetzung etc. beeinflussen das Temperaturregime und auch die Temperaturschwankungen im Jahres- und Tagesverlauf. In kleinen Gewässern können zudem Einleitungen aus ARA oder von Siedlungsflächen die Wassertemperatur sowohl temporär (bei Gewittern) als auch permanent (bei ARA-Einleitstellen) massgeblich erhöhen.

Die Gewässerschutzverordnung legt fest, dass durch Einleitungen eine künstliche Temperaturänderung 3°C (1.5°C in Forellenregionen) nicht überschreiten und dabei die Wassertemperatur 25 °C nicht übersteigen darf. Während dies in der Aare weitgehend eingehalten wird, ist die Temperaturerhöhung durch den Klimawandel deutlich aus den Messdaten erkennbar.

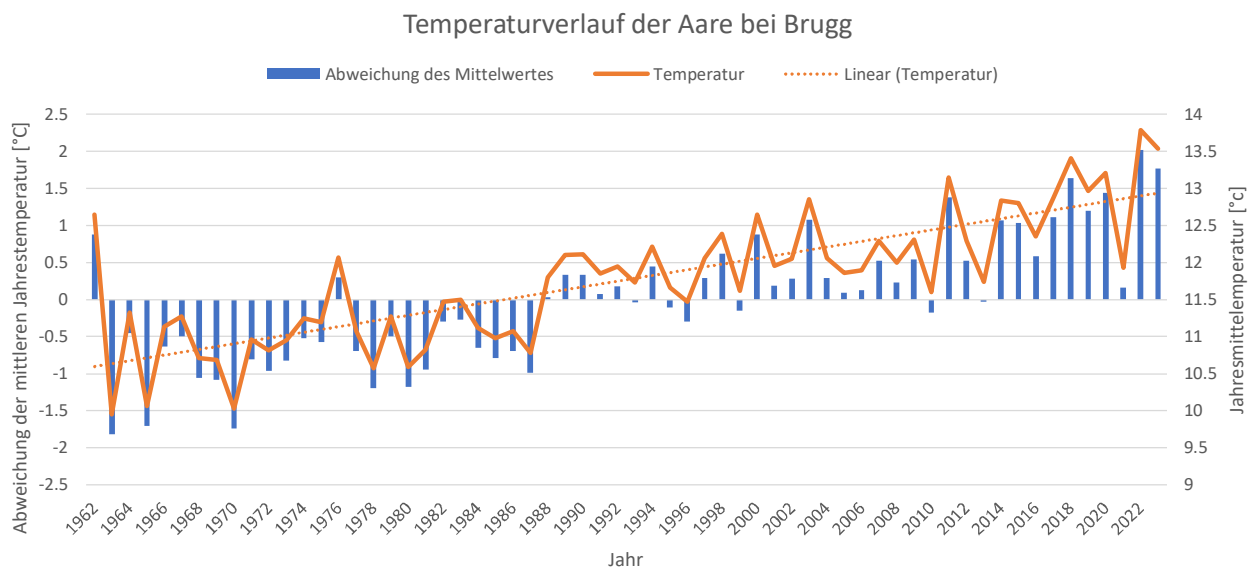


Abbildung 31: Temperaturverlauf der Jahresmitteltemperatur der Aare bei der Messstation in Brugg über die letzten 60 Jahre (orange, Achse links) sowie Abweichung vom langjährigen Mittelwert 11.8°C (blau).

Beobachtungen und Beurteilungen

Die Jahresmitteltemperaturen der Aare bei Brugg haben in den letzten 60 Jahren um gut 2°C zugenommen (Abbildung 31).

Die Darstellung der Wassertemperaturen in den Box-Plots beschränkt sich wie bei den übrigen Parametern auf die Jahre 2012 – 2022. Bei allen Standorten fallen dabei die Jahre 2018, 2020 und 2022 auf, welche in der untersuchten Zeitperiode besonders warme Wassertemperaturen zeigten (siehe Boxplot). Die Jahre 2013, 2016 und 2021 waren eher kühl im Vergleich der 10-jährigen Untersuchungsperiode. Die grossen Gewässer Aare, Reuss und Limmat wiesen in heissen Sommermonaten durchgehende Temperaturen von über 20°C auf. Ihnen ist gemeinsam, dass sie durch grosse Mittellandseen fliessen, wo sich im Sommer das oberflächennahe Wasser stark erwärmt und dadurch auch die Temperatur beim Seeausfluss beeinflusst.

Abbildung 32 zeigt, dass in der Aare bei Brugg zwischen Juli und September in Hitzesommern wie 2020 und 2022 die Wassertemperatur während mehrerer Wochen auch nachts nicht mehr unter 21°C sank. Kurzfristig wurden Höchsttemperaturen über 25°C gemessen. Auch an der Reuss und Limmat blieben die Wassertemperaturen in diesen Monaten konstant über 20°C warm (siehe untenstehende Boxplots). Bei den mittelgrossen Zuflüssen sind es mehrere Tage bis Wochen dauernde Perioden, welche konstant über 19°C sind ¹.

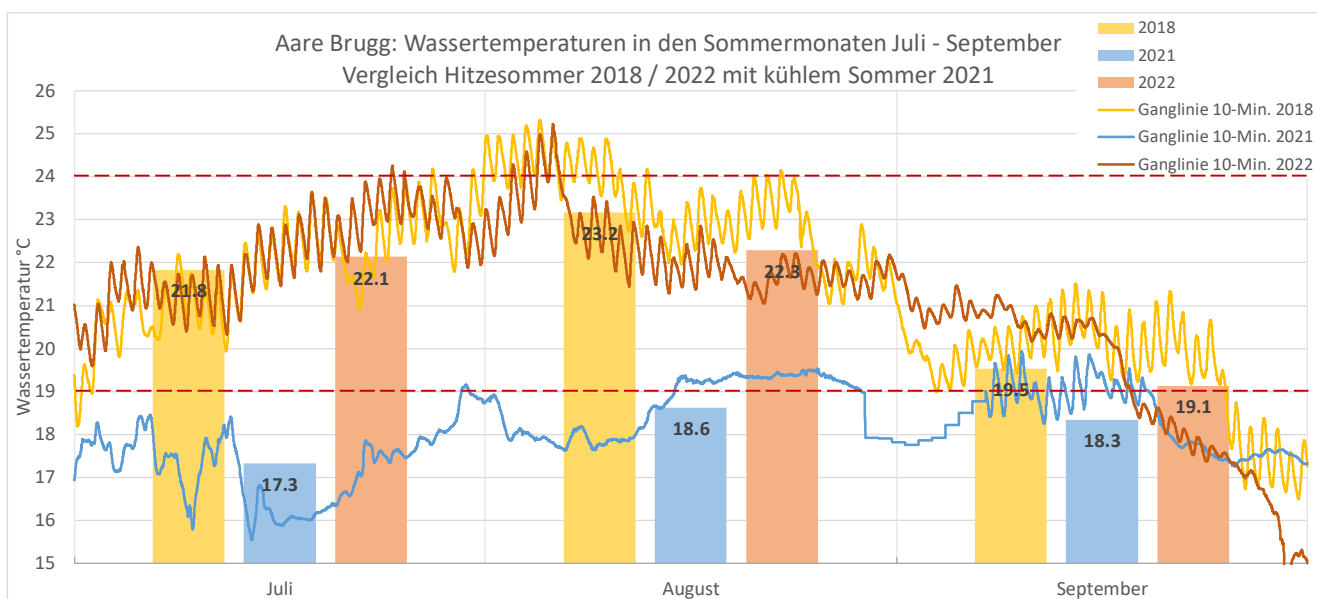


Abbildung 32: Vergleich der Wassertemperaturen der Aare bei der Messstelle in Brugg während den Sommermonaten Juli – September in den Jahren 2018, 2020 und 2022 anhand Monatsmittel (Balken) und hochaufgelösten 10-Min. Daten (Ganglinien).

Bei der Pfaffnern und Surb sind noch nie Temperaturen über 24°C aufgetreten. Alle übrigen Seitengewässer (bei welchen Temperaturmessungen ausgewertet wurden) weisen in den wärmeren Jahren tagsüber Temperaturen über 24°C auf.

¹ In den Darstellungen der sommerlichen Hitzeperioden (Ganglinien und Box-Plots) wird als Lesehilfe bei 19 °C und bei 24 °C eine rote Linie dargestellt. Es sind jene Temperaturbereiche, welche für Äschen und Bachforellen ungefähr die Obergrenze der Optimumtemperatur und des kritischen Bereichs darstellen. In der Literatur finden sich allerdings unterschiedliche Angaben zu den Temperaturangaben. Vgl. [9]

Interpretationen

Eine direkte Beurteilung oder Bewertung der Wassertemperaturen ist nur anhand der Messdaten nicht möglich. Die Messdaten der Wassertemperatur müssten einerseits bezüglich eines naturnahen Temperaturregimes und andererseits bezüglich der ökologischen Wirkung beurteilt werden. Empfehlungen für die Bewertung finden sich im Expertenbericht zur Bewertung der Wassertemperaturen [11]. Auch ohne detaillierte Auswertung kann festgestellt werden, dass die Wassertemperaturen in der Aare zunehmend durch den Klimawandel und weitere anthropogene Einflüsse (Kraftwerke, Kühlwasser AKW, Einleitungen ARA und Siedlungsentwässerungen, Strassenabwasser etc.) erhöht wird. In Jahren mit Hitzeperioden im Sommer treten dadurch nicht nur in kleinen und mittleren, sondern vermehrt auch in grossen Flüssen wie der Aare ökologische Beeinträchtigungen auf. Durch die Veränderung des Temperaturregimes hat sich das Artenspektrum in der Aare bereits verändert (siehe Kapitel 3.4).

In Bezug auf den Klimawandel ist die Temperatur einer der kritischsten Parameter für die Lebensgemeinschaften in der Aare. Viele Gewässerorganismen reagieren empfindlich auf eine Änderung des Temperaturregimes (siehe Kapitel 3.4). Während bei den Nährstoffen die Aare eine gute Qualität aufweist, können weiter ansteigende Wassertemperaturen für kältebedürftige Arten zur Bedrohung werden. Prognosen gehen für Fliessgewässer im Mittelland von einer Temperaturerhöhung von ca. 1-2°C (mit Klimaschutzmassnahmen RCP2.6) bzw. 3-6°C (ohne Klimaschutz RCP8.5) bis gegen Ende des Jahrhunderts aus [10]. Bei beiden Szenarien muss mit einem starken Rückgang bis sogar zum Aussterben von kältebedürftigen Arten in der Aare unterhalb des Bielersees ausgegangen werden. Kleinere Seitengewässer haben grundsätzlich tiefere Temperaturen und können als Rückzugsgebiete für die Tiere dienen. Eine gute Vernetzung der Gewässer und Revitalisierungen, sowie eine natürliche Beschattung der Wasseroberfläche sind deshalb wichtige Voraussetzungen, um die Temperaturerhöhung zu minimieren und Lebensräume für anspruchsvolle Arten zu bewahren.

Grundlagen und Links

- [16] Modul-Stufen-Konzept
<https://modul-stufen-konzept.ch/>
 - [10] BAFU (Hrsg.) 2021: Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer. Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2101
 - [11] C. Dübendorfer, D. Moser, A. Kirchhofer, P. Baumann et al. 2011: Expertenbericht zu einem Modul Temperatur im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts, Ernst Basler + Partner AG, Zollikon
-

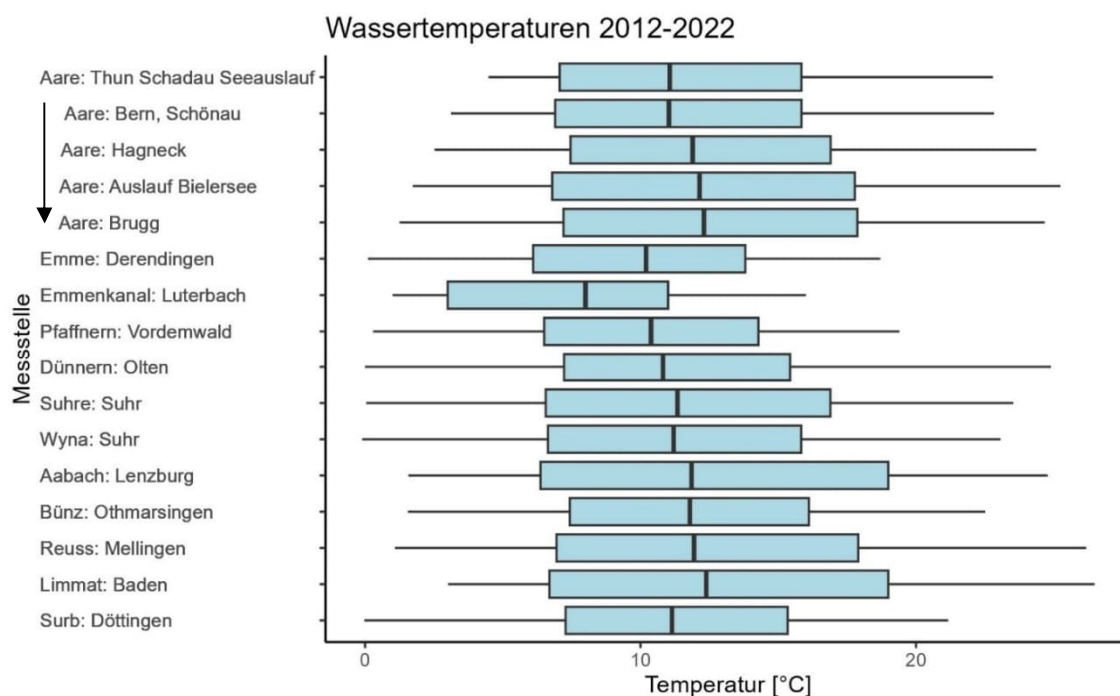


Abbildung 33: Boxplot der Wassertemperaturen über die Jahre 2012-2022.

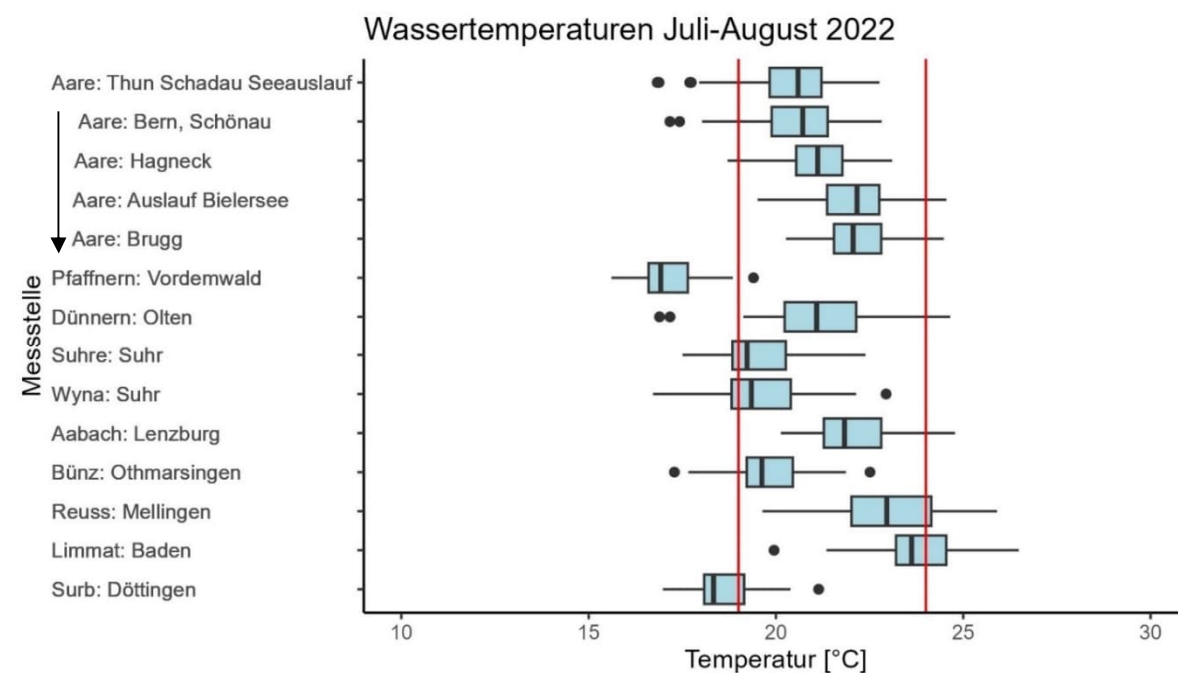
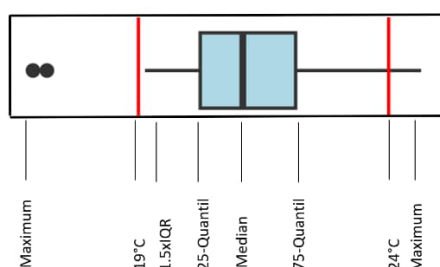


Abbildung 34: Boxplot der Wassertemperaturen vom 1. Juli bis 31. August 2022. Rote Linien: Hinweis 19°C / 24°C.

Legende:



3.2.2 Elektrische Leitfähigkeit

Erläuterungen Parameter

Mit der elektrischen Leitfähigkeit wird vor allem der Gehalt an gelösten Salzen gemessen. Dafür sind grösstenteils geogene Salze aus der Gesteinsverwitterung (Calcium, Magnesium, Hydrogencarbonat) verantwortlich. Zu den anthropogenen Parametern gehören vor allem die klassischen Nährstoffparameter wie Nitrat, Nitrit, Ammonium und Phosphat wie auch Salze (vor allem Chlorid, Sulfat und Natrium) aus Ionenaustauschern, Strassensalzen und Fällungsmittel in Abwasserreinigungsanlagen. Die Strassensalzung und -räumung im Winter kann lokal und temporär zu stark erhöhter Leitfähigkeit und hohen Chlorid-Konzentrationen führen (vgl. Kapitel 3.1.9).

Die Ganglinien der elektrischen Leitfähigkeit werden unter anderem vom Kalk-Kohlensäuregleichgewicht beeinflusst. Dies wiederum ist vor allem von der Temperatur und den biologischen Prozessen abhängig. Die Jahresganglinie verläuft deshalb weitgehend sinusförmig mit dem Maximum im Winter und Minimum im Sommer. In und unterhalb von Seen wird der Effekt durch die Primärproduktion verstärkt, was zu ausgeprägteren täglichen Schwankungen führt [1].

Beobachtungen

Die Aare und die grossen Zuflüsse haben eine sehr gleichmässige und sinusförmige saisonale Ganglinie der elektrischen Leitfähigkeit (siehe Anhang 4). In den übrigen Zuflüssen ist die saisonale Sinuskurve weniger stark ausgeprägt und wahrscheinlich durch anthropogene Einflussfaktoren überlagert. Da nur monatliche Stichproben vorhanden sind, lassen sich tägliche Schwankungen oder plötzliche Veränderungen nicht erkennen.

Interpretationen

Die Sinuskurve ist in den kleineren Zuflüssen weniger ausgeprägt, da dort die biologischen Prozesse eine untergeordnete Rolle spielen. Von der elektrischen Leitfähigkeit alleine kann nicht auf eine Belastung geschlossen werden. Die elektrische Leitfähigkeit ist vor allem interessant, um plötzliche Veränderungen festzustellen, welche auf eine punktuelle Belastungsquelle hindeuten. Dazu braucht es Daten mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung (z.B. 10-Minutenwerte durch Online Messungen an lokal kritischen Standorten), welche für vorliegenden Bericht nicht vorlagen.

Grundlagen und Links

[16] Modul-Stufen-Konzept
<https://modul-stufen-konzept.ch/>

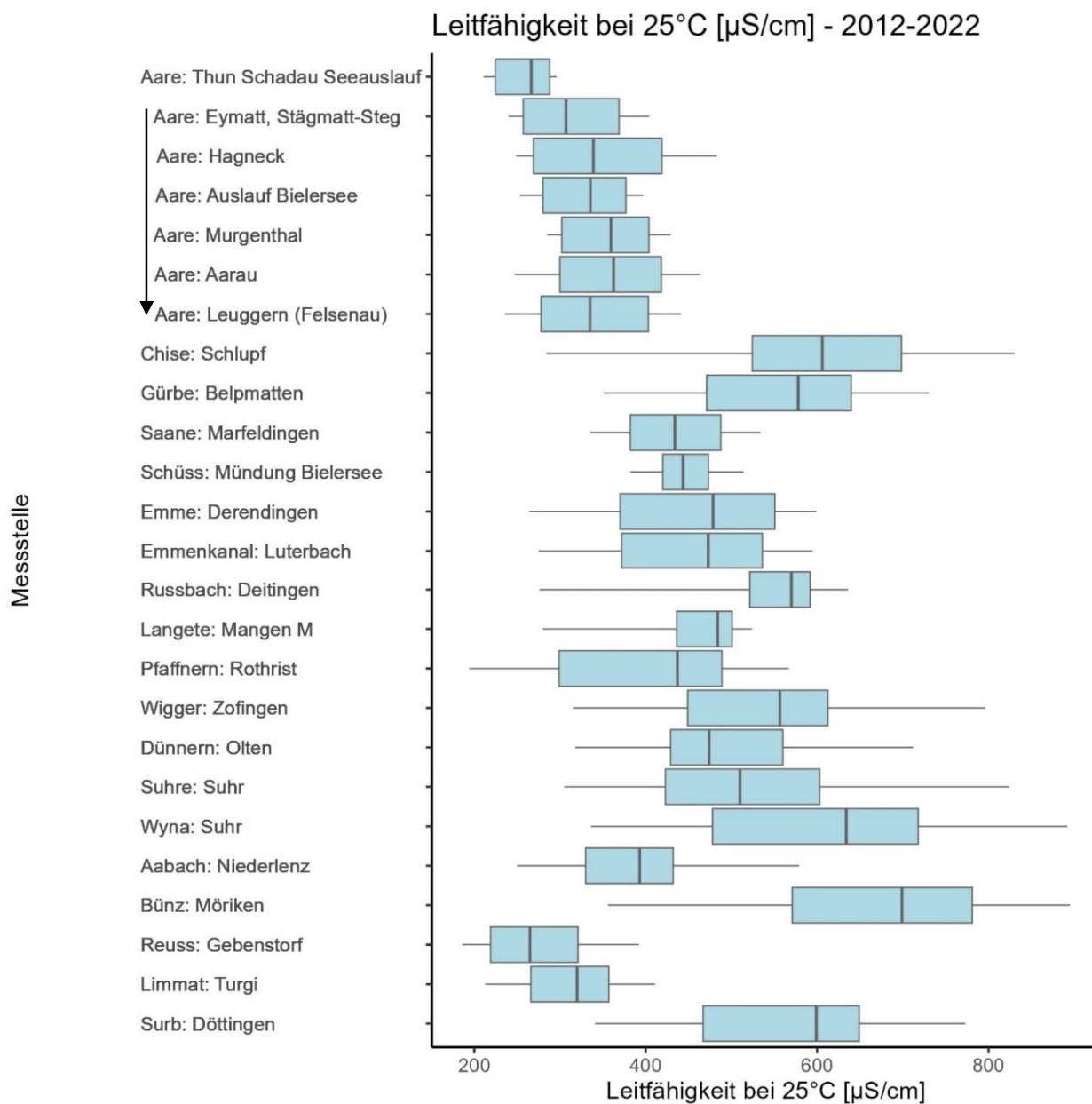
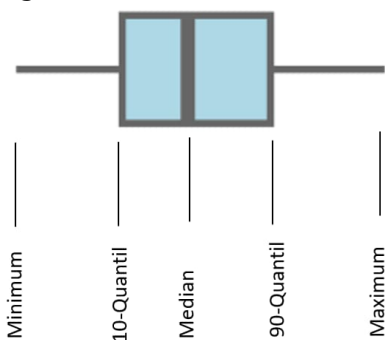


Abbildung 35: Boxplot der Leitfähigkeit über die Jahre 2012-2022.

Legende:



3.2.3 pH-Wert

Erläuterungen Parameter

Der pH-Wert in einem Gewässer wird vor allem durch das Kalk-Kohlensäuregleichgewicht und die geochemischen Verhältnisse im Einzugsgebiet bestimmt. Kalkreiche Einzugsgebiete haben eine hohe Pufferkapazität und der pH liegt typischerweise bei ca. 8.3. Zudem spielen die Temperatur und biologische Prozesse wie die Photosynthese und der Abbau von organischem Material eine wichtige Rolle. Eine hohe Primärproduktion (und somit hohe Photosyntheserate) ebenso wie hohe Temperaturen führen zu einer Erhöhung des pH-Wertes. Entsprechend kann der pH-Wert sowohl im Tages- wie auch im saisonalen Verlauf stark variieren. Da der pH-Wert jeweils zum Zeitpunkt der Probenahme der Stichprobe erfasst wird, können unterschiedliche pH-Werte zwischen den Messstellen nur sehr eingeschränkt miteinander verglichen werden. Für weitergehende Analysen wären kontinuierliche pH-Messungen erforderlich.

Abwassereinleitungen bewirken durch die erhöhte mikrobielle Abbautätigkeit oft eine Absenkung des pH-Wertes. Durch die meist genügend grosse Wasserhärte auf der Alpennordseite mit einer entsprechenden Pufferkapazität, führen sie in der Regel nicht zu nachteiligen pH-Werten. Generell sollte der pH zwischen 6.5 und 8.5 liegen. Kritisch wird der pH vor allem bei langsam fliessenden Gewässerabschnitten mit viel Sonneneinstrahlung. Dort kann der pH zu hoch werden, was die Bildung von Ammoniak bei einer erhöhten Ammoniumkonzentration fördert (siehe Kapitel 3.1.2) [1].

Beobachtungen

Es ist keine oder nur eine schwach ausgeprägte sinusförmige Kurve des pH der Aare zu beobachten (siehe Anhang 4). Ein Ausreisser ist bei der Aare in Murgenthal im Jahr 2020 vorhanden. Der pH der Aare schwankt zwischen 7.5 und 8.5 und überschreitet den Wert von 8.5 nur sehr selten.

Bei den Seitengewässern werden ähnliche pH - Werte festgestellt, allerdings gibt es vereinzelte Bäche, welche regelmässig einen pH über 8.5 aufweisen (Pfaffnern, Wigger, Dünner, Suhre, Wyna, Aabach, Bünz, Reuss und Surb). Die höchsten pH werden bei der Wyna, Bünz und Surb gemessen (siehe Boxplot).

Interpretationen

Der pH-Wert schwankt auf natürliche Weise in einem Gewässer und verursacht bei kleinen Änderungen keine direkte Belastung im Gewässer. Nur bei sehr starken pH-Änderungen, wie z.B. durch Betoneintrag ins Gewässer, sind negative ökologische Auswirkungen zu erwarten. Allerdings beeinflusst der pH das Ammonium/Ammoniak Gleichgewicht, wobei Ammoniak fischgiftig ist (siehe Kapitel 3.1.1). Besonders die Surb hat einen sehr hohen pH und wies 2016-2017 unbefriedigende Bewertungen für Ammonium auf. Dadurch könnten sich für die Fische toxische Verhältnisse gebildet haben.

Alle anderen Fliessgewässer zeigten anhand der aufgezeichneten pH-Werte bei den Probenahmen der Stichproben keine kritischen Zustände bezüglich des pH-Werts, da entweder der pH nicht zu hoch war oder die Ammonium Konzentrationen die Grenzwerte der GSchV immer einhielten. Für eine umfassende Beurteilung wären kontinuierliche Datenaufzeichnungen an potenziell kritischen Gewässerabschnitten erforderlich.

Grundlagen und Links

[16] Modul-Stufen-Konzept
<https://modul-stufen-konzept.ch/>

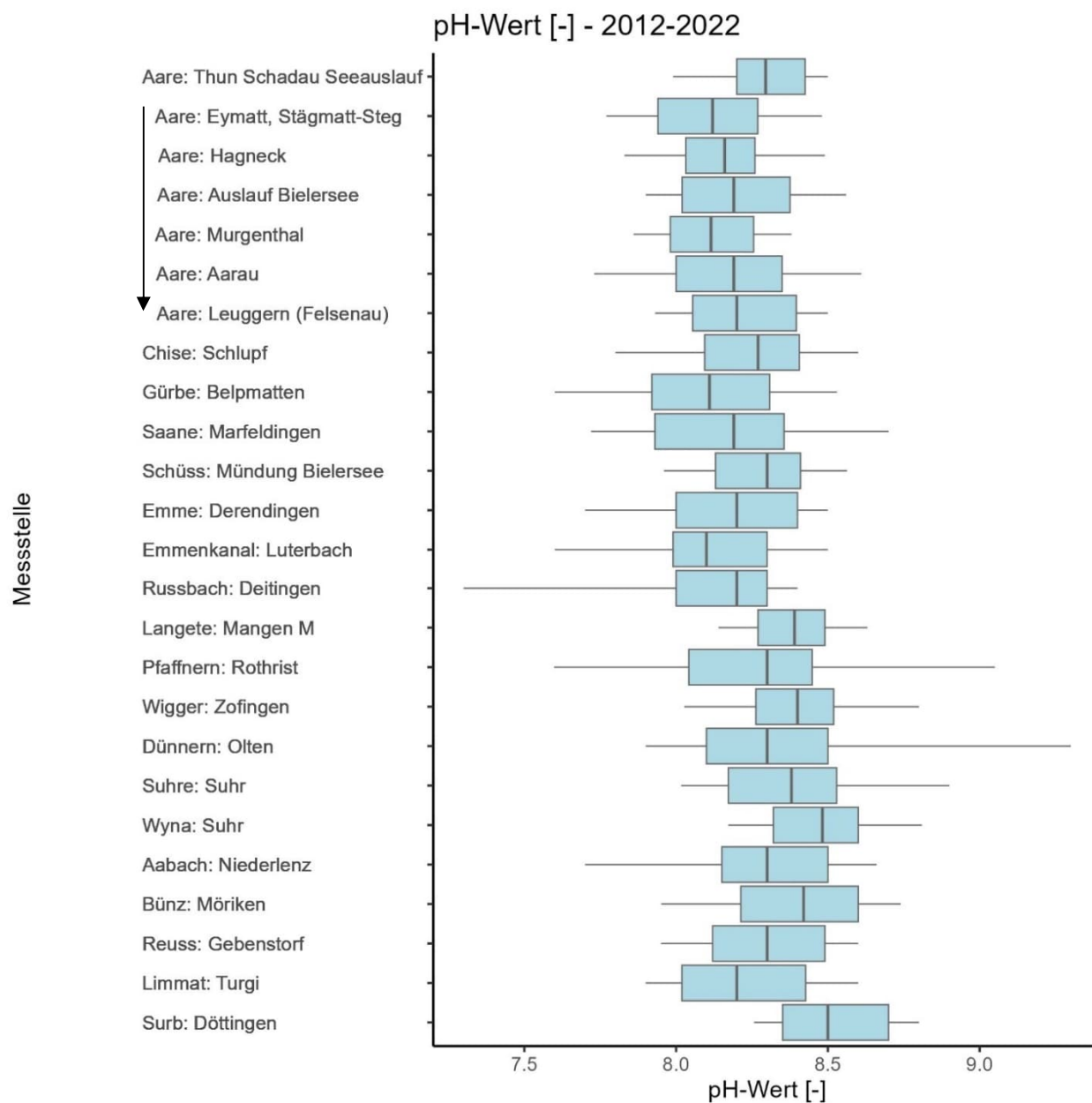
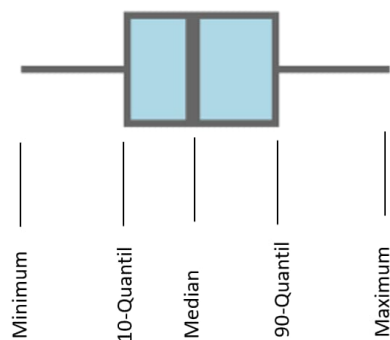


Abbildung 36: Boxplot der pH-Werte über die Jahre 2012-2022.

Legende:



3.2.4 Gelöster Sauerstoff

Erläuterungen Parameter

Sauerstoff gelangt sowohl über die Luft, als auch durch die Photosynthese in das Gewässer. Durch den biologischen Abbau von organischen Stoffen wird er dem Gewässer wieder entzogen. Die Löslichkeit von Sauerstoff wird durch die Temperatur bestimmt und wird mit zunehmender Temperatur kleiner. Es ist deshalb ein deutlicher Tages- und Jahresgang der Sauerstoffkonzentration in Gewässern sichtbar [1].

Beobachtungen

Bei den meisten Standorten wird eine sinusförmige Ganglinie beobachtet (siehe Anhang 4 oder Abbildung 37). Es kann kein Trend in Fließrichtung erkannt werden. Die Gürbe, Schüss, Emme, Emmenkanal, Russbach und Dünern weisen allerdings nur eine schwache Sinuskurve mit vielen Schwankungen auf. Die Sauerstoffkonzentration ist sowohl im Mittelwert als auch im Bereich des 10- bis 90- Quantils in allen untersuchten Gewässern genügend (Box-Plots Abbildung 38); es sind daher keine langfristigen nachteiligen Auswirkungen auf die aquatischen Lebensgemeinschaften zu erwarten. Kritische Situationen mit tiefer Sauerstoffkonzentration und hoher Wassertemperatur können in Hitzeperioden in Gewässerabschnitten auftreten, die sich stark erwärmen.

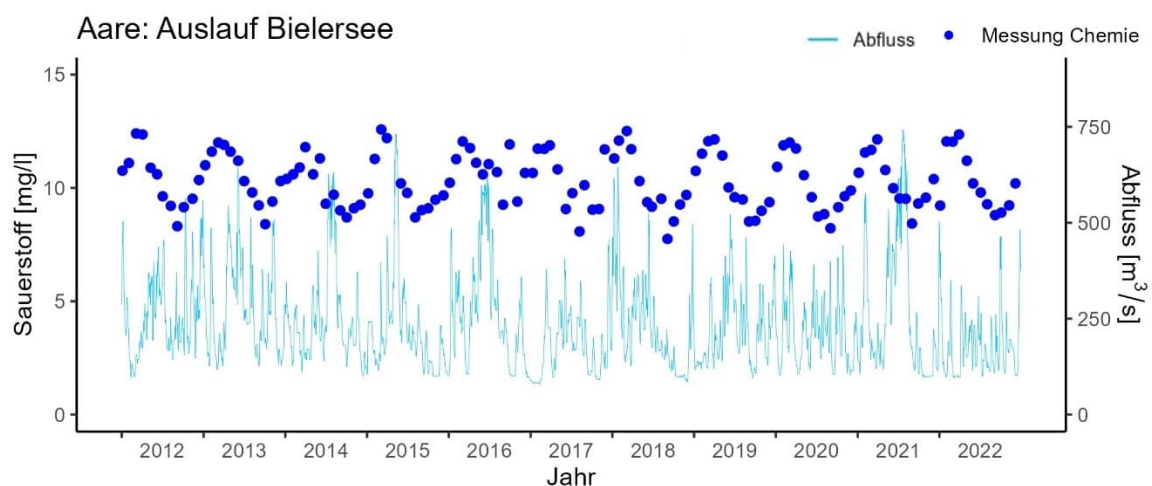


Abbildung 37: Ganglinie des gelösten Sauerstoffs an der Aare beim Auslauf des Bielersees.

Interpretationen

Es spielen sowohl natürliche wie auch anthropogene Einflüsse eine Rolle für die Konzentration des gelösten Sauerstoffs. Besonders die Temperatur ist dabei ein entscheidender Faktor (vgl. Kapitel 3.2.1). Mit der Zunahme der Wassertemperaturen im Zuge der Klimaerwärmung treten sowohl in der Aare als auch in Zuflüssen in Hitzeperioden vermehrt kritische Situationen auf, wo hohe Wassertemperaturen und reduzierte Sauerstoffkonzentrationen zu problematischen Bedingungen für die Fische führen. Massnahmen zur Risikominimierung zielen nicht direkt auf die Erhöhung der Sauerstoffkonzentration ab, sondern müssen integral, unter Berücksichtigung der Wasserqualität, Morphologie, der Längs-, Quer- und vertikalen Vernetzung und mit gezielten Massnahmen zur Reduktion des Temperaturanstiegs (zumindest für lokale Rückzugsgebiete) geplant und implementiert werden.

Grundlagen und Links

- [16] Modul-Stufen-Konzept
<https://modul-stufen-konzept.ch/>

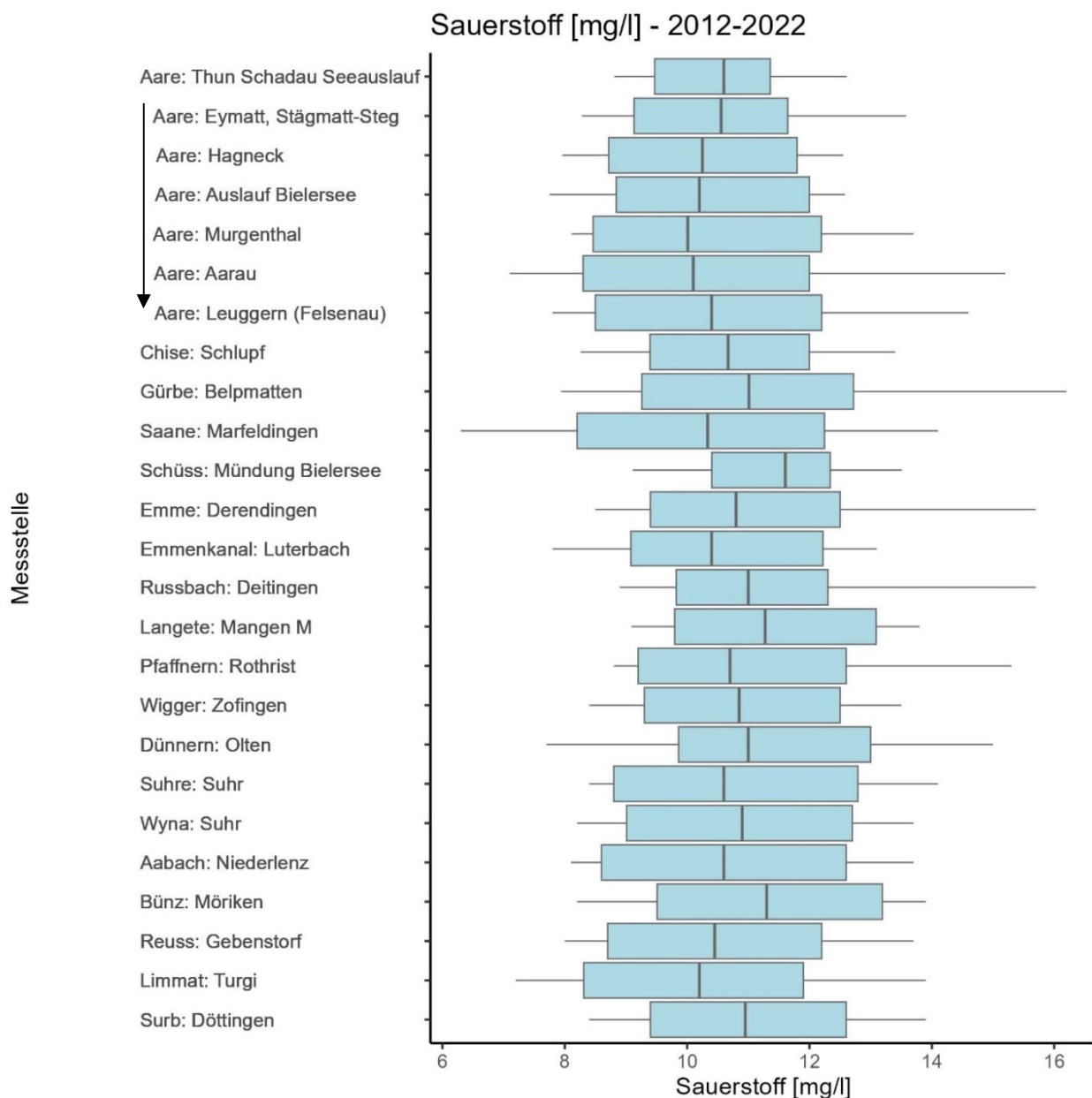
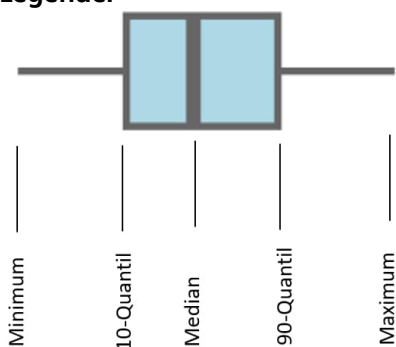


Abbildung 38: Boxplot des gelösten Sauerstoffs über die Jahre 2012-2022.

Legende:



3.3 Schwermetalle

Erläuterungen Parameter

Heutzutage sind vor allem Kupfer und Zink Schwermetalle, welche in den Fliessgewässern in kritischen Konzentrationen vorkommen. Sie stammen von der Dachentwässerung, aus Abrieb von Reifen und Bremsen, sowie von Stromleitungen der Bahn oder weiterer Verkehrsbetriebe. Ebenso wird Kupfer in der Landwirtschaft als Pflanzenschutzmittel oder Futterzusatzstoff verwendet [1].

Beobachtungen

Im Jahr 2022 wurden im Einzugsgebiet der Aare jeweils zwei Momentanproben zu unterschiedlichen Zeitpunkten pro Messstelle entnommen. Für die Auswertung wird nur der schlechtere der beiden Werte berücksichtigt. Wegen dem geringen Probeumfang erfolgt die Auswertung nach der 2-stufigen Skala gemäss Gewässerschutzverordnung (eingehalten/nicht eingehalten) und nicht nach der 5-stufigen Skala des Modul-Stufen-Konzeptes (sehr gut bis schlecht).

Kupfer:

Die Grenzwerte der GschV wird für die grösseren Fliessgewässer und einige der Seitenzuflüsse der Aare eingehalten. Nicht eingehalten werden die Anforderungen der GSchV für die Gürbe, den Russbach, die Wigger, die Bünz, die Chise, die Dünneren, die Suhre, die Wyna und die Surb.

Zink:

Die Grenzwerte der GschV wird für die grösseren Fliessgewässer und die meisten Seitenzuflüsse der Aare eingehalten. Nicht eingehalten werden die Anforderungen der GSchV für die Gürbe und die Dünneren.

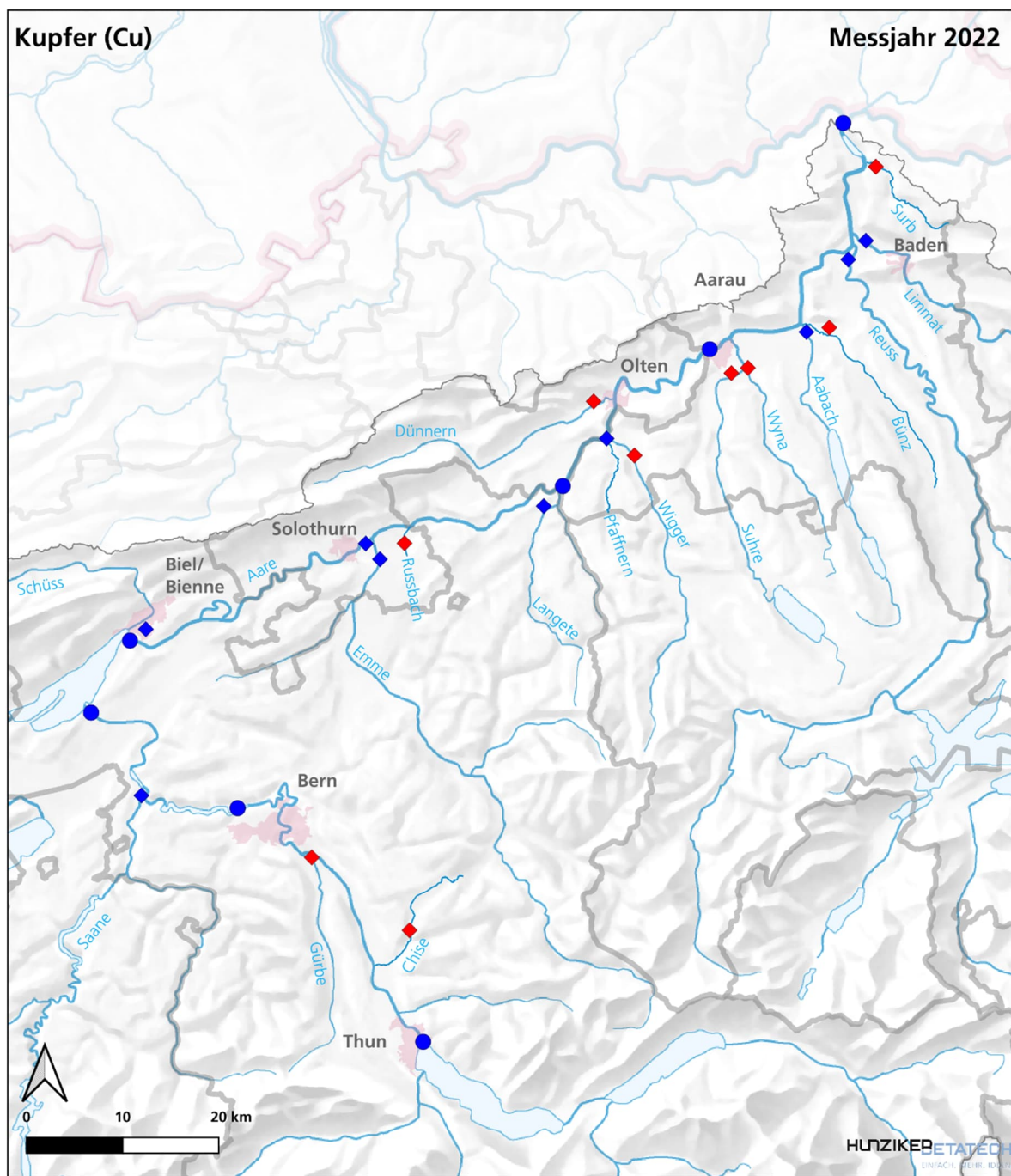
Interpretationen

Mehrheitlich weisen die Gewässer keine Belastung mit Schwermetallen auf. Jedoch gibt es in der Gürbe und der Dünneren sowohl beim Kupfer wie beim Zink Überschreitungen der Grenzwerte aus der GSchV.

Kupfer wird weit verbreitet in Bau und Technik, sowie in der Landwirtschaft als Pflanzenschutzmittel verwendet. Die Überschreitungen in den dicht besiedelten Gebieten sind nicht überraschend, weisen jedoch eine problematische Tendenz auf.

Grundlagen und Links

- [16] Modul-Stufen-Konzept
<https://modul-stufen-konzept.ch/>
 - [26] Kanton Bern, Berichte Gewässerqualität
[Zustand Fliessgewässer: Zustand Aare](#)
 - [33] Zustand Solothurner Gewässer
[Zustand Solothurner Gewässer](#)
 - [13] Hunziker Betatech AG 2018: Biologische Wasserqualität der Dünneren (BIWaQua Due), Technischer Bericht im Auftrag des Amt für Umwelt Kanton Solothurn
-



Hintergrund: Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Bundesamt für Umwelt BAFU

1449.20 Aarebericht, sle/wal, 2024-07-02

Grenzwert Gewässerschutzverordnung

- eingehalten
- ◆ nicht eingehalten
- Keine Daten

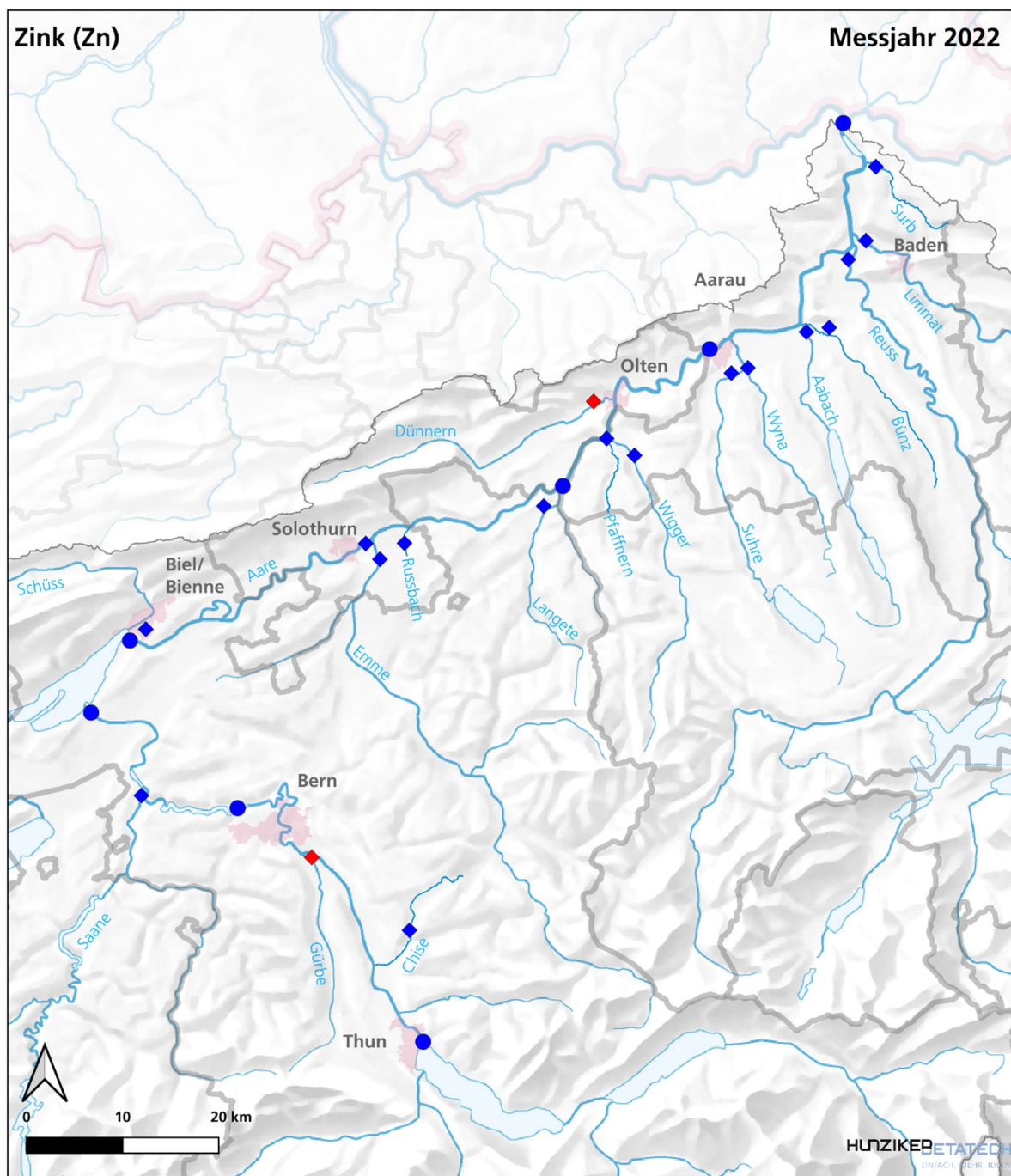
Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

Abbildung 39: Beurteilungen der Kupferkonzentrationen im Jahr 2022.



Hintergrund: Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Bundesamt für Umwelt BAFU

1449.20 Aarebericht, sle/wal, 2024-07-02

Grenzwert Gewässerschutzverordnung

- eingehalten
- nicht eingehalten
- Keine Daten

Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

Abbildung 40: Beurteilungen der Zinkkonzentrationen im Jahr 2022.



3.4 Biologie

Im vorliegenden Bericht liegt der Schwerpunkt auf den obenstehenden chemischen Parametern. Biologische Untersuchungen in der Aare und den Seitengewässern können die Auswertungen insofern ergänzen, dass sie direkt die Auswirkungen auf Lebensgemeinschaften untersuchen. Diese reagieren nicht nur auf die chemische Wasserqualität, sondern auch auf die Morphologie und die Wasserführung. Die zahlreichen biotischen und abiotischen Einflüsse auf die Lebensgemeinschaften und ihre Wechselwirkungen untereinander machen die Interpretation dieser Untersuchungen einerseits anspruchsvoll, haben andererseits aber den Vorteil, dass sie die Gesamtheit aller auf sie wirkender Umweltfaktoren widerspiegeln. Damit sind Bioindikatoren geeignet, die Funktionsfähigkeit eines Lebensraumes gesamtheitlich zu beurteilen und die ökologischen Ziele direkt zu überprüfen.

Die am häufigsten untersuchten Lebensgemeinschaften für die Bioindikation in Gewässern sind das Makrozoobenthos, Fische, Kieselalgen und Makrophyten. Ebenfalls wird bei gewässerbiologischen Aufnahmen meist auch der Äussere Aspekt untersucht, welcher bei der Interpretation der Resultate hilft. Die umfangreichen gewässerbiologischen Untersuchungen an der Aare wurden separat ausgewertet und 2022 in einem Biologiebericht publiziert [6]. Diese Resultate werden im vorliegenden Bericht nicht dargestellt, da methodische Unterschiede einen direkten Vergleich der Aare mit den Zuflüssen verunmöglichen. Nachstehend werden deshalb, mit Ausnahme der Kieselalgen, nur die Resultate der biologischen Untersuchungen an den Seitenbächen dargestellt und analysiert. Eine Parameterübergreifende Interpretation der biologischen Aufnahmen unter Einbezug der Untersuchungsergebnisse der Aare findet sich in der Synthese Bioindikation im Kapitel 3.4.5.

3.4.1 Makrozoobenthos - Index IBCH_2019

Erläuterung Parameter:

Fliessgewässer können anhand der wirbellosen Kleinstlebewesen am Gewässergrund, dem Makrozoobenthos, beurteilt werden. Dazu zählen Insektenlarven, Kleinkrebse, Schnecken, Muscheln und Würmer. Die Tiere reagieren unterschiedlich auf Umweltfaktoren wie Temperatur, Wasserqualität und Strukturvielfalt in einem Gewässer. Der Schweizer Makrozoobenthos-Index IBCH_2019 (hier: IBCH) zeigt vor allem die Defizite bei der Wasserqualität und der strukturellen Lebensraumvielfalt [3]. Der IBCH wird nur für die Seitengewässer ausgewertet. In der Aare wurde der Makrozoobenthos mit einer anderen Methodik untersucht. Der IBCH gilt nur für watbare Gewässer und daher sind die Resultate nicht direkt vergleichbar. Eine ausführliche Dokumentation und Interpretation der biologischen Aufnahmen an der Aare findet sich im Biologiebericht [6]. Die grösseren, ebenfalls nicht watbaren Seitengewässer Emme, Emmenkanal, Reuss und Limmat wurden nicht untersucht. Bei den meisten übrigen Messstellen wurden Aufnahmen in den Jahren 2012, 2015 und 2019 durchgeführt, vereinzelt auch in anderen Jahren.

Beobachtungen

Die untersuchten Seitengewässer zeigen eine sehr unterschiedliche biologische Gewässerqualität mit IBCH. Die Bewertungen liegen zwischen sehr gut bis unbefriedigend. Bei Messstellen mit Untersuchungen in mehreren Jahren zeigt sich mit wenigen Ausnahmen eine geringe Variabilität der Bewertung. Die Saane und Wigger wiesen bei allen Untersuchungen eine gute bis sehr gute Gewässerqualität auf. Mehrheitlich mässig bis unbefriedigende Resultate wurden an der Schüss, am Russbach, der Dünneren, der Suhre, der Wyna, dem Aabach, der Bünz und der Surb festgestellt. Bei den übrigen Messstellen wurden die Anforderungen an eine gute biologische Gewässerqualität mehrheitlich eingehalten.

Interpretation

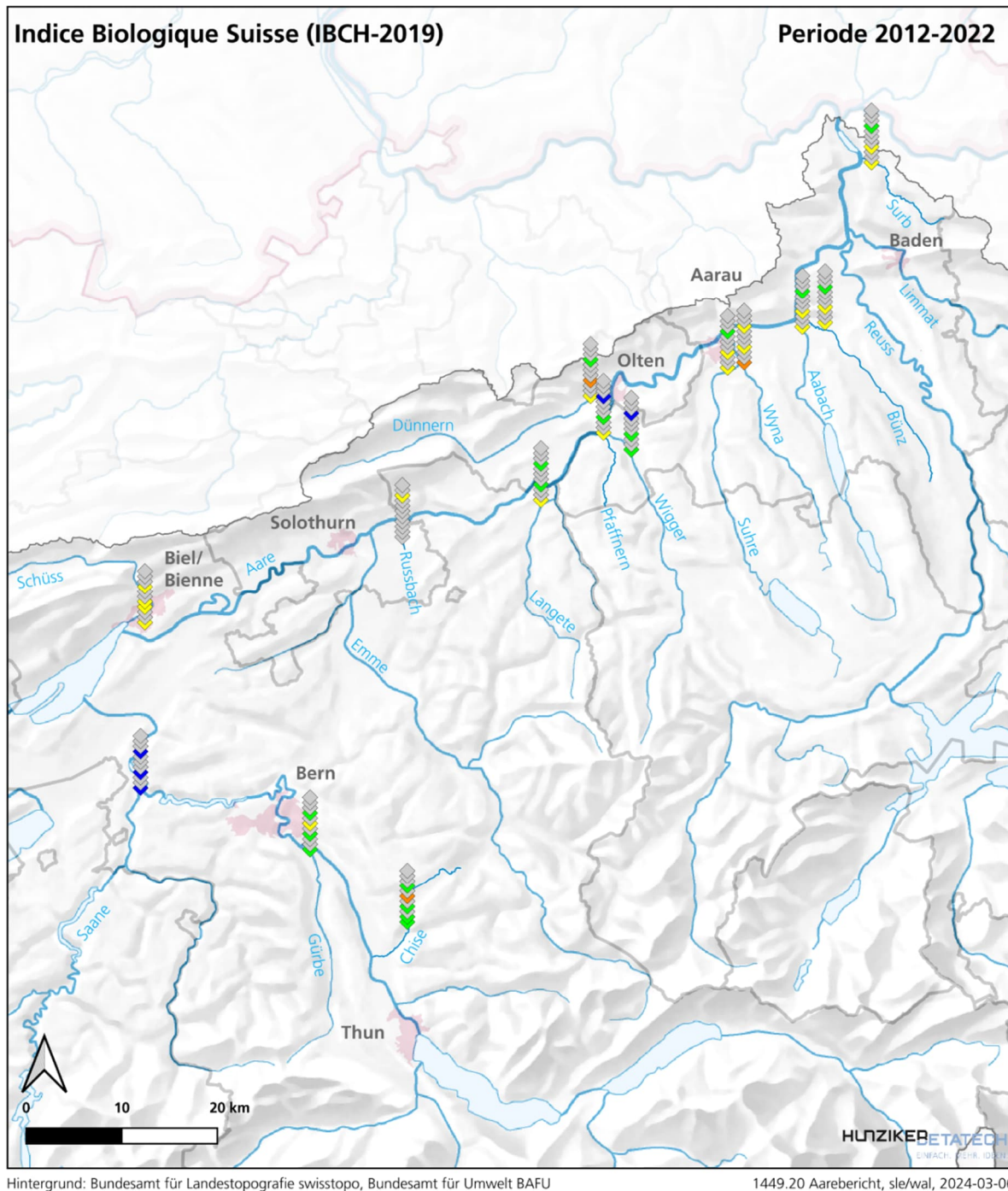
Eine gemäss IBCH mässige Qualität kommt im Mittelland häufig vor. Gründe sind die eingeleiteten und entlasteten Abwässer, die Belastungen aus der Landwirtschaft sowie die naturferne Morphologie und beeinträchtigte Abfluss- und Geschiebedynamik der Gewässer. Auffallend ist, dass Gewässer mit mässiger bis unbefriedigender Gewässerbewertung (IBCH) auch bei verschiedenen Nährstoffen starke Belastungen aufweisen (siehe Kapitel 3.1). Die Schüss weist zwar sehr gute Bewertungen bei den

Nährstoffen auf, jedoch sind oberhalb von Biel Defizite in der Abwasserreinigung und weiteren Belastungen aus dem Siedlungsgebiet bekannt. Es dürfte sich um kurzfristige Schadstoffeinträge (z.B. nach Regenereignissen) handeln, welche sich nicht in den punktuellen Nährstoffproben widerspiegeln, jedoch in den langfristigen Biologiemessungen [26]. Die mässige Bewertung des IBCH der Schüss ist zusätzlich auch auf morphologische Defizite zurückzuführen. Zudem können Einträge aus Mikroverunreinigungen, welche nicht mit den Nährstoffuntersuchungen gemessen werden, einen nachteiligen Einfluss auf die Lebensgemeinschaften haben und sich in einem verminderten Resultat des IBCH zeigen.

In der Aare zeigen sich im Vergleich der Aufnahmeresultate von 2002, 2012 und 2022 deutliche Veränderungen sowohl in der Artenzusammensetzung als auch in der Abundanz des Makrozoobenthos. In dieser relativ kurzen Zeitspanne haben sich invasive Neozoen massiv ausgebreitet. Sowohl die Anzahl unterscheidbarer einheimischer Arten, als auch deren Individuendichte hat in den vergangenen 20 Jahren stark abgenommen (vgl. Biologiebericht [6] und Kapitel 3.4.5).

Grundlagen und Links

- [6] Hydra AG, AquaPlus AG SimplexDNA 2023: Biologische Untersuchung Aare zwischen Bielersee und Rhein 2022, Herausgeber: Kantone Bern, Solothurn und Aargau.
[Biologische Untersuchung Aare zwischen Bielersee und Rhein](#)
 - [8] BAFU (Hrsg.) 2019: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung von Fliessgewässern (IBCH_2019). Makrozoobenthos – Stufe F. 1. aktualisierte Ausgabe, November 2019; Erstausgabe 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026: 59 S.
[MSK Makrozoobenthos - Stufe F](#)
 - [26] Kanton Bern, Berichte Gewässerqualität
 - [Zustand Fliessgewässer: Region Sense-Aaretal](#)
 - [Zustand Fliessgewässer: Region Seeland-Berner Jura](#)
 - [27] REP Oesch: Leitbild, Zustandsberichte und Massnahmenplanung
<https://so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/wasser/integrale-wasserwirtschaft/rep-oesch/>
 - [28] Kanton Aargau: Biologische Langzeituntersuchungen
[Langzeitüberwachung der Fliessgewässer - Kanton Aargau \(ag.ch\)](#)
 - [29] Kanton Aargau: Publikationen Umwelt Aargau
<https://www.ag.ch/umwelt-aargau/pages/index.htm>
 - [12] Aquaplus 2011: Dünnern. Gewässerökologischer Istzustand 2011. Im Auftrag des Amt für Umwelt des Kantons Solothurn.
 - [13] Hunziker Betatech AG 2018: Biologische Wasserqualität der Dünnern (BIWaQua Due), Technischer Bericht im Auftrag des Amt für Umwelt Kanton Solothurn
 - [14] Hunziker Betatech AG 2024: Monitoring Bünztal 2017 – 2022 (im Entwurf). Darstellung und Interpretation der Wasserqualitätsmessungen und Belastungsquellen
-



Bewertung

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht
- Keine Daten

Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

Zeitliche Entwicklung

- 2022
- 2021
- 2020
- 2019
- 2018
- 2017
- 2016
- 2015
- 2014
- 2013
- 2012

Abbildung 41: Beurteilung des IBCH im Einzugsgebiet der Aare.

3.4.2 Makrozoobenthos - SPEAR-Index (Pestizidindex)

Erläuterung

Der SPEAR-Index wurde vom Helmholtz-Institut in Deutschland entwickelt. Er dient speziell zur Erkennung von Pestiziden mit insektizider Wirkung. Dazu wird das Makrozoobenthos bezüglich ihrer Empfindlichkeit auf Pestizide eingestuft und pro Standort bewertet. Die Pestizide stammen mehrheitlich von der Landwirtschaft, können aber auch von Privatgärten oder weiteren Quellen kommen. Neuere Studien zeigen, dass der SPEAR-Index auch auf den toxischen Stress anspricht, der durch einen Cocktail aus Mikroverunreinigungen (inkl. Medikamente, Körperpflegeprodukte und Pestizide) entsteht [8]. Der Index wurde für Deutsche Gewässer geeicht und eignet sich nur bedingt für die Schweiz. Ebenfalls resultieren auch schlechte SPEAR-Index – Werte, wenn die Morphologie an einem Messstandort schlecht ist und sich keine anspruchsvollen Arten ansiedeln können. Er ist vor allem nützlich, um Gebiete im gleichen Einzugsgebiet untereinander zu vergleichen oder Veränderungen über die Zeit an einem Standort bezüglich der Belastung durch die Pestizide zu bewerten [30]. Der SPEAR-Index wird anhand der gleichen Untersuchungen berechnet wie der obenstehende IBCH-Index; somit sind Daten für die gleichen Standorte und Jahre verfügbar.

Beobachtungen

Ähnlich wie beim obenstehenden IBCH-Index zeigen die Saane und die Wigger die besten Resultate mit überwiegend guten oder sehr guten SPEAR-Index-Werten. Alle übrigen Messstellen zeigen durchgehend mässige bis unbefriedigende Index-Werte. An 12 der gesamthaft 14 untersuchten Messstellen wurden bei allen Probenahmen nur mässige bis schlechte Bewertungen erreicht.

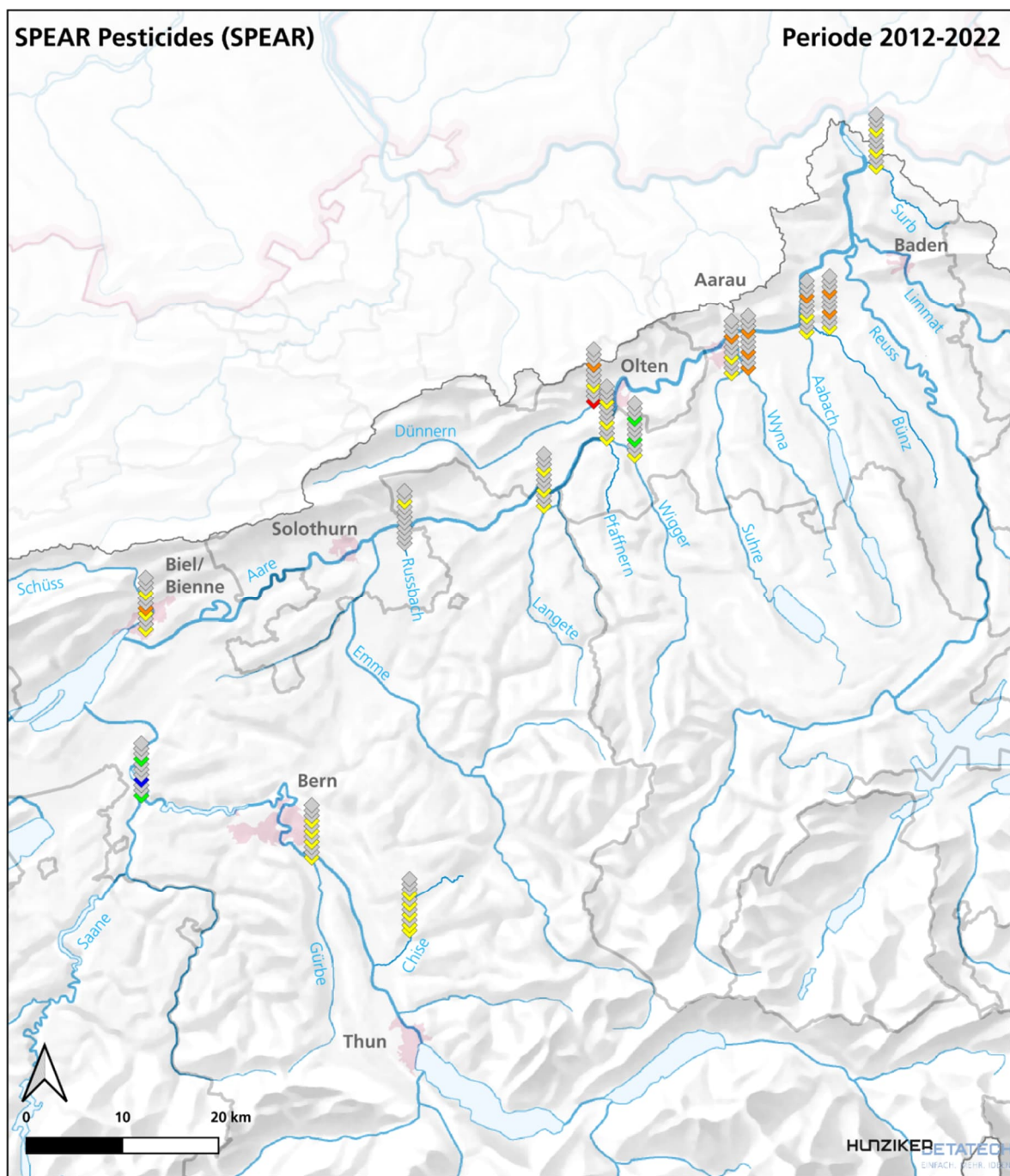
Interpretation

Es zeigt sich ein ähnliches Bild wie für den IBCH, allerdings praktisch an allen Untersuchungsstandorten mit schlechteren Bewertungen des SPEAR-Index als des IBCH. Einzig anhand des SPEAR-Index kann, aufgrund eingangs erwähnter Einschränkungen, keine direkte und verlässliche Interpretation bezüglich der Pestizidbelastung erfolgen. Die vielen mässigen bis unbefriedigenden Index-Werte zeigen jedoch auf, dass in vielen seitlichen Zuflüssen der Aare sensible Arten bezüglich Pestizidbelastung des Makrozoobenthos weitgehend fehlen. Die Resultate stimmen mit aktuellen Forschungsergebnissen der Eawag und des Oekotoxizentrums überein, die bei einem Grossteil von kleineren Gewässern in landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten eine starke Belastung mit Pflanzenschutzmitteln nachgewiesen haben [31].

Für einzelne Gewässer können detaillierte Einzugsgebietsanalysen und die kombinierte Interpretation der Analyseresultate von Messungen der Mikroverunreinigungen und der Makrozoobenthos – Taxaliste weitergehende Erkenntnisse liefern. Dafür sind jedoch spezifische Untersuchungen pro Gewässer-Einzugsgebiet nötig.

Grundlagen und Links

➔ Siehe Kapitel 3.4.1



Bewertung

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht
- Keine Daten

Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

Zeitliche Entwicklung

- 2022
- 2021
- 2020
- 2019
- 2018
- 2017
- 2016
- 2015
- 2014
- 2013
- 2012

Abbildung 42: Beurteilungen des SPEAR Koeffizienten im Einzugsgebiet der Aare.

3.4.3 Kieselalgen – DI-CH

Erläuterung:

Kieselalgen (Diatomeen) sind für die Gewässerbeurteilung in Ergänzung zu chemischen Stichproben geeignet, weil ihre Verteilung und Häufigkeit von der Wasserqualität über ein mittleres Zeitintervall von einigen Tagen bis Wochen abhängig sind. Sie reagieren somit viel schneller auf Störungen als Fische oder das Makrozoobenthos, zeigen aber trotzdem die Wirkung über ein Zeitintervall und nicht nur einer momentanen Stichprobe. Mit dem Modul Kieselalgen (DI-CH) kann vor allem der Zustand der Fliessgewässer bezüglich der Nährstoffbelastung bewertet werden. So bildet die Bewertung der Kieselalgen eine ideale Ergänzung zu den chemischen Nährstoffuntersuchungen [2]. Im Unterschied zum Makrozoobenthos oder den Fischen erlaubt der DI-CH jedoch keine gesamtheitliche Gewässerbewertung mit Aussagen zum Lebensraum oder des Abflussregimes. Die Untersuchung der Kieselalgen erfolgt in der Aare seit 2001 systematisch und immer an den gleichen Messstellen. Vorliegend werden die Resultate von vier der 13 Messstellen an der Aare für die Untersuchungen im Jahr 2022 sowie die Untersuchungsergebnisse der Seitengewässer seit 2012 dargestellt und ausgewertet. Die Seitengewässer Chise, Gürbe, Saane, Schüss, Russbach, Langete, Pfaffern, Wigger, Suhre, Wyna, Aabach, Bünz und Surb wurden 2012, 2015 und 2019 beprobt, einzelne auch zusätzlich in anderen Jahren.

Beobachtungen

Die Resultate der drei Untersuchungskampagnen seit 2001 für die Aare wurden im Biologiebericht ausgewertet und interpretiert [6]. Die vier relevanten Messstellen an der Aare in Biel, Murgenthal, Aarau und Leuggern (Felsenau) zeigen im Jahr 2022 sehr gute bis gute DI-CH Bewertungen. Unter Berücksichtigung aller Messstellen und auch der Untersuchungen von 2012 lässt sich kein oder höchstens ein schwacher Trend zur Verschlechterung des DI-CH Index im Längsverlauf der Aare feststellen [6].

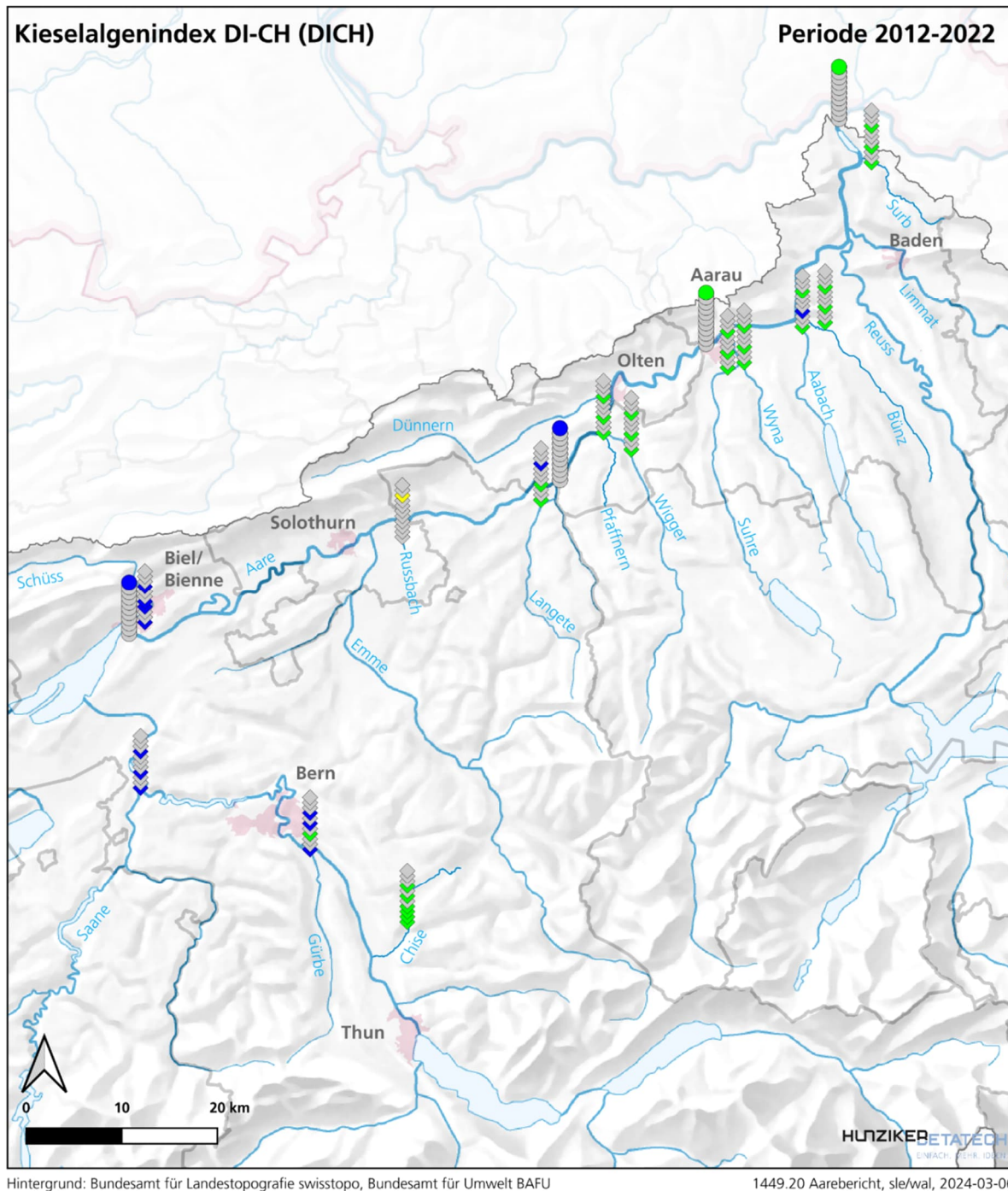
Bei den Seitenzuflüssen werden bis auf den Russbach (mässig im Jahr 2020) alle Messstellen bezüglich des DI-CH mit sehr gut bis gut bewertet.

Interpretationen

Die Resultate des DI-CH Index bestätigen die geringe Nährstoffbelastung der Aare basierend auf den chemischen Messungen. Die ökologischen Ziele der Gewässerschutzverordnung werden in diesem Parameter vollständig erfüllt. Bei den Seitengewässern zeigt der DI-CH Index ebenfalls gute Resultate, obwohl in den chemischen Untersuchungen für einige Seitenzuflüsse der Aare erhöhte Nährstoffbelastungen festgestellt wurden (z.B. Wyna, Bünz, Surb bei den Stickstoff-Parametern und viele der Seitenbäche bei den Phosphor- und Phosphat-Parametern). Anhand des DI-CH lassen sich die Gewässer mit generell schwacher Nährstoffbelastung nicht besser differenzieren als direkt anhand der chemischen Untersuchungen.

Grundlagen und Links

- [6] Hydra AG, AquaPlus AG SimplexDNA 2023: Biologische Untersuchung Aare zwischen Bielersee und Rhein 2022, Herausgeber: Kantone Bern, Solothurn und Aargau.
[Biologische Untersuchung Aare zwischen Bielersee und Rhein](#)
 - [26] Kanton Bern, Berichte Gewässerqualität
 - [Zustand Fliessgewässer: Region Sense-Aaretal](#)
 - [Zustand Fliessgewässer: Region Seeland-Berner Jura](#)
 - [27] REP Oesch: Leitbild, Zustandsberichte und Massnahmenplanung
<https://so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/wasser/integrale-wasserwirtschaft/rep-oesch/>
 - [28] Kanton Aargau: Biologische Langzeituntersuchungen
[Langzeitüberwachung der Fliessgewässer - Kanton Aargau \(ag.ch\)](#)
-



Bewertung

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht
- Keine Daten

Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

Zeitliche Entwicklung

- 2022
- 2021
- 2020
- 2019
- 2018
- 2017
- 2016
- 2015
- 2014
- 2013
- 2012

Abbildung 43: Beurteilungen des Kieselalgenindex (DI-CH) im Einzugsgebiet der Aare.

3.4.4 Äusserer Aspekt

Mit dem Modul Äusserer Aspekt werden die Parameter Schlamm, Trübung, Verfärbung, Schaum, Geruch, Eisensulfid, Kolmation, Feststoffe/Abfälle, heterotropher Bewuchs und Pflanzenbewuchs untersucht und beurteilt. Dies erlaubt, mögliche Ursachen für eine Beeinträchtigung der Gewässerqualität festzustellen und zu identifizieren. Der Äussere Aspekt wird bei gewässerbiologischen Untersuchungen (wie Makrozoobenthos oder Kieselalgen) grundsätzlich immer mit aufgenommen. Die Methode erlaubt eine erste Grobbeurteilung des Gewässerzustandes eines Standortes oder eines Gewässerabschnittes.

Beobachtungen

In der nachfolgenden Karte wird jeweils die Bewertung des schlechtesten Parameters des Moduls Äusserer Aspekt dargestellt, sofern dieser eine nicht natürliche Ursache hat. In der Tabelle 3 werden zusätzlich alle Parameter aufgelistet, welche eine relevante Belastung anzeigen. Die Kategorien, für welche keine Belastungen gefunden wurden, sind nicht erwähnt.

Tabelle 3: Bewertung des Äusseren Aspekts

Gewässer	Wenig/mittel	Viel	Ursprung der Belastung
Chise	Schaum (mehrmals), Eisensulfid, Kolmation und Trübung	-	unbekannt (nicht verfügbar)
Gürbe	Eisensulfid (mehrmals), Schaum (mehrmals), Kolmation und übrige Abfälle	-	unbekannt (nicht verfügbar)
Saane	Schaum (mehrmals)	-	unbekannt (nicht verfügbar)
Schüss	Kolmation, Schaum	Farbe, Trübung	unbekannt (nicht verfügbar)
Langete	Trübung, Farbe	-	unbekannt (nicht verfügbar)
Pfaffnern	Kolmation (durchgehend), Eisensulfid, Schaum, übrige Abfälle	-	anthropogen
Wigger	Feststoffe	Kolmation	anthropogen
Suhre	Eisensulfid, Schaum (durchgehend)	Kolmation (mehrmals), übrige Abfälle	anthropogen
Wyna	Kolmation, (durchgehend) Schaum (mehrmals) und übrige Abfälle (durchgehend)	-	anthropogen
Aabach	Kolmation (durchgehend), Schaum (mehrmals), übrige Abfälle	-	anthropogen oder unbekannt
Bünz	Eisensulfid (mehrmals), Schaum, übrige Abfälle	Kolmation, Schlamm	Schlamm: unbekannt, Kolmation: anthropogen oder unbekannt, Rest: unbekannt
Surb	Kolmation (durchgehend), Eisensulfid, Feststoffe, Geruch, Schaum, übrige Abfälle	-	Kolmation: anthropogen oder unbekannt, Rest: unbekannt



Interpretation

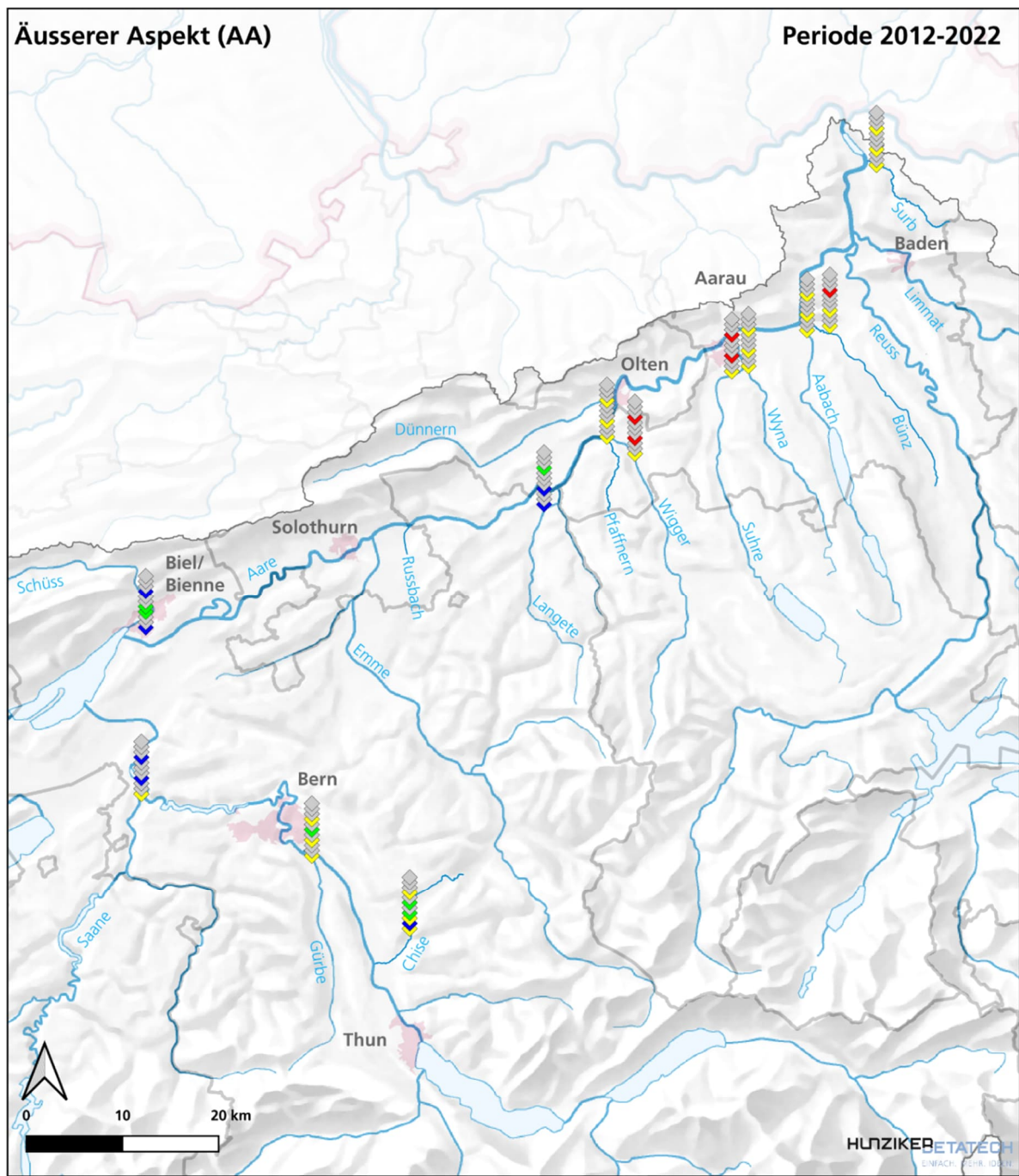
Fast alle untersuchten Gewässer weisen einige Teil-Parameter auf, die zumindest geringe bis mittlere Belastungen anzeigen. Bei diesen ist die Einhaltung der Bedingungen nach GSchV zumindest fraglich oder nicht erfüllt. Gute bis sehr gute Bewertungen wurden an der Schüss, der Langete und meistens bei der Saane festgestellt. Auch bei diesen Gewässern treten teilweise Verfärbungen und Trübungen auf; ob diese auf anthropogene Ursachen zurückzuführen sind, bleibt jedoch unklar. Die schlechtesten Bewertungen resultieren an der Wigger, Suhre und der Bünz, wo überall eine starke Kolmation festgestellt wurde und teilweise auch Abfälle und Feststoffe im Gewässer vorgefunden wurden. Die am häufigsten festgestellten Belastungen bei den untersuchten Messstellen sind Kolmation und Schaum. Letzterer kann aus Waschmitteln oder z.B. Gülleabschwemmungen stammen oder auch natürlich gebildet werden (z.B. durch sich zersetzende Blätter, Algen oder Huminstoffe). Ebenso kann Kolmation durch einen Eintrag von Schwebestoffen aus dem Siedlungsgebiet (z.B. Baustelle) oder natürlicherweise entstehen.

Der Äussere Aspekt gibt Aufschluss über die Gewässerqualität direkt bei den Probenahmestellen. Beeinträchtigungen des Äusseren Aspekts können auf natürliche Weise entstehen, widerspiegeln aber auch oft die Belastung durch die Siedlungsentwässerung (z.B. Feststoffeintrag wie WC-Papier, Schlamm und Eisensulfid als Zeichen für starke organische Belastung). Insgesamt zeigen vor allem kleinere Gewässer in dicht besiedelten Einzugsgebieten häufig eine ungenügende Bewertung des Äusseren Aspekts. Auch bei gut funktionierenden Abwasserreinigungsanlagen können Gewässerbelastungen durch Entlastungen bei Regenbecken und Hochwasserentlastungen oder durch unsachgemässe Einleitungen von Oberflächen und von Baustellen resultieren. Da diese meist nur kurzzeitig und vorübergehend auftreten, ist die Lokalisierung und Prävention besonders schwierig.

Auch in der Aare treten deutliche Belastungen des Äusseren Aspekts auf. Während in der fliessenden Welle höchstens ab und zu Schaum festgestellt wurde, finden sich an der Gewässersohle und im Uferbereich bei allen untersuchten Standorten bedeutende Belastungen durch Abfall und Kolmation und an vielen Stellen auch Verschlammung und Eisensulfid [6].

Grundlagen und Links

- [6] Hydra AG, AquaPlus AG SimplexDNA 2023: Biologische Untersuchung Aare zwischen Bielersee und Rhein 2022, Herausgeber: Kantone Bern, Solothurn und Aargau.
[Biologische Untersuchung Aare zwischen Bielersee und Rhein](#)
- [26] Kanton Bern, Berichte Gewässerqualität
 - [Zustand Fliessgewässer: Region Sense-Aaretal](#)
 - [Zustand Fliessgewässer: Region Seeland-Berner Jura](#)
- [27] REP Oesch: Leitbild, Zustandsberichte und Massnahmenplanung
<https://so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/wasser/integrale-wasserwirtschaft/rep-oesch/>
- [12] Aquaplus 2011: Dünnern. Gewässerökologischer Istzustand 2011. Im Auftrag des Amt für Umwelt des Kantons Solothurn.

**Bewertung**

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht
- Keine Daten

Gewässer

- Aare
- ◆ Seitengewässer

Grundlagen

- Gewässer
- Kantonsgrenze
- grössere Siedlung

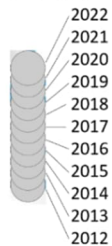
Zeitliche Entwicklung

Abbildung 44: Beurteilungen des Äusseren Aspekts (Gesamt Aspekt) im Einzugsgebiet der Aare.

3.4.5 Synthese Bioindikation

Die analysierten Bioindikatoren zeigen, dass die Seitenzuflüsse der Aare vielerorts nur eine mässige bis unbefriedigende biologische Gewässerqualität aufweisen. Die generell gute Bewertung des DI-CH (Kieselalgen) lässt darauf schliessen, dass die Hauptprobleme nicht in der Nährstoffbelastung liegen. Die Resultate der Makrozoobenthos-Untersuchungen (IBCH, SPEAR) zeigen, dass eine Kombination verschiedener Belastungsquellen in den dicht besiedelten und intensiv landwirtschaftlich bewirtschafteten Einzugsgebieten summarisch zur Belastung für die Lebensgemeinschaften führt. Neben der stofflichen Belastung sind diese Gewässer häufig auch ökomorphologisch in einem verarmten Zustand. Die Kombination der stofflichen Belastung und fehlender Strukturvielfalt wirkt sich negativ auf die Vielfalt und Abundanz von beispielsweise Fischen und Makrozoobenthos aus.

Vorliegende Analysen der biologischen Gewässerqualität der Seitenzuflüsse lässt sich mit der biologischen Gewässerqualität der Aare kombiniert interpretieren. Die biologischen Untersuchungsergebnisse der Aare sind im Biologiebericht [6] enthalten. Während die Aare heute eine fast durchgehend sehr gute Wasserqualität aufweist (vgl. Kapitel 3.1.10), steht ihre ökologische Funktionsfähigkeit unter vielfältigem Druck. Wichtige anthropogene Einflussfaktoren und Belastungen für die Gewässerbiologie sind:

- **Wasserkraftnutzung:** Wehre, Staubereiche, Restwasserstrecken, Schwall / Sunk, unterbrochener Geschiebetrieb, Sedimentation
- **Morphologie:** über weite Strecken verbaute Ufer und dadurch Einschränkung der natürlichen Flusssdynamik, Infrastrukturbauten entlang der Ufer und als Gewässerquerungen, stark verbaute Siedlungsgebiete
- **Erwärmung der Wassertemperaturen:** Die fortschreitende Klimaveränderung in Kombination mit morphologischen Defiziten und Einleitungen von Wasser mit erhöhter Temperatur (ARA, Siedlungsentwässerung, Kühlwasser Industrie und AKW Beznau) führt zu bereits stark erhöhten Wassertemperaturen in der Aare (vgl. Kapitel 3.2.1). Diese führen zu einer Veränderung der natürlicherweise vorkommenden Lebensgemeinschaften. Die höheren Temperaturen fördern auch die Ansiedlung und Ausbreitung von Neobiota.
- **Artenrückgang und Neobiota:** Die seit über 20 Jahren durchgeführten biologischen Untersuchungen erlauben es, die Bestandsentwicklung von Fischen, dem Makrozoobenthos und Kieselalgen zu verfolgen. Sowohl die Individuendichte als auch die Anzahl Taxa des Makrozoobenthos hat seit 2002 in der Aare sehr stark abgenommen. Dabei fällt auf, dass vor allem die anspruchsvollen Insektenlarven in den vergangenen 10 Jahren Verluste erzielt haben (Abbildung 47). Dieser Rückgang ist wahrscheinlich auf eine Kombination verschiedener Faktoren zurückzuführen, einen wesentlichen Einfluss hat die rasche Zunahme von invasiven Neozoen [6].

Die verschiedenen Einflussfaktoren beeinflussen sich gegenseitig und können in Kombination auch verstärkte negative Effekte auf die Gewässerbiologie verursachen. Während die morphologischen Defizite und die Auswirkungen der Wasserkraft schon seit vielen Jahrzehnten bestehen, sind die Probleme in Zusammenhang mit Klimaveränderungen (steigende Wassertemperaturen, extremere Hochwasserereignisse, längere Trockenperioden) und die Veränderung der Artenzusammensetzung jüngere Effekte, die erst in den vergangenen rund 20 Jahren in den Fokus gelangt sind. Nachfolgend werden daher die Bestandsentwicklungen der Fische, Makrozoobenthos und Kieselalgen basierend auf Inhalten des Biologieberichts [6] dargestellt.

Fische

Die Fischdichten haben im Vergleich der Aufnahmen 2012 und 2022 zugenommen, sind aber immer noch niedrig. Ebenfalls hat sich die Anzahl Arten erhöht, wobei sich weitere gebietsfremde Arten wie Sonnenbarsch, Giebel, Rotfeder, Karpfen und Wels ansiedeln konnten und einheimische Arten wie Aal, Edelkrebs, Trüsche, Nase und Seeforelle verschwunden sind.

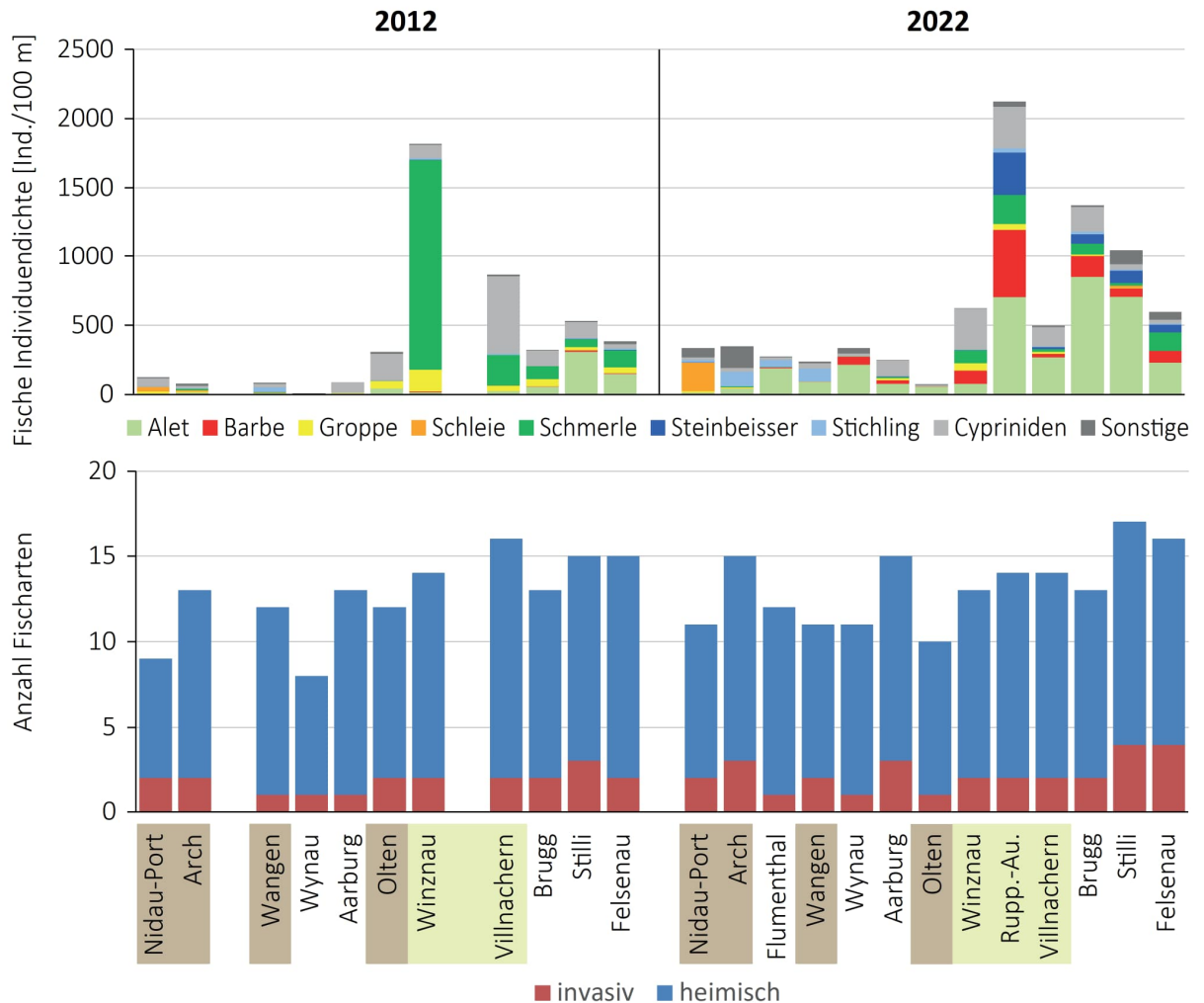


Abbildung 45: Jungfische in der Aare zwischen Bielersee und Rhein (oben) und Anzahl unterschiedlicher gebietsfremder und heimischer Arten (unten). Quelle Abbildung: [6]

Die Veränderung des Artenspektrums steht auch in direktem Zusammenhang mit der Klimaveränderung und der Erhöhung der Wassertemperaturen in der Aare. In Hitzesommern werden die Wassertemperaturen auch in der Aare für temperaturempfindliche Organismen, wie z.B. Äschen oder Bachforellen kritisch [1]. Wassertemperaturen von über 19°C lösen langfristig bei kältebedürftigen Fischarten wie Äschen oder Forellen erhöhten Stress aus. Ab ca. 22°C stellen viele Fischarten ihre Wandertätigkeit ein und Wassertemperaturen über ca. 24°C während längeren Zeiträumen können auch für adulte Äschen und Bachforellen tödlich sein [9]². Die erhöhten Wassertemperaturen führen bei den gebietstypischen Fischarten der Aare auch zu einer erhöhten Anfälligkeit für Krankheiten.

Während kältebedürftige Fischarten wie die Äsche oder Bachforelle mit steigenden Wassertemperaturen schlecht umgehen können und in vielen Fließgewässern im Rahmen der Klimaerwärmung verschwinden werden, gibt es auch Arten wie z.B. Brachse oder Wels, die von den steigenden Wassertemperaturen profitieren und sich ausbreiten. Die Aare zwischen Bielersee und Mündung in den Rhein gehört natürlicherweise zur Äschen- oder gar Barbenregion. Durch die Flusskraftwerke und die Erhöhung der

² In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben für den Optimumsbereich und den oberen kritischen Bereich. Elliot (1981) bezeichnet für adulte Bachforellen den Bereich von 4 bis 19° als Optimum und 19-30° als kritischen Bereich.



Wassertemperaturen verschiebt sich dies zusehends zur Brachsmenregion. Die Äsche reagiert auf erhöhte Wassertemperaturen sogar noch etwas sensibler als die Bachforelle. Letzte wandert in Hitzeperioden teilweise in kühlere Seitenbäche auf. Bei der Aare in Brugg war die Temperatur 2018 und 2022 während über 10 Stunden konstant über 24°C (siehe Kapitel 3.2.1), was bei vielen Arten Stress auslöst und für einige Individuen letal ist. Bei den Untersuchungen 2022 zwischen Bielersee und Rhein konnten nur noch vereinzelte Bachforellen gefangen und die Äsche sogar nur noch mittels eDNA-Analyse nachgewiesen werden. Die Kombination aus hydromorphologischen Defiziten (Verbauung, Strukturmangel, Wanderhindernisse, veränderte Abflüsse), fehlendem Laichsubstrat und die Erwärmung der Wassertemperaturen führt zu Bedingungen, die das Überleben von Äsche und längerfristig auch Bachforelle in der Aare unterhalb des Bielersees in Frage stellt.

Makrozoobenthos

Während einige gebietsfremde Fischarten in der Vergangenheit auch aktiv eingeführt und angesiedelt wurden, machen heute vor allem eingeschleppte Arten des Makrozoobenthos wie z.B. der räuberische Grosse Hockerflohkrebs (*Dikerogammarus villosus*) und die Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis bugensis*) den einheimischen Arten Konkurrenz. Alarmierend dabei ist, wie rasch sich diese Arten ausbreiten und wie hoch deren Anteil an der Gesamtbesiedelung schon ist (Abbildung 45,).

Nebst der Zunahme von Neozoa ist eine deutliche Abnahme der Arten und Individuendichte des Makrozoobenthos zu verzeichnen. Der stärkste Rückgang fand von 2002 nach 2012 statt, setzte sich aber bis 2022 weiter fort. Abgenommen haben vor allem empfindliche Insektenlarven der Eintagsfliegen, Köcherfliegen und Käfer. Der Rückgang hat unterschiedlichste Faktoren, nebst den Neozoa haben die Klimaveränderungen einen grossen Einfluss. Durch starke Hochwasserereignisse können zudem Tiere direkt abgeschwemmt werden oder die durch das Hochwasser verursachten Sandablagerungen führen zu einer Reduktion geeigneter Lebensräume und dadurch der Organismen.

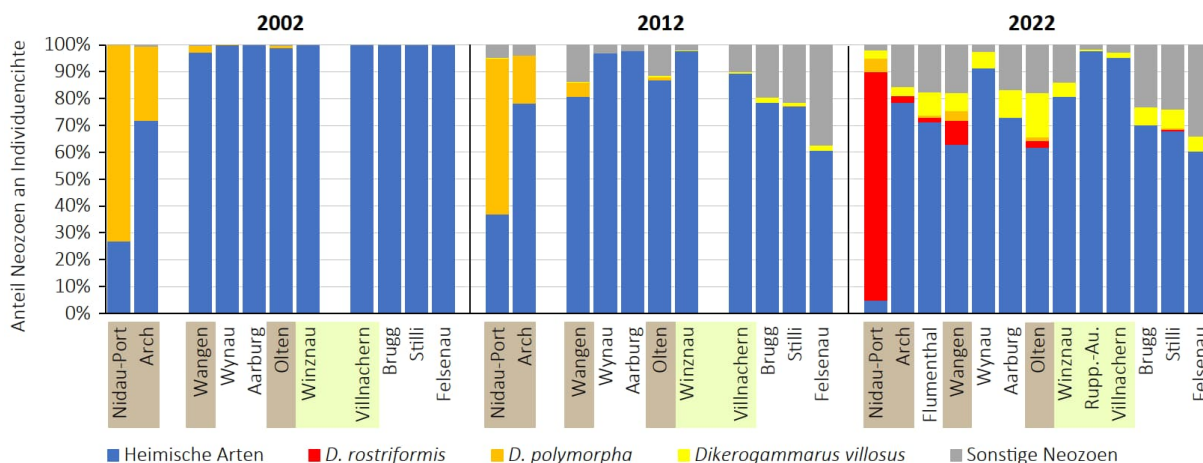


Abbildung 46: Anteil heimischer und gebietsfremder Makrozoobenthos-Arten an der Gesamtbesiedelung der Aare zwischen Bielersee und Rhein. Quelle Abbildung: [6]

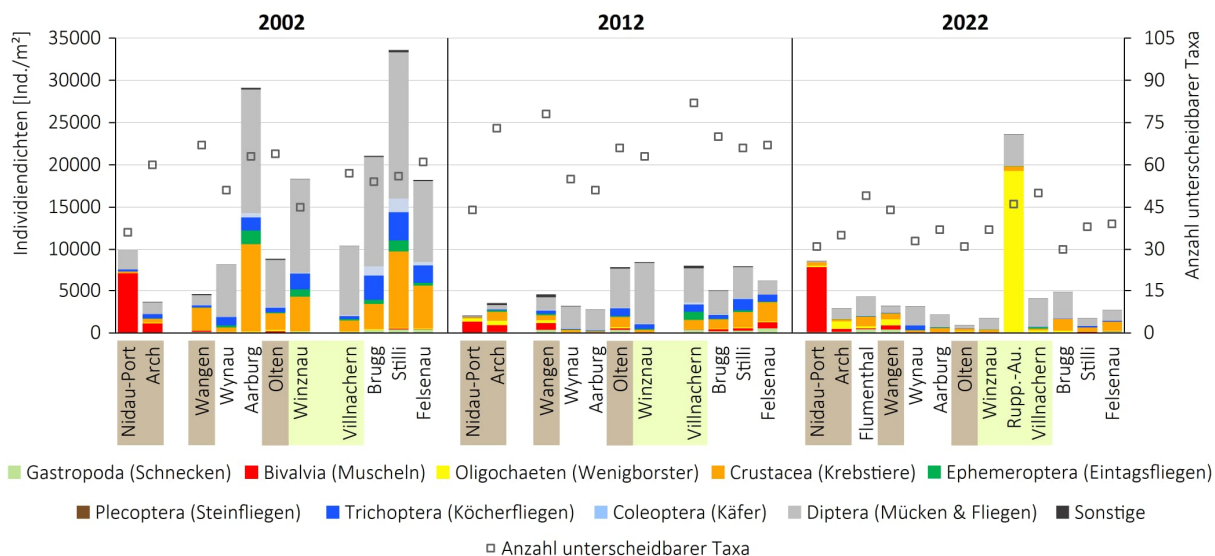


Abbildung 47: Makrozoobenthos in der Aare zwischen Bielersee und Rhein. Quelle Abbildung: [6]

Kieselalgen

Auch bei den Kieselalgen lässt sich eine starke und schnelle Zunahme der Neophyten nachweisen. Während bei den Untersuchungen 2001 noch sehr geringe Anteile an gebietsfremden Arten gefunden wurden, machen diese inzwischen im Mittelwert rund 25% aller Arten aus. An der untersten Messstelle in Felsenau betrug der Anteil Neophyten bei den Untersuchungen 2022 bereits 43.4%, Tendenz steigend! [6]

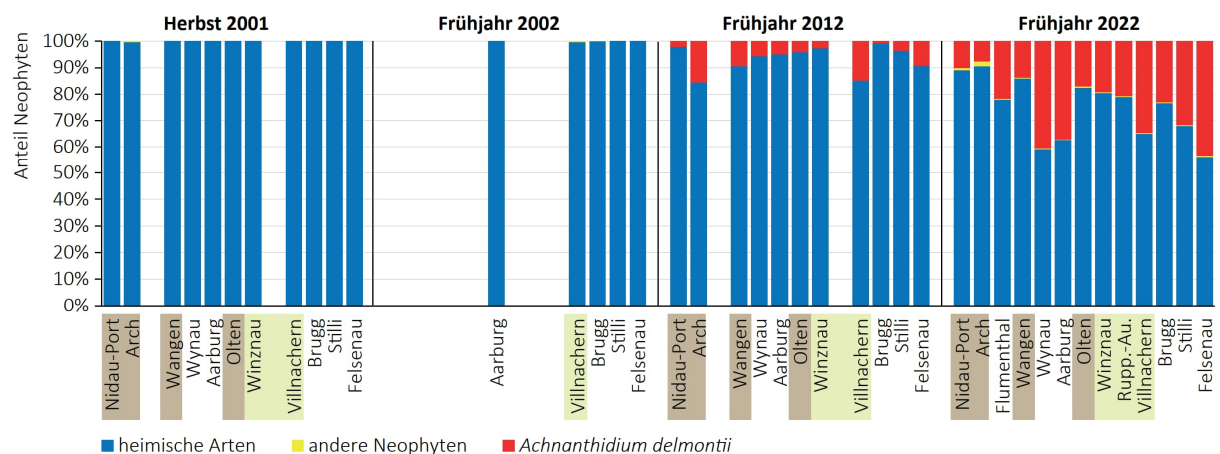


Abbildung 48: Anteil Neophyten der Aare zwischen Bielersee und Rhein. Quelle Abbildung: [6]



3.5 Mikroverunreinigungen

Erläuterungen Parameter

Schweizer Gewässer im Mittelland und in den grossen Talebenen sind oftmals mit organischen Mikroverunreinigungen belastet. Dazu gehören Einträge aus der Landwirtschaft, Siedlungs- und Strassenabwasser, Einträge von der Abwasserreinigung und Industrie wie auch von Deponien und Altlasten. Einträge von kommunalem Abwasser sowie Industrie und Gewerbe beeinträchtigen vor allem die mittलगrossen bis grossen Gewässer. Kleinere Gewässer, welche kein gereinigtes Abwasser aus einer Abwasserreinigungsanlage (ARA) führen, werden oft durch die Landwirtschaft oder die Siedlungsentwässerung (Mischwasserentlastungen) und häufig auch durch die Strassenentwässerung beeinträchtigt.

Die Belastung der Pestizide aus der Landwirtschaft fällt typischerweise in der Hauptapplikationszeit von März bis Oktober an. Pestizideinträge in die Gewässer sind vor allem aus den landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten im Mittelland bekannt (siehe Bünz Kapitel 0 oder Gewässerbericht des Kanton Bern [26]). Nebst der Landwirtschaft können Pestizide auch von weiteren Quellen in der Siedlung, wie z.B. Gebäudefassaden, privaten Gärten, etc. in die Gewässer eingetragen werden [34].

Arzneimittel werden das ganze Jahr angewendet und werden daher im Gegensatz zu den Pestiziden kontinuierlich über das ganze Jahr in Gewässer eingetragen. Sie stammen aus dem gereinigten Abwasser, da viele ARA noch keine Reinigungsstufe zur Elimination der Mikroverunreinigungen haben oder diese nicht vollständig entfernen. Arzneimittel werden ebenfalls über Mischwasserentlastungen eingetragen.

Die Beurteilung der Belastung erfolgt durch zeitproportionale Zweiwochenmischproben, welche gemäss den chronischen Qualitätskriterien (CQK) des Ökotoxizentrums [17] und gemäss der Gewässerschutzverordnung [38] ausgewertet werden. Die Bewertung der Mikroverunreinigungen nach Qualitätskriterien erfolgt anhand des Risikoquotienten (siehe Abbildung 49). Für die Bewertung verwendet diese Methode den jeweils schlechtesten Wert eines Stoffes während der Untersuchungsperiode. Zur Erfassung der Mischungstoxizität werden die Stoffe nach Wirkstoffklassen oder taxonomischen Gruppen zusammenaddiert [4], [17]. Bei der Bewertung nach Gewässerschutzverordnung wird überprüft, ob ein Messwert die numerischen Grenzwerte überschreitet [38]. Die Resultate sind in Anhang 6 zusammengestellt.

Abflussproportionale Stoffproben erlauben es, die Stofffrachten von Mikroverunreinigungen zu bestimmen. Somit kann abgeschätzt werden, welche Menge eines Stoffes im Einzugsgebiet in das Gewässer gelangt. Damit kann langfristig aufgezeigt werden, wie Massnahmen zur Reduktion von Einträgen Wirkung zeigen. Die Stoffe haben allerdings stark unterschiedlich toxische Auswirkungen (mehrere Grössenordnungen), weshalb die Stofffracht nichts über das ökotoxikologische Risiko aussagt. Trotzdem sind hohe Frachten von anthropogen eingetragenen Stoffen nicht erwünscht und sind zu reduzieren. Bis 2023 waren Abschätzungen der Stofffracht nur bei der Messstation an der Aare bei Brugg im Kanton Aargau möglich.

Beurteilung		Bedingung/Beschreibung ($RQ = MEC / QK$)		Einhaltung Qualitätskriterium (QK)
	sehr gut	die gemessene Umweltkonzentration (MEC) ist mehr als 10 mal kleiner als das Qualitätskriterium (QK)	$RQ < 0.1$	QK eingehalten
	gut	die gemessene Umweltkonzentration (MEC) ist weniger als 1 und bis zu 10 mal kleiner als das Qualitätskriterium (QK)	$0.1 \leq RQ < 1$	
	mässig	die gemessene Umweltkonzentration (MEC) ist kleiner als das doppelte Qualitätskriterium (QK)	$1 \leq RQ < 2$	QK überschritten (nicht eingehalten)
	unbefriedigend	die gemessene Umweltkonzentration (MEC) ist kleiner als das zehnfache Qualitätskriterium (QK)	$2 \leq RQ < 10$	
	schlecht	die gemessene Umweltkonzentration (MEC) ist gleich wie oder grösser als das zehnfache Qualitätskriterium (QK)	$RQ \geq 10$	

Abbildung 49: Berechnung des Risikoquotienten für die Bewertung der Mikroverunreinigungen (Wittmer 2014, [4]).

Beobachtungen

Im Vergleich zu den Nährstoffparametern gibt es heute noch deutlich weniger Stationen, an denen repräsentative Messungen von Mikroverunreinigungen vorliegen. Vor 10 Jahren gab es aber weniger Untersuchungen als heute und das untersuchte Substanzspektrum war noch deutlich kleiner. Aus diesem Grund kann keine so umfassende Analyse für die Mikroverunreinigungen in der Aare und ihren Zuläufen vorgenommen werden, wie bei den anderen Parametern.

Aare

Die Aare wird seit 2018 bei Brugg auf mehr als 80 organische Mikroverunreinigungs-Substanzen untersucht. Dabei zeigte einzig der Schmerzmittelwirkstoff Diclofenac insbesondere in den Wintermonaten einzelne Überschreitungen der gesetzlichen Grenzwerte (siehe). Der laufende Ausbau vieler ARAs um eine zusätzliche Reinigungsstufe zur Elimination von organischen Mikroverunreinigungen hat zum Ziel, Einträge von solchen Stoffen in Gewässern stark zu reduzieren und damit die Anforderungen der GSchV zu erfüllen. Die Diclofenac-Konzentration in der Aare bei Brugg hängt massgeblich von den Einträgen unterhalb des Bielersees ab. Die Einträge von oberhalb des Sees werden im See zum grössten Teil abgebaut. Die Einträge im Bereich unmittelbar unterhalb des Bielersees führen sporadisch zu Konzentrationen, die den Grenzwert der Gewässerschutzverordnung nicht einhalten. Im untersuchten Zeitraum von 2018-2022 wurde noch keine ARA unterhalb des Bielersee mit einer MV-Stufe ausgerüstet. Es ist deshalb bisher kein abnehmender Trend in den Daten ersichtlich.

Anhand der gemessenen Einzelstoffe in der Aare bei Brugg können zudem über die Stoffklassen Pestizide und Arzneimittel die Stofffrachten pro Klasse berechnet werden. Für die Stoffklassen Abbauprodukte, Industriechemikalien und Lebensmittelzusatzstoffe sind nur einzelne Stoffe enthalten und es kann keine verlässliche Angabe zu den Gesamtfrachten dieser Stoffklassen gemacht werden. Es fällt auf, dass die Arzneimittel in höheren Frachten vorkommen als die Pestizide (). Die höchsten Frachten fallen allerdings bei den Industriechemikalien und Lebensmittelzusatzstoffen an, obwohl nur einzelne Stoffe gemessen wurden. Zum Teil werden Industriechemikalien und Süssungsmittel in viel grösseren Mengen verwendet (als z.B. Arzneimittel) sind aber nach heutigem Stand des Wissens ökotoxikologisch in den vorliegenden Konzentrationen unbedenklich. Trotzdem sind sie im Gewässer nicht erwünscht.



In der Aare werden zudem seit 2021 beim Eintritt in den Bielersee (Hagneck) und bei Wynau Proben auf mehrere 100 verschiedene Mikroverunreinigungen gescreent [26]. Die kontinuierliche Dauerüberwachung mittels hochauflösender Massenspektrometrie wird es in Zukunft erlauben, Trends in der Belastung vermehrt auch von Industriechemikalien und weiteren Stoffen zu erfassen.

In kleineren Fliessgewässern im Einzugsgebiet der Aare wurden ebenfalls an einzelnen Stellen Untersuchungen zu Mikroverunreinigungen durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse der zwei Messstellen an der Dünern und der Bünz im Einzugsgebiet der Aare werden nachfolgend etwas ausführlicher beschrieben. Die Ergebnisse für den Chrümlisbach, Ballmoosbach, Urtenen etwas kürzer in der Interpretation zusammengefasst. Die Auswahl erhebt keinen Anspruch, repräsentativ für das gesamte Aare-Einzugsgebiet zu sein.

Dünern & Bünz

Die **Dünern** weist für die meisten Einzelstoffe eine sehr gute bis gute Bewertung auf. Nur Diclofenac wird als unbefriedigend bewertet und erfüllt die Grenzwerte der GSchV in keiner der untersuchten Proben seit 2020. Zusätzlich erfüllen Glyphosat und Mecoprop die Grenzwerte der GSchV nicht, erfüllen aber die chronischen Qualitätskriterien des Ökotoxizentrums. Dies kommt daher, dass in der GSchV keine numerische Anforderung basierend auf ökotoxikologischen Kriterien aufgeführt ist und deshalb der generelle Grenzwert für organische Pestizide von 0.1 µg/l je Einzelstoff gilt. Dieser liegt unterhalb des chronischen Qualitätskriteriums des Ökotoxizentrums.

Die Mischungstoxizität für Arzneimittel und weitere Stoffklassen wird meistens als unbefriedigend (einige Werte zwischen mässig und schlecht) bewertet. Für die Pestizide wird die Mischungstoxizität jedoch mit sehr gut bis gut bewertet. Bezüglich der Mischungstoxizität für die taxonomische Gruppe der Invertebraten (Wirbellosen) und Vertebraten (Wirbeltiere, Fische) ergibt sich eine Bewertung zwischen mehrheitlich gut und mässig und für Pflanzen mit sehr gut (Abbildung 52).

In der **Bünz** ergibt sich für die meisten Einzelstoffe eine sehr gute bis gute Bewertung. Die meisten der mehr als 100 gemessenen Einzelstoffe haben eine sehr gute bis gute Bewertung im Untersuchungsjahr 2022. Ein Insektizid und zwei Herbizide weisen eine mässige, 2 Arzneimittel, 2 Herbizide und 2 Insektizide eine unbefriedigende und 2 Insektizide eine schlechte Bewertung hinsichtlich dem chronischen Qualitätskriterium dieser Stoffe auf. Folgende Pestizide erfüllen den generellen Grenzwert der GSchV nicht, haben aber einen höheren Wert gemäss den chronischen Qualitätskriterien des Ökotoxizentrums: Chloridazon-desphenyl, DEET, Mecoprop, Metamitron und Napropamid.

Die Mischungstoxizität für Arzneimittel und weitere Stoffklassen wird in allen Proben als unbefriedigend bis schlecht bewertet. Vor allem in der Wirkstoffgruppe der Insektizide wird die Mischungstoxizität durchgehend als mässig bis schlecht bewertet. Für alle taxonomischen Gruppen (Pflanzen, Invertebraten und Vertebraten) resultieren mässige bis schlechte Resultate bezüglich der Mischungstoxizität. Über den gesamten Untersuchungs-zeitraum sind insbesondere Invertebraten und Vertebraten einem grossen Risiko durch wenige organische Mikroverunreinigungen ausgesetzt. Diese können nachteilige Auswirkungen auf diese Wasserlebewesen haben (Abbildung 53).

Interpretationen

In der **Aare** treten nur beim Schmerzmittelwirkstoff Diclofenac einzelne Überschreitungen der Grenzwerte auf. Von den übrigen untersuchten Mikroverunreinigungen ist nach heutigem Wissensstand kein Stoff in den gemessenen Konzentrationen ökotoxikologisch bedenklich. Der hohe Abfluss der Aare gewährleistet die nötige Verdünnung, so werden direkt oder über die Zuflüsse indirekt eingeleitete Stoffe ausreichend verdünnt. Nichtsdestotrotz sollten die Schadstofffrachten möglichst weiter reduziert werden.

Die **Dünern** ist deutlich mit Arzneimittel, Industriechemikalien und weiteren Haushaltschemikalien belastet. Eine Belastung durch Pestizide ist nicht feststellbar, was sich mit Erkenntnissen aus früheren

Messungen deckt. Zwischen 2013 bis 2017 wurden die Anforderungen für Pflanzenschutzmittel eingehalten [13]. Die Belastung der Mikroverunreinigungen der Dünnern kommt deshalb hauptsächlich aus der Abwasserreinigung, Siedlungsentwässerung und von Industrieabwässern. Mit dem Ausbau der ARA Falkenstein im Einzugsgebiet der Dünnern ist in wenigen Jahren bereits eine deutliche Reduktion der Mikroverunreinigungen zu erwarten.

Die **Bünz** hingegen ist sowohl durch Arzneimittel (inklusive Industrie- und Haushaltschemikalien), wie auch mit Pestiziden belastet. Nebst der Einleitung von gereinigtem Abwasser von 3 ARA und aus der Siedlungsentwässerung dürften die Einträge aus der intensiven Landwirtschaft ebenso bedeutend sein.

Die Einzugsgebiete von **Chrümlisbach** und **Ballmoosbach** sind landwirtschaftlich intensiv genutzte Gebiete. Die beiden Gewässer wurden im Rahmen des Berner Pflanzenschutzmittelprojekts mehrere Jahre untersucht [15]. Im Chrümlisbach wurden in allen Untersuchungsjahren langanhaltende und hohe Überschreitungen von Grenzwerten und ökotoxikologischen Qualitätskriterien gefunden. Die Belastung war im Ballmoosbach niedriger, aber auch dort gab es viele Überschreitungen in allen Jahren 2017 - 2022. Die Belastung sank im Verlaufe des Berner Pflanzenschutzmittel Projekts. Die Anzahl und die Höhe der Überschreitungen sind aber weiterhin hoch [15], [26]. Die Belastung durch Stoffe aus kommunalen Haushalten war in diesen beiden Bächen praktisch inexistent. Diese Befunde sind nicht unüblich für landwirtschaftlich intensiv genutzte Gebiete im Schweizer Mittelland [36].

Die **Urtenen** hat sowohl intensive Landwirtschaft im Einzugsgebiet als auch einen hohen Abwasseranteil im Abfluss. In der Urtenen führte das Schmerzmittel Diclofenac, welches vor allem über das gereinigte Abwasser eingetragen wird, praktisch ganzjährig zu Überschreitungen von gesetzlichen Vorgaben, aber auch Pestizide führten zu Überschreitungen [36]. Die ökotoxikologische Belastung war durch beide Substanzgruppen ganzjährig hoch [26].

Auch wenn viele Fortschritte in der Analytik von Spurenstoffen in den letzten Jahren erreicht wurden, gibt es immer noch Stoffe, bei welchen die Bestimmungsgrenze höher ist als das chronische Qualitätskriterium. Ein Beispiel ist das Insektizid Deltamethrin, bei welchem die Bestimmungsgrenze der heutigen analytischen Methoden bereits 10mal grösser ist als das Qualitätskriterium. Falls es nachgewiesen wird, würde es in der Bewertung direkt rot eingefärbt. Aufgrund der hohen ökotoxikologischen Relevanz von Insektiziden ist deren Bestimmung erforderlich, um das Risiko für die Wasserlebewesen abzuschätzen. Für die Stoffe, welche die GSchV nicht einhalten, aber die chronischen Qualitätskriterien des Ökotoxizentrums erfüllen, ist die Verschmutzung zwar gesetzeswidrig, aber aus gewässerökologischer Sicht ergibt sich kein dringender Handlungsbedarf.

.



Grundlagen und Links

- [26] Kanton Bern, Berichte Gewässerqualität
[Zustand Aare: Aare Screening](#), [Zustand Fliessgewässer: Region Seeland-Berner Jura](#),
[Mikroverunreinigungen](#)
- [38] Gewässerschutzverordnung (GSchV):
https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1998/2863_2863_2863/de
- [17] Ökotoxzentrum: Qualitätskriterien Mikroverunreinigungen
[Ökotoxzentrum Qualitätskriterien Vorschläge](#)
- [13] Hunziker Betatech AG 2018: Biologische Wasserqualität der Dünern (BIWaQua Due),
Technischer Bericht im Auftrag des Amt für Umwelt Kanton Solothurn
- [14] Hunziker Betatech AG 2024: Monitoring Bünztal 2017 – 2022 (im Entwurf). Darstellung und
Interpretation der Wasserqualitätsmessungen und Belastungsquellen
- [15] Amt für Landwirtschaft und Natur (LANAT) in Zusammenarbeit mit dem Berner Bauern Verband
(BEBV) Schlussbericht des Berner Pflanzenschutzmittelprojekts, Umsetzungsphase 2017-2022
[Schlussbericht des Berner Pflanzenschutzmittelprojekts](#)
- [35] Arzneimittel in Gewässern, Fachartikel AQUA & GAS, Rebekka Gulde, Pascal Wunderlin, Irene
Wittmer, Tobias Doppler, 29.02.2024
[Aqua & Gas | Plattform für Wasser, Gas und Wärme | 20240229 Arzneimittel in Gewässern
\(aquaetgas.ch\)](#)
- [36] Bundesamt für Umwelt 2022: Gewässer in der Schweiz, Reihe: Umwelt-Zustand
[Gewässer in der Schweiz \(admin.ch\)](#) (besonders Kapitel 3.1 Mikroverunreinigungen)

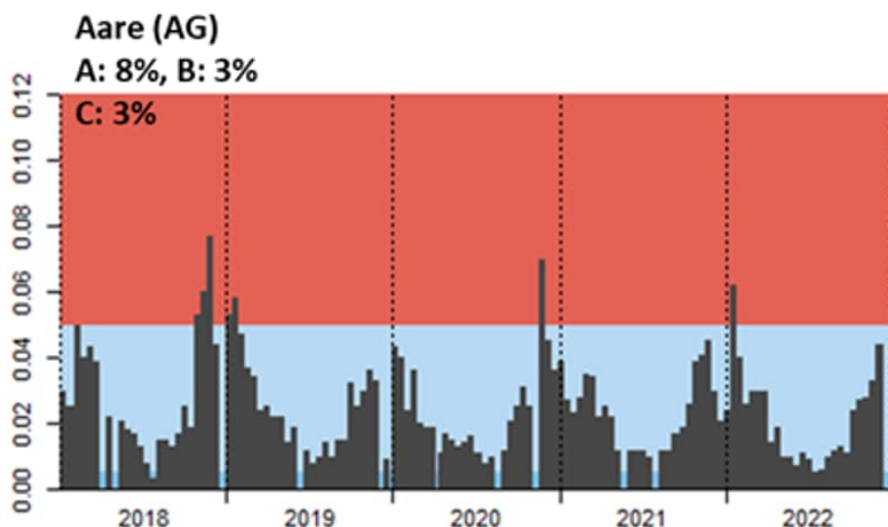


Abbildung 50: Gemessene Konzentrationsverläufe ($\mu\text{g/L}$) von Diclofenac bei der Aare in Brugg. Die Hintergrundfarben zeigen den Konzentrationsbereich im Vergleich zum Grenzwert auf. Blau bedeutet unter dem Grenzwert und dunkelblau sogar zehnfach darunter. Rot bedeutet über dem Grenzwert und dunkelrot sogar zehnfach darüber. A: Abwasseranteil; B: Abwasseranteil unterhalb von Seen; C: effektiver Abwasseranteil ohne gereinigtes Abwasser, das durch MV-Stufen (und allenfalls zusätzlich durch Seen) floss.

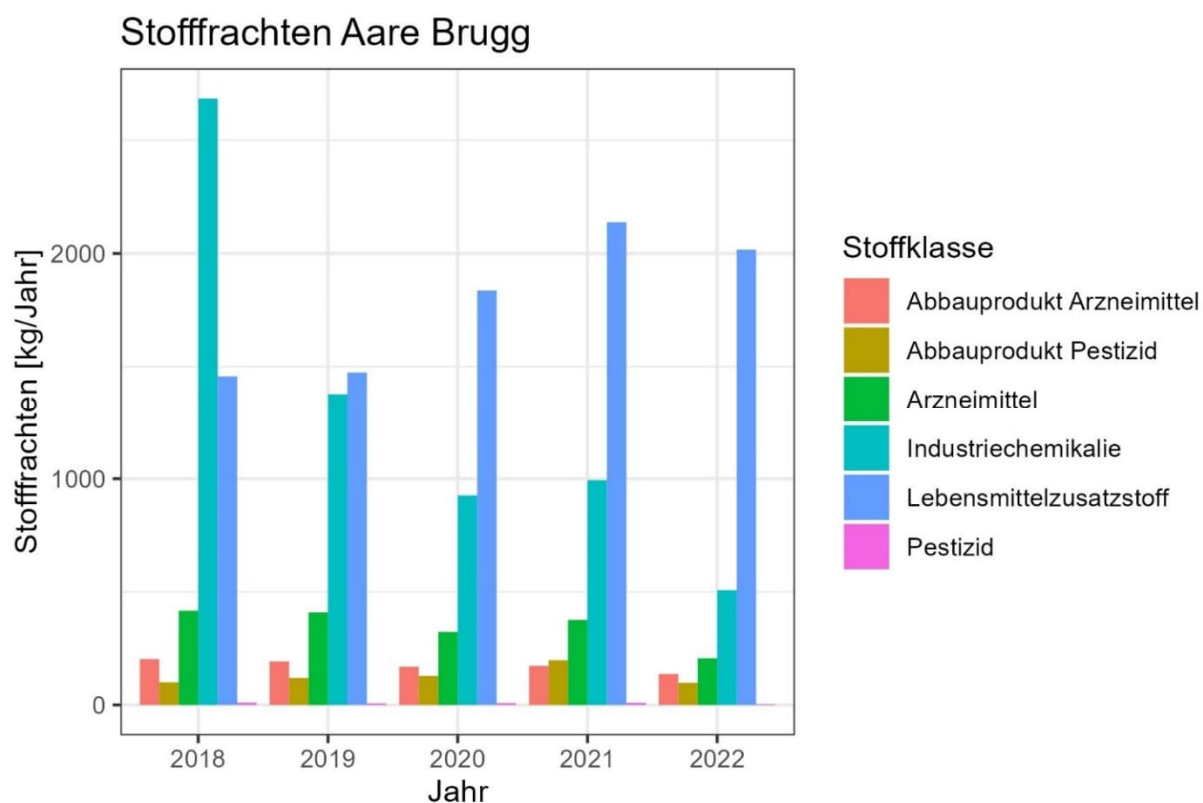


Abbildung 51: Stofffrachten der Aare bei Brugg eingeteilt in Stoffklassen. Die Stoffklassen Pestizide und Arzneimittel bestehen aus genügend vielen Einzelstoffen, um effektive Frachten der Stoffklassen zu bestimmen. In den Stoffklassen Abbauprodukte, Industriechemikalien und Lebensmittelzusatzstoffe sind nur einzelne Stoffe enthalten und es kann keine zuverlässige Aussage zu den Gesamtfrachten dieser Stoffklassen erstellt werden. Für Stoffe unterhalb der Bestimmungsgrenze wird angenommen, dass sie nicht vorkommen. Daten: Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität NAWA.

Dünnern - Olten

2020 - 2022: MV Dünnern

Mikroverunreinigungen

Zeitproportionale 14-Tages-Sammelproben

Mischungstoxizität Wirkstoffgruppen gemäss ökotoxikologischen Kriterien

Wirkstoffgruppe \ Woche	04.08.2020	27.04.2021	17.08.2021	31.08.2021	28.09.2021	15.03.2022	07.06.2022	21.06.2022	02.08.2022	Höchstwert [RQ]
Arzneimittel & weitere ²										10.1
Biozide										0.0
Fungizide										0.0
Herbizide										0.6
Insektizide										0.0

Mischungstoxizität taxonomische Gruppen gemäss ökotoxikologischen Kriterien

taxon. Gruppe \ Woche	04.08.2020	27.04.2021	17.08.2021	31.08.2021	28.09.2021	15.03.2022	07.06.2022	21.06.2022	02.08.2022	Höchstwert [RQ]
Invertebraten										1.7
Pflanzen										0.0
Vertebraten										1.9

1 Pestizid: Repellent

2 Beinhaltet Arzneimittelmetaboliten, Tierarzneimittel, Lebensmittelchemikalien und Industriechemikalien

Abbildung 52: Beurteilung der Belastung durch Mikroverunreinigungen in der Dünnern bei Olten. Beurteilung des Risikoquotienten nach [4]. (Bedeutung der Farben: blau und grün bedeuten, dass die Vorgaben eingehalten sind, gelb, orange rot sind die Vorgaben nicht eingehalten).

Bünz - Othmarsingen

2022 - MV Bünztal

Mikroverunreinigungen

Zeitproportionale 14-Tages-Sammelproben

Mischungstoxizität Wirkstoffgruppen gemäss ökotoxikologischen Kriterien

Wirkstoffgruppe \ Woche	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	33-34	35-36	37-38	39-40	41-42	43-44	45-46	47-48	49-50	51-52	Jahreshöchstwert [RQ]
Arzneimittel & weitere ⁴																											11.2
Biozide																											0.0
Fungizide																											0.1
Herbizide																											9.0
Insektizide																											167.4

Mischungstoxizität taxonomische Gruppen gemäss ökotoxikologischen Kriterien

taxon. Gruppe \ Woche	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	33-34	35-36	37-38	39-40	41-42	43-44	45-46	47-48	49-50	51-52	Jahreshöchstwert [RQ]
Invertebraten																											169.8
Pflanzen																											9.4
Vertebraten																											149.4

1 Carbamazepin-10,11 - Dihydro-10,11-Dihydroxy

2 R = Repellent

3 M = Metabolit

4 Beinhaltet Arzneimittelmetaboliten, Industriechemikalien und Repellents

Abbildung 53: Beurteilung der Belastung durch Mikroverunreinigungen in der Bünz bei Othmarsingen. Beurteilung des Risikoquotienten nach [4]. (Bedeutung der Farben: blau und grün bedeuten, dass die Vorgaben eingehalten sind, gelb, orange rot sind die Vorgaben nicht eingehalten).

4 Fazit und Aussicht

Die Aare ist beim Zusammenfluss mit dem Rhein der abflussstärkste Fluss der Schweiz. Sie durchfliesst die Kantone Bern, Solothurn und Aargau und entwässert rund 43% der Schweizer Landesfläche, in der fast die Hälfte der Bevölkerung wohnt. Sie dient als Naherholungsraum, wird für die Trinkwassernutzung, Energiegewinnung und zahlreiche andere Aktivitäten genutzt. Zudem ist sie Lebensraum von vielen Pflanzen- und Tierarten. Eine gute Wasserqualität der Aare ist unabdingbar. Die Auswertung der Daten von 2012-2022 zeigt, dass in den letzten 11 Jahren die Wasserqualität bezüglich der Nährstoffe in der Aare konstant als «gut» oder «sehr gut» bezeichnet werden kann. Am Ende des letzten Jahrhunderts war die Nährstoffbelastung der Aare noch hoch und erfüllte die Vorgaben des Gewässerschutzes nur selten. Seit den 1990er Jahren hat sich die Wasserqualität jedoch stetig durch Massnahmen in der Siedlungsentwässerung und Landwirtschaft verbessert und in den letzten 11 Jahren wurden die gesetzlichen Vorgaben grösstenteils eingehalten.



Abbildung 54: Die Wasserqualität der Aare hat sich seit den 1960-er Jahren positiv entwickelt (oben links: Aare bei Aarburg 1962, Bild: eawag, oben rechts: Strandbad Solothurn 1966, Bild: Keystone, unten: Aarebad Bern, Bild: Anthony Anex / Keystone). Quelle: <https://www.nzz.ch/schweiz/gewaesserverschmutzung-schweiz-seen-id.1381485>

Während die Aare eine gute Wasserqualität aufweist, sind viele der Zuflüsse in einem schlechteren Zustand. Der Siedlungsdruck und die landwirtschaftliche Nutzung führen bei vielen Seitengewässern zu starken Belastungen. Betroffen sind vor allem die mittelgrossen Fliessgewässer aus dem Mittelland mit hoher Siedlungsdichte und grossflächig intensiver Landwirtschaft.

Seit es die Technik ermöglicht, Mikroverunreinigungen von Medikamentenrückständen, Pestiziden und weiteren Chemikalien zu messen, ist ersichtlich, dass auch Spurenstoffe in die Umwelt gelangen, welche



bereits in kleinen Konzentrationen schädlich wirken können. Grössere Fließgewässer wie die Aare weisen weniger hohe Konzentrationen dank der stärkeren Verdünnung auf. Jedoch weisen einige Zuflüsse der Aare erhebliche Risiken für Wasserlebewesen durch Mikroverunreinigungen auf. Da laufend neue Stoffe auf den Markt gebracht werden, bleibt die Qualitätsüberwachung in den Fließgewässern anspruchsvoll. Für die Beurteilung des ökotoxikologischen Risikos müssen, für die in sehr geringen Konzentrationen auftretenden Stoffe, Qualitätskriterien hergeleitet werden, anhand derer eine Risikobeurteilung möglich wird. Neue Mess- und Analysetechniken, wie neuerdings an der Aare in Hagneck und Wynau eingesetzt, erlauben mit modernster Technologie die bessere Überwachung der Wasserqualität auch bezüglich der Mikroverunreinigungen.

Einfluss auf die Wasserqualität haben nicht nur Nährstoffeinträge und Mikroverunreinigungen, sondern auch weitere Faktoren wie die Wassertemperatur, Schwermetalle, die Biologie und Morphologie. Die Klimaerwärmung ist in der Aare anhand der gemessenen Wassertemperaturen eindrücklich zu sehen. Die durchschnittlichen Jahrestemperaturen der Aare im Mittelland haben sich in den letzten 60 Jahren um rund 2°C erhöht. Besonders die heissen Sommer mit langandauernden Hitzeperioden und geringer Wasserführung machen kältebedürftigen Fischarten in der Aare Schwierigkeiten und führen zur Veränderung der Lebensgemeinschaften. Die steigenden Wassertemperaturen verstärken negative Entwicklungen wie die beschleunigte Ausbreitung von Neobiota, den Artenschwund und die Abnahme der Individuenzahlen von z.B. Wasserinsekten. Um diese negativen Trends zu verlangsamen, sind in den kommenden Jahren umfangreiche Massnahmen nötig, um die Resilienz der Gewässer zu stärken und die negativen Auswirkungen auf die Lebensgemeinschaften abzumildern.

Weder das Wasser und die darin enthaltenen Schadstoffe, noch die von den Gewässerlebensräumen abhängigen Lebensgemeinschaften, respektieren die Grenzen oder amtliche Zuständigkeiten. Für den Erhalt und die langfristige Sicherung unserer Gewässerperlen müssen wir uns über die Zuständigkeitsbereiche hinweg zu einer gemeinsamen Strategie zusammenraufen. Nur mit innovativen Ideen, gemeinsamen Anstrengungen und effektiven Massnahmen können wir den raschen Verlust der Artenvielfalt verlangsamen. Das Prinzip «Hoffnung», dass sich der Klimawandel magischerweise verlangsamt, sich die Neobiota wieder zurückziehen und Hochwasser zwar die Strukturvielfalt in den Gewässern erhöhen aber doch keine Schäden an Infrastruktur und in der Landwirtschaft anrichten, ist ein schlechter Ratgeber und sicher keine Strategie! Wir tun gut daran, auch die unbequemen Facts in die Gleichung miteinzubeziehen und mit ausreichenden Kompensationsmassnahmen die Lebensadern unserer Gewässerlandschaft zu verteidigen.



Abbildung 55: Aare Chesselau, 2021. Im Abschnitt Thalgut – Chesselau wird auf knapp 2 km Länge mit einem Wasserbauprojekt der Hochwasserschutz verbessert und die Aare revitalisiert.

5 Literaturverzeichnis

Publikationen

- [1] Liechti Paul 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe. Umwelt-Vollzug Nr. 1005. Bundesamt für Umwelt, Bern. 44 S.
- [2] Hürlimann J., Niederhauser P. 2007: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Kieselalgen Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 0740. Bundesamt für Umwelt, Bern. 130 S.
- [3] BAFU (Hrsg.) 2022: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung von Fliessgewässern. Organische Mikroverunreinigungen (numerische Anforderungen Anhang 2 GSchV). Bundesamt für Umwelt, Bern. (im Entwurf)
- [4] Wittmer, I., M. Junghans, H. Singer und C. Stamm 2014: „ Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus diffusen Einträgen“. Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf
- [5] Binderheim E., Göggel W. 2007: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Äusserer Aspekt. Umwelt-Vollzug Nr. 0701. Bundesamt für Umwelt, Bern. 43 S.
- [6] Hydra AG, AquaPlus AG SimplexDNA 2023: Biologische Untersuchung Aare zwischen Bielersee und Rhein 2022, Herausgeber: Kantone Bern, Solothurn und Aargau.
- [7] creato 2019: Reussbericht 2014-2018, Auswertungen und Bearbeitung creato, Herausgeber: Kantone Luzern, Zug und Aargau.
- [8] BAFU (Hrsg.) 2019: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung von Fliessgewässern (IBCH_2019). Makrozoobenthos – Stufe F. 1. aktualisierte Ausgabe, November 2019; Erstausgabe 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026: 59 S.
- [9] S. Küttel, A. Peter, A. Wüest 2002: Temperaturpräferenzen und -limiten von Fischarten Schweizerischer Fliessgewässer, Rhône Revitalisierung Publikation Nummer 1
- [10] BAFU (Hrsg.) 2021: Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer. Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2101.
- [11] C. Dübendorfer, D. Moser, A. Kirchhofer, P. Baumann et al. 2011: Expertenbericht zu einem Modul Temperatur im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts, Ernst Basler + Partner AG, Zollikon
- [12] Aquaplust 2011: Dünnern. Gewässerökologischer Istzustand 2011. Im Auftrag des Amt für Umwelt des Kantons Solothurn.
- [13] Hunziker Betatech AG 2018: Biologische Wasserqualität der Dünnern (BIWaQua Due), Technischer Bericht im Auftrag des Amt für Umwelt Kanton Solothurn.
- [14] Hunziker Betatech AG 2024: Monitoring Bünztal 2017 – 2022 (im Entwurf). Darstellung und Interpretation der Wasserqualitätsmessungen und Belastungsquellen. Kanton Aargau.
- [15] Amt für Landwirtschaft und Natur (LANAT) in Zusammenarbeit mit dem Berner Bauern Verband (BEBV) Schlussbericht des Berner Pflanzenschutzmittelprojekts, Umsetzungsphase 2017-2022

Online - Quellen

- [16] Modul-Stufen-Konzept
<https://modul-stufen-konzept.ch/>, 15.03.2024
 - [17] Ökotoxzentrum: Qualitätskriterien Mikroverunreinigungen
<https://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/qualitaetskriterienvorschlaege-oekotoxzentrum>, 08.02.2024
-



- [18] Bundesamt für Umwelt: Hydrologische Daten und Vorhersagen
<https://www.hydrodaten.admin.ch/de/>, 07.05.2024
- [19] Bundesamt für Umwelt: Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA)
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/wasser--messnetze/nationale-beobachtung-oberflaechengewaesserqualitaet--nawa-.html>, 07.05.2024
- [20] VSA Abwasserentsorgung im ländlichen Raum
<https://vsa.ch/fachbereiche-cc/siedlungsentwaesserung/generelle-entwaesserungsplanung/abwasser-im-laendlichen-raum/>, 05.06.2024
- [21] Kanton Aargau: Abteilung Landschaft und Gewässer: EnVIS HydroWeb
<https://www.ag.ch/app/envis/#hydroweb>, 07.05.2024
- [22] Kanton Bern: Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern: Hydrologische Daten
<https://www.bvd.be.ch/de/start/themen/wasser/hydrologische-daten.html>, 07.05.2024
- [23] Kanton Solothurn: Amt für Umwelt: Oberflächengewässer
<https://so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/wasser/oberflaechengewaesser/>, 07.05.2024
- [24] Entwicklungsgeschichte Aare
<https://aarelauf.ch/flussgeschichte-der-aare/>, 15.03.2024
- [25] VSA, Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter
<https://vsa.ch/fachbereiche-cc/siedlungsentwaesserung/regenwetter/#>, 15.03.2024
- [26] Kanton Bern, Berichte Gewässerqualität
https://www.bvd.be.ch/de/start/themen/wasser/gewaesserqualitaet.html#textimage_231698333, 29.05.2024
- [27] REP Oesch: Leitbild, Zustandsberichte und Massnahmenplanung
<https://so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/wasser/integrale-wasserwirtschaft/rep-oesch/>, 06.06.2024
- [28] Kanton Aargau: Biologische Langzeituntersuchungen
<https://www.ag.ch/de/verwaltung/bvu/umwelt-natur-landschaft/umwelt/oberflaechengewaesser/zustand-fliessgewaesser/langzeitueberwachung-der-fliessgewaesser#MjIzOTE0OA>, 06.06.2024
- [29] Kanton Aargau: Publikationen Umwelt Aargau
<https://www.ag.ch/umwelt-aargau/pages/index.htm>, 06.06.2024
- [30] Modul-Stufen-Konzept (MSK), Erklärungen zum SPEAR Index in MIDAT und IBCH Protokoll (DE)
<https://modul-stufen-konzept.ch/mediathek/erklaerungen-zum-spear-index-in-midat-un-ibch-protokoll-de/>, 06.06.2024
- [31] EAWAG: Belastung von Gewässern mit Pflanzenschutzmitteln
<https://www.eawag.ch/de/info/portal/aktuelles/news/zu-viele-pflanzenschutzmittel-in-kleinen-baechen/>, 06.06.2024
- [32] Reussbericht 2014-2018, creato, Herausgeber: Kantone Luzern, Zug und Aarau
<https://www.ag.ch/media/kanton-aargau/bvu/umwelt-natur/oberflaechengewaesser/zustand-baeche-und-fluesse/reussbericht-2018.pdf>, 11.06.2024
- [33] Zustand Solothurner Gewässer
https://so.ch/fileadmin/internet/bjd/bjd-afu/12_Umweltdaten/08_Wasser/2_Gewaesserschutz/Zustand_Solothurner_Gewaesser_2020.pdf, 11.06.2024

- [34] Medienmitteilung Bundesrat
<https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-20850.html> ,
12.06.2024
- [35] Arzneimittel in Gewässern, Fachartikel AQUA & GAS, Rebekka Gulde, Pascal Wunderlin, Irene Wittmer, Tobias Doppler, 29.02.2024
https://www.aquaetgas.ch/wasser/gew%C3%A4sser/20240229_arzneimittel-in-gew%C3%A4ssern/, 04.07.2024
- [36] Bundesamt für Umwelt 2022: Gewässer in der Schweiz, Reihe: Umwelt-Zustand
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/publikationen-wasser/gewaesserbericht.html>, 04.07.2024

Gesetze, Verordnungen

- [37] Gewässerschutzgesetz (GSchG):
https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1992/1860_1860_1860/de, 15.03.2024
- [38] Gewässerschutzverordnung (GSchV):
https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1998/2863_2863_2863/de, 15.03.2024

Bern, 28. November 2024
wal/sle/reb/whs/lue

HUNZIKER **BETATECH**

Hunziker Betatech AG
Jubiläumsstrasse 93
3005 Bern

Anhang

Anhang 1: Messstellenübersicht

Anhang 2: Übersicht Einzugsgebiete

Anhang 3: Abweichende Bewertungen

Anhang 4: Ganglinien

Anhang 5: Gewässerschema

Anhang 6: Auswertung Mikroverunreinigungen

