

NAWA TREND Biologie 2019, Teil Diatomeen und Äusserer Aspekt

Fachbericht



Sitter, Leebrugg SG (ID 25)

Dokument Nr. 1744-B-02
Datum Entwurf: 26.1.2021
Datum Endfassung: 1.3.2021



AquaPlus AG · Gotthardstrasse 30 · CH-6300 Zug
Fon +41 41 729 30 00 · Fax +41 41 729 30 01
admin@aquaplus.ch · www.aquaplus.ch



Dr. François Straub · Rue des XXII-Cantons 39
CH-2300 La Chaux-de-Fonds (Suisse)
fstraub@phycoeco.ch · www.phycoeco.ch

Impressum

Auftraggeber: BAFU Bundesamt für Umwelt, Abteilung Wasser, CH-3003 Bern
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt,
Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Auftragnehmer: AquaPlus AG, Gotthardstrasse 30, CH-6300 Zug
PhycoEco, Rue des XXII-Cantons 39, CH-2300 La Chaux-de-Fonds

Autoren: Christa Gufler, Joachim Hürlimann (AquaPlus AG)
François Straub (PhycoEco)

MitarbeiterIn: Margrit Ensner Egloff (AquaPlus AG)
Jennifer Iseli (PhycoEco)

Hinweis: Diese Studie / dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes
für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftrag-
nehmer verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	1
1 Ausgangslage, Auftrag und Ziele	3
2 Grundlagen, Methode und Vorgehen	4
2.1 Grundlagen	4
2.2 Feldarbeiten	4
2.3 Laborarbeiten	4
2.4 Auswertung	6
2.5 Qualitätssicherung	6
3 Charakterisierung der Messstellen	9
4 Resultate und Diskussion Äusserer Aspekt	12
5 Resultate und Diskussion Kieselalgen	17
5.1 Charakterisierung der Kieselalgen-Lebensgemeinschaften	17
5.2 Artenzusammensetzung	20
5.3 Teratologie	24
5.4 Zelldichte	27
5.5 Biologisch indizierte Wasserqualität (Indexwert DI-CH)	30
5.6 Standortgerechtigkeit	38
5.7 Kieselalgen und der Äussere Aspekt	40
5.8 Qualitätssicherung Kieselalgen	41
5.9 Indexwert DI-CH _{molekular}	43
5.10 Auswirkung Stellenverschiebung	48
6 Fazit	49
7 Literaturverzeichnis	51
8 Glossar und Abkürzungen	53
<hr/>	
ANHÄNGE	54
A1: Liste der Messstellen NAWA TREND der Periode 2019	55
A2: Charakterisierung der Messstellen NAWA TREND der Periode 2019	57
B1: Resultate der Messstellen NAWA TREND der Periode 2019	59
B2: Resultate der Qualitätssicherung: Zweitählung von Stellen der Periode NAWA SPEZ 2018 und NAWA TREND 2019	61
C1: Bericht der ID-Gene (2020) zum DI-CH _{molekular}	62

Zusammenfassung

Der vorliegende Fachbericht ist Bestandteil des Projektes und Messprogrammes NAWA TREND Biologie. Er beinhaltet den Teil Äusserer Aspekt und Kieselalgen (Diatomeen) der Untersuchungsperiode 2019.

Messstellen: Insgesamt wurden an 104 wadbaren Stellen im Jahr 2019 Kieselalgenproben entnommen und untersucht sowie im Feld der Äussere Aspekt erhoben. Die Untersuchungen erfolgten gemäss BAFU Module Äusserer Aspekt und Kieselalgen (Stufe F). Die Probenahmen wurden zusammen mit denjenigen des Makrozoobenthos im Frühjahr durchgeführt.

Qualitätssicherung: Zur Qualitätssicherung nahmen alle Beteiligten am Workshop vor Beginn der Feldarbeiten (Probenahme, Vorgehensweise) teil. Zudem wurde eine einheitliche Taxaliste vorgegeben sowie sämtliche Indexberechnungen und Auswertungen überprüft. Sämtliche Daten und Protokolle liegen in elektronischer Form vor. Die Kieselalgenproben sind ebenfalls archiviert.

Resultate Äusserer Aspekt: Der Äussere Aspekt der 104 Stellen wurde bezüglich der fliessenden Welle vor allem durch stabile Schaumbildung (bei 32 % der Stellen) und bezüglich der Gewässersohle durch Abfälle (49 %) und Kolmation (61 %) beeinträchtigt. Diese Zustände entsprechen den Erwartungen und werden auch in anderen Monitoringprogrammen vorgefunden.

Resultate Kieselalgen: In den Kieselalgenproben des Jahres 2019 wurden anlässlich der Zählung von 500 Schalen 214 Taxa gefunden. Dies sind 41 % der in den Fliessgewässern Mitteleuropas häufig vorkommenden 526 Taxa. Seit Beginn der NAWA-Kampagnen (2012, 2015, 2019) nahm die Zahl von gebietsfremden Kieselalgen sowie deren Vorkommen und Häufigkeit zu. Missbildungen der Kieselalgeschalen (sogenannte Teratologien) traten gehäuft im Mittelland und im Jura auf. In alpinen Gewässern waren die Schalen wie bereits in den Perioden 2011-2013 und 2015 selten missgebildet. Der Anteil an Stellen mit Teratologie nahm in den Perioden 2012, 2015 und 2019 stetig ab. 70 % der Proben wiesen Zelldichten von mehr als 700'000 Zellen/cm² auf (normal bis sehr dicht). Von den 104 Stellen hatten deren 100 (96 %) einen DI-CH-Wert von < 4.5, was einem guten bis sehr guten Zustand entspricht. Während 96 % aller Stellen einen guten bis sehr guten Zustand indizierten, wiesen bloss 18 % aller Stellen eine standortgerechte Lebensgemeinschaft auf. Der Kieselalgenindex DI-CH indiziert die chemische Wasserqualität, nicht aber die gewässertypspezifische Standortgerechtigkeit wie es die GSchV Anhang 1 anlässlich der ökologischen Ziele fordert.

Trend: Beim Indexwert DI-CH (Kieselalgen) zeigte sich im Laufe der Kampagnen eine geringe Tendenz zur Verbesserung. Basierend auf den jährlich untersuchten 20 Stellen dürfte diese Verbesserung eher Trend als Zufall sein. Beim Äusseren Aspekt konnten keine wesentlichen Veränderungen festgestellt werden.

Resultate DI-CH_{molekular}: Im Rahmen des TREND-Programmes wurden 102 der 104 TREND-Proben auch verwendet, um den molekularen DI-CH-Wert besser abgestützt zu eichen. Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem aktuellen Eichdatensatz von rund 500 Proben, der DI-CH_{molekular} noch zu wenig präzise bestimmt werden kann. Die Differenzen zum DI-CH_{morphologisch} waren mehrheitlich grösser als ± 0.2 DI-CH-Einheiten. Zudem indizierte der DI-CH_{molekular} meistens schlechter als der DI-CH_{morphologisch}. Um das Verfahren in der Routine anwenden zu können, müsste der Eichdatensatz massiv vergrössert werden und zwar gezielt um Proben mit Arten, welche typisch sind für sehr saubere wie auch für stark belastete Gewässer. Zudem muss sichergestellt werden, dass die Berechnung sämtlicher DI-CH-Werte des Eichdatensatzes gemäss Zweiteichung des Modul-Stufen-Konzeptes Kieselalgen erfolgt (Bafu 2007a).

1 Ausgangslage, Auftrag und Ziele

Der vorliegende Fachbericht ist Bestandteil des Projektes 'Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität NAWA TREND Biologie 2018-2022'. Der Fachbericht beinhaltet die Teile 'Kieselalgen (Diatomeen)' und 'Äusserer Aspekt' der dritten Untersuchungskampagne des Jahres 2019. Analog zu diesem Fachbericht werden die anderen Biologiemodule 'Fische', 'Makrozoobenthos' und 'Makrophyten' ebenfalls mit Fachberichten abgehandelt. Im Pflichtenheft des Projektes wird folgende Ausgangslage und Formulierung des Auftrages aufgeführt (BAFU 2018):

"Das Gewässerschutzgesetz (GSchG) verpflichtet den Bund und die Kantone in Art. 50, die Auswirkungen von Gewässerschutzmassnahmen zu prüfen und die Öffentlichkeit über den Zustand der Gewässer zu informieren. Art. 57 verpflichtet den Bund, Erhebungen von gesamtschweizerischem Interesse, u.a. über die Wasserqualität der oberirdischen Gewässer durchzuführen. Der Vollzug der für den Gewässerschutz erforderlichen Erhebungen wird gemäss Art. 58 den Kantonen übertragen, die die Ergebnisse den Bundesstellen mitzuteilen haben.

Die Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) soll die folgenden Ziele erreichen:

- *Basis für einen mittel- und langfristigen Überblick über den Zustand der Oberflächengewässer in der Schweiz und dessen Entwicklung*
- *Einfache, einheitliche und über die ganze Schweiz vergleichbare Übersicht über den Zustand der Oberflächengewässer*
- *Bereitstellen von Grundlagen für die Früherkennung problematischer Entwicklungen und zur Steuerung der nationalen Gewässerschutzpolitik*
- *Bereitstellen eines einheitlichen Datenpools für vertiefte Analysen*
- *Erfolgskontrolle von heutigen und zukünftigen Massnahmen im Gewässerschutz und anderen Politikbereichen"*

Gegenstand dieses Auftrages sind die Präparation, die Bestimmung, die Qualitätssicherung sowie die Berichterstattung der in der Untersuchungskampagne 2019 erhobenen Diatomeen-Proben. Die Probenahme der Diatomeen-Proben erfolgte durch das Fachlos Makrozoobenthos.

Mit dem vorliegenden Bericht werden die folgenden Aspekte abgehandelt:

- Auflisten der durchgeführten Tätigkeiten (angewandte Methodik, Vorgehen),
- Besprechung der Resultate des Äusseren Aspektes,
- Qualitätssicherung der Kieselalgendaten,
- Auswertung der Resultate der Kieselalgen hinsichtlich Indexwert DI-CH, Taxazahl, Diversität, Teratologie, dominierende und gebietsfremde Arten, Standortgerechtigkeit, Zelldichte sowie hinsichtlich auserwählter Einflussfaktoren wie Landnutzung, Abwasseranteil, Abfluss sowie biogeografische Lage und Grösse der Einzugsgebiete,
- Diskussion der Ergebnisse des Indexwertes DI-CH_{molekular} versus des Indexwertes DI-CH_{morphologisch}.

2 Grundlagen, Methode und Vorgehen

2.1 Grundlagen

Die Basis dieses Berichtes stellen die Diatomeenproben der Untersuchungskampagne 2019 dar. Insgesamt wurden an 104 Stellen Kieselalgenproben untersucht. Des Weiteren wurden 2 zusätzliche Stellen im Rahmen eines Zusatzauftrages ausgewertet (Abklärung Auswirkung Stellenverschiebung). **Tabelle 2.1** enthält einen Überblick der bisher in NAWA TREND pro Jahr untersuchten Proben sowie die Angaben der Auftraggeber und Bearbeiter. Die detaillierte Liste mit allen Angaben zu den untersuchten Stellen befindet sich im Überblick in **Tabelle 2.2** und im Detail in **Anhang A**. Die Zähllisten sowie die Kurzkomentare zu den Zähllisten werden aufgrund des grossen Umfangs nicht im Anhang aufgeführt. Sie wurden in elektronischer Form dem BAFU übergeben.

2.2 Feldarbeiten

Die **Probenahme** der Diatomeen-Proben erfolgte gemäss Anleitungen des Modul-Stufen-Konzeptes Kieselalgen (BAFU 2007a) durch das Fachlos Makrozoobenthos im Frühjahr 2019. Erweiternd zum Modul-Stufen-Konzept wurde die Probenahme **quantitativ** durchgeführt (standardisierte Probenahme-Utensilien, Protokollieren Anzahl beprobter Steine) mit dem Ziel, die Zelldichten der Lebensgemeinschaft zu eruieren. Des Weiteren wurden die Messstellen fotografisch dokumentiert sowie der Äussere Aspekt (BAFU 2007b) erhoben.

2.3 Laborarbeiten

Die Laborarbeiten (Herstellung Dauerpräparate, Bestimmung, Zählung und Erfassen der Teratologie) erfolgten nur durch Personen, welche die Kieselalgen sehr gut kennen. Es sind dies Joachim Hürlimann, Margrit Enser Egloff und Christa Gufler (alle AquaPlus AG) sowie François Straub und Jennifer Iseli (beide PhycoEco) und Arielle Cordonier (Kanton Genf). Alle involvierten Personen nehmen jährlich am Workshop 'Diatomeen' der Arbeitsgemeinschaft S.A.M / A.S.E.M¹ in Wädenswil teil und absolvieren jährlich einen Ringtest, welcher ebenfalls durch S.A.M. / A.S.E.M organisiert wird.

Die **Herstellung der Dauerpräparate** erfolgte durch die AquaPlus AG², dem Kanton Genf und PhycoEco. Die Präparationsverfahren entsprachen den vom BAFU vorgegebenen Fixierungstechniken, wurden ebenfalls **quantitativ** durchgeführt und variierten je nach Institution:

¹ *Journées d'études des taxa critiques pour l'indice diatomique DI-CH. Die Veranstaltung wird organisiert und durchgeführt durch die Schweizerische Arbeitsgemeinschaft Mikroflora S.A.M. / A.S.E.M (Mitorganisatoren Dr. François Straub, PhycoEco und Dr. Joachim Hürlimann, AquaPlus AG).*

- AquaPlus AG² (n = 100): HCl kochen / H₂SO₄ kochen, Zugabe KNO₃ heiss
- Kanton Genf (n = 1): Zugabe von H₂O₂ / Ofen bei 60 °C während 24 Stunden / Zugabe HCl
- PhycoEco (n = 4): HCl und H₂O₂ kalt während 4-6 Wochen

Nach erfolgter Präparation wurden die gereinigten Schalen in Kunstharz (Naphrax) eingebettet. Die detaillierten Methodenbeschreibungen der einzelnen Verfahren können dem BAFU Modul Kieselalgen Stufe F (BAFU, 2007a) entnommen werden. Inwieweit diese unterschiedlichen Verfahren einen Einfluss auf die Resultate haben, kann nicht abgeschätzt werden. Dies müsste zusätzlich mit einem Experiment eruiert werden. Wir gehen davon aus, dass es einen Einfluss auf die Qualität der Präparate hat, nicht aber auf die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften. Wichtig ist, dass die Temperaturen beim Muffelofen gering gehalten werden, da sonst Verformungen der Schalen erfolgen können. Diese Bedingung wurde bei allen Verfahren eingehalten.

Für die **Bestimmung und Zählung** der 500 Schalen wurde ein Mikroskop mit 1'000-facher Vergrößerung verwendet (Ölimmersion, Phasenkontrast und Interferenz). Die Bestimmung der Proben erfolgte mit den für die Schweiz und Mitteleuropa üblichen und gängigen Bestimmungsbüchern. Es waren dies im Wesentlichen die Süsswasserflora von Mitteleuropa (Krammer & Lange-Bertalot 1986-1991, resp. die Nachdrucke), Hofmann et al. (2013) sowie Spezialliteratur zu einzelnen Gruppen. Wir verweisen dazu auf die Angaben im Modul-Stufen-Konzept Kieselalgen (BAFU 2007a) sowie auf das Literaturverzeichnis. Sämtliche Zählungen wurden mit wenig Ausnahmen in die neue Taxonomie übertragen (gemäss Hofmann et al. 2013). Analog zur Probenahme und Herstellung der Dauerpräparate erfolgte auch die Bestimmung und Zählung der Kieselalgen **quantitativ**. Die Erfassung der **Teratologie** (Missbildungen bei der Schalenstruktur) erfolgte mit 5 Typen. Die Typen sind im Kapitel 5.3 beschrieben.

Die **Datenerfassung** erfolgte in der Datenbank BIS der Firma AquaPlus AG. Zudem wurde für jede Zählliste eine Excelliste erstellt und dem BAFU übermittelt. Die Daten der Kieselalgenzählungen sämtlicher NAWA-TREND Untersuchungen (seit 2011) wurden des Weiteren im Januar 2020 an MIDAT+ DIA übergeben.

Die **Archivierung** der präparierten Proben sowie der Präparate erfolgt an drei Standorten. Es sind dies die Sammlungen von AquaPlus AG und PhycoEco sowie diejenige des BAFU (zum Zeitpunkt dieser Berichterstattung und bis auf weiteres gemäss Abmachung mit dem BAFU abholbereit bei AquaPlus AG, Zug).

² Herstellung Dauerpräparate erfolgen bei allen Aufträgen der AquaPlus AG im Labor AVS des Kantons Zug.

2.4 Auswertung

Die Auswertungen erfolgten gemäss Modul-Stufen-Konzept Kiesellagen (BAFU 2007a). Als Basis für alle Auswertungen wurden die relativen Häufigkeiten berechnet. Zusätzlich zum Diatomeen Index der Schweiz DI-CH wurden die Taxazahl, die Diversität H (Log mit Basis 2) und der Anteil an Teratologie an der gesamten Lebensgemeinschaft bestimmt. Im Weiteren werden taxa- und indexspezifische Auswertungen durchgeführt, die Zelldichte bestimmt und die Standortgerechtigkeit der Lebensgemeinschaften eingeschätzt, wie dies die ökologischen Ziele der Gewässerschutzverordnung (GSchV, 1998) in Anhang 1 fordern.

Die Auswertungen hinsichtlich Einflussgrössen basieren auf der vom BAFU zur Verfügung gestellten Charakterisierung der Einzugsgebiete (EZG). Diese Zusammenstellung enthält pro Messstelle Angaben zur Fläche, mittleren Höhenlage, Hydrologie, Ökomorphologie, Landnutzungen, Zugehörigkeit der biogeografischen Region, Abwasseranteil bei Niederwasser und mehr. Es wurden dieselben Datentypen verwendet wie bei der Berichterstattung zur ersten Untersuchungsperiode 2011-2013 (AquaPlus & PhycoEco 2014a) und der zweiten Untersuchungsperiode 2015 (AquaPlus & PhycoEco, 2017).

2.5 Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung der Daten wurde durch folgende Ansätze gewährleistet:

- **Workshops:** Sicherstellung einer einheitlichen Praxis bei Probenahme, Laborarbeit und Auswertung sowie der Diskussion und Klärung von Unsicherheiten und möglichen Fehlerquellen. Die Workshops wurden am 04. Dezember 2018 in deutscher und am 10. Dezember 2018 in französischer Sprache am Weierbächli BE (Langenthal) durchgeführt.
- **Doppelzählungen:** 5 Proben wurden von zwei verschiedenen Personen unterschiedlicher Institutionen gezählt und die Zähllisten sowie die Auswertungen miteinander verglichen. 5 weitere Proben wurden im Rahmen des Projektes NAWA SPEZ 2018 einer Zweitbestimmung unterzogen (AquaPlus & PhycoEco, 2021).
- **Synonymie:** Anwenden der Synonymieliste und Prüfen der D- und G-Werte.
- **Plausibilisierung:** Sämtliche Zähllisten wurden auf Auffälligkeiten hin geprüft und wenn nötig im Mikroskop verifiziert. Allfällige Fragen zu Bestimmungen besprachen die Autoren des Fachberichtes der beiden involvierten Institutionen AquaPlus AG und PhycoEco.
- **Zelldichten:** Die eruierten Zelldichten wurden mit Hilfe der Fotos der abgekratzten Steine plausibilisiert.
- **DI-CH-Wert:** Nachkontrolle sämtlicher Indexberechnungen.

Tab. 2.1: Liste aller Kieselalgenproben pro Jahr sowie insgesamt und deren Auftraggeber, die Bearbeitung der Präparation und Zählung der Proben.

20 Stellen wurden jedes Jahr beprobt.

QS = Qualitätssicherung.

¹ Bestimmung, Zählung, Kurzkomentare erstellen.

² OST: Kantone AI, AR, BL, BS, GR, LU, SG, SO, TG, TI, ZG und VD (Mentue 2012).

³ WEST: Kantone BE, FR, JU, VS.

⁴ Aare (ID 055, BE) nicht beprobt.

⁵ Salmsacher Aach (ID 073, TG) und Ron (ID 116, LU) wurden im Rahmen eines Zusatzauftrages im Jahr 2019 das letzte Mal beprobt.

Jahr	Anzahl Proben	Auftraggeber	Gebiet, Kanton	Präparation	Bearbeitung ¹
2011	10	BAFU	OST	AquaPlus AG	AquaPlus AG
	10	BAFU	WEST	AquaPlus AG	PhycoEco
2012	8	Kanton	AG	AquaPlus AG	AquaPlus AG
	4	Kantone	NW, OW, SZ, UR	AquaPlus AG	AquaPlus AG
	13	Kanton	ZH	Kanton ZH	Kanton ZH
	32	BAFU	OST ²	AquaPlus AG	AquaPlus AG
	1	Kanton	GE	Kanton GE	Kanton GE
	2	Kanton	NE	PhycoEco	PhycoEco
	10	Kanton	VD	PhycoEco	PhycoEco
	4	BAFU	VS	AquaPlus AG	PhycoEco
	23	BAFU	WEST ³	AquaPlus AG	PhycoEco
	97	<i>Proben im Jahr 2012, wovon 8 Doppelbeprobungen</i>			
2013	10	BAFU	OST	AquaPlus AG	AquaPlus AG
	10	BAFU	WEST	AquaPlus AG	PhycoEco
2014	10	BAFU	OST	AquaPlus AG	AquaPlus AG
	10	BAFU	WEST	AquaPlus AG	PhycoEco
2015	8	Kanton	AG	AquaPlus AG	AquaPlus AG
	2	Kantone	SZ, UR	AquaPlus AG	AquaPlus AG
	13	Kanton	ZH	AquaPlus AG	AquaPlus AG
	28	BAFU	OST ²	AquaPlus AG	AquaPlus AG
	1	Kanton	GE	Kanton GE	Kanton GE
	2	Kanton	NE	PhycoEco	PhycoEco
	10	Kanton	VD	PhycoEco	PhycoEco
	4	BAFU	VS	AquaPlus AG	PhycoEco
	20	BAFU	WEST ^{3, 4}	AquaPlus AG	PhycoEco
	88	<i>Proben im Jahr 2015, keine Doppelbeprobungen</i>			
2019	10	Kanton	AG	AquaPlus AG	AquaPlus AG
	4	Kantone	SZ, UR, NW, OW	AquaPlus AG	AquaPlus AG
	56	BAFU	OST, BE	AquaPlus AG	AquaPlus AG
	1	Kanton	GE	Kanton GE	Kanton GE
	3	Kantone	NE	PhycoEco	PhycoEco
	30	BAFU	WEST ⁴ , VD	AquaPlus AG	PhycoEco
	104	<i>Proben im Jahr 2019, keine Doppelbeprobungen</i>			
	2	<i>Zusatzstellen Abklärung Auswirkung Stellenverschiebung⁵</i>			

Total 349 Proben der Jahre 2011-2019 (inkl. Doppelbeprobungen/ohne Zusatzstellen)

Qualitätssicherung

2012*	8	BAFU	OST und WEST	QS Feld: Doppelbeprobungen
				* inkl. NAWA SPEZ (Mentue vom März 2012)
2012	10	BAFU	OST und WEST	QS Labor: Überprüfen der Zählungen
2015	11	BAFU	OST und WEST	QS Labor: Überprüfen der Zählungen
2019*	10	BAFU	OST und WEST	QS Labor: Überprüfen der Zählungen
				* inkl. 5 Proben der Probeserie NAWA SPEZ 2018

Tab. 2.2: Liste der Messstellen sortiert nach Kanton und Identitätsnummer (ID).

In der Tabelle sind für jede Messstelle pro Jahr die Anzahl entnommenen Proben aufgeführt. 20 der 104 Stellen wurden jedes Jahr beprobt und 8 Stellen wurden im Jahr 2012 doppelt beprobt. Die Stelle Aare (ID 055, BE) wurden ab dem Jahr 2012 respektive 2015 nicht mehr beprobt, die Stellen Salmesacher Aach (ID 073, TG) und Ron (ID 116, LU) wurden im Rahmen eines Zusatzauftrages im 2019 das letzte Mal beprobt. (A) 1. Kampagne, (B) 2. Kampagne, (C) 3. Kampagne, (D) Mentue im Rahmen des Projektes NAWA SPEZ 2012 doppelt beprobt, (E) Zusatzauftrag Abklärung Auswirkung Stellenverschiebung.

Kanton	ID	Gewässer, Ort	(A) (B) (C)						
			2011	2012	2013	2014	2015	2019	
AG	CH_032_AG	Pfaffnern, Rothrist		1			1	1	
	CH_033_AG	Wyna, Suhr		1			1	1	
	CH_034_AG	Bünz, Möriken	1	2	1	1	1	1	
	CH_035_AG	Surb, Döttingen, bei Pegel ALG		1			1	1	
	CH_036_AG	Sissle, Eiken		1			1	1	
	CH_039_AG	Suhre, Suhr, bei Zentrum Bärenmatte		1			1	1	
	CH_079_AG	Aabach, Niederlenz		1			1	1	
	CH_111_AG	Wigger, Zofingen		1			1	1	
	CH_136_AG	Küntenerbach, Künten						1	
	CH_137_AG	Möhlbach, Zeiningen						1	
AI	CH_115_AI	Sitter, Appenzell	1	2	1	1	1	1	
AR	CH_135_AR	Urnäsch, Kubel, ob Sitter		1			1	1	
BE	CH_007_BE	Emme, Gerlafingen, Steg		1			1	1	
	CH_055_BE	Aare, Brienzwiler		1					
	CH_056_BE	Engstlige, Frutigen	1	1	1	1	1	1	
	CH_058_BE	Chise, Oberdiessbach	1	1	1	1	1	1	
	CH_059_BE	Gürbe, Vor Mündung, Bodenacher Fähr	1				1	1	
	CH_060_BE	Sense, Thörishaus	1	1	1	1	1	1	
	CH_062_BE	Urtenen, Schalunen		1			1	1	
	CH_063_BE	Langete, Mangen		1			1	1	
	CH_092_BE	Kander, Hondrich		1			1	1	
	CH_094_BE	La Suze, Biel, Mitte vor Mündung		1			1	1	
	CH_106_BE	Saane, Marfeldingen		1			1	1	
	CH_114_BE	Emme, Emmenmatt, Mitte		1			1	1	
	CH_133_BE	Simme, Latterbach	1	1	1	1	1	1	
	CH_134_BE	La Birse, Choindez-Aval de la Roche St.	1				1	1	
	CH_138_BE	Chrümlißbach, Chüechumatt						1	
	CH_139_BE	Ballmoosbach, Mettle, Waldrand						1	
BL	CH_067_BL	Ergolz, Augst, Autobahn		1			1	1	
BS	CH_002_BS	Birs, Birskopf		1			1	1	
FR	CH_054_FR	Sionge, Vuippens		1			1	1	
	CH_107_FR	Sarine, Broc, Halte des Marches	1	1	1	1	1	1	
	CH_140_FR	Bainoz, La Vounaise						1	
GE	CH_086_GE	Arve, Passerelle, E. de Médecine		1			1	1	
GR	CH_091_GR	Inn, S-chanf		1			1	1	
	CH_095_GR	Landquart, Felsenbach		1			1	1	
JU	CH_068_JU	Sorne, Delémont		1			1	1	
	CH_069_JU	Scheulte, Vicques		1			1	1	
	CH_084_JU	Allaine, Boncourt		1			1	1	
	CH_087_JU	Birs, Les Riedes-Dessus		1			1	1	
	CH_088_JU	Doubs, Ocourt, Pesses des Vernes	1	1	1	1	1	1	
	CH_141_JU	Everatte, La Pran						1	
LU	CH_014_LU	Reuss, Luzern, Bahnhof		1			1	1	
	CH_093_LU	Kleine Emme, Littau-Reussbühl		1			1	1	
	CH_116_LU	Ron, Hochdorf, Sempachstrasse		1			1	(1)	
	CH_154_LU	Ron, Hochdorf						1	
NE	CH_085_NE	Areuse, Boudry, Brücke (Pont RC)	1	1	1	1	1	1	
	CH_119_NE	Seyon, Valangin		1			1	1	
	CH_153_NE	Doubs, Saut du Doubs						1	
NW	CH_074_NW	Engelberger Aa, Oberdorf Ennerberg		1			1	1	
OW	CH_012_OW	Sarner Aa, Sarnen, Kägswil		1			1	1	
SG	CH_023_SG	Steinach, Vor Mündung, Mattenho	1	1	1	1	1	1	
	CH_025_SG	Sitter, Leebugg		1			1	1	
	CH_026_SG	Thur, Niederbüren, Golfplatz		1			1	1	
	CH_027_SG	Necker, Ob Thur, Lütisburg	1	1	1	1	1	1	
	CH_028_SG	Glatt, Niederuzwil, Buechental		1			1	1	
	CH_143_SG	Zapfenbach, OB RBK, Bernecker Riet						1	
	CH_144_SG	Mittlerer Seegraben, Balgacher Riet						1	
SH	CH_145_SG	Landgrabe, Trasadingen						1	
	CH_146_SG	Beggingerbach, Beggingen, vor ARA						1	
SO	CH_009_SO	Limpach, Kyburg			1		1	1	
	CH_011_SO	Lüssel, Breitenbach			1		1	1	
	CH_089_SO	Dünnern, Olten, Hammer			1		1	1	
SZ	CH_100_SZ	Muota, Wilerbrugg	1	2	1	1	1	1	
TG	CH_070_TG	Murg, Frauenfeld	1	1	1	1	1	1	
	CH_071_TG	Lauche, Bei Mühle Matzingen		1			1	1	
	CH_072_TG	Chemibach, Märstetten		1			1	1	
	CH_073_TG	Salmesacher Aach, Amriswil	1	1	1	1	1	(1)	
	CH_147_TG	Eschelisbach, Moosburg						1	
	CH_148_TG	Salmesacher Aach, Amriswil, vor ARA						1	
TI	CH_098_TI	Maggia, Locarno, Solduno		1			1	1	
	CH_099_TI	Moesa, Lumino		1			1	1	
	CH_123_TI	Maggia, Brontallo		1			1	1	
	CH_149_TI	Vedeggio, Agno, Muzzano						1	
UR	CH_101_UR	Reuss, Attinghausen, Allmeinigärtli		1			1	1	
VD	CH_020_VD	Venoge, Ecublens, Les Bois		1			1	1	
	CH_021_VD	Thielle, Yverdon, Les Parties		1			1	1	
	CH_022_VD	Broye, Domdidier		1			1	1	
	CH_126_VD	Mentue, La Mauguettaz		2			1	1	
	CH_127_VD	Talent, Chavornay	1	2	1	1	1	1	
	CH_128_VD	Promenthouse, Le Rancho		1			1	1	
	CH_129_VD	Boiron de Morges, Lac		1			1	1	
	CH_130_VD	Aubonne, Allaman, Le Coulet	1	2	1	1	1	1	
	CH_131_VD	Veveysse, Vevey		1			1	1	
	CH_132_VD	Grande Eau, Aigle, Autoroute		1			1	1	
	CH_150_VD	Ruisseau Gi, Amont Mauguettaz						1	
	CH_151_VD	Le Combagnou, Pampigny, Le Selier						1	
VS	CH_015_VS	Rhône, Brig		1			1	1	
	CH_016_VS	Vispa, Visp		1			1	1	
	CH_017_VS	Rhône, Sion		1			1	1	
	CH_018_VS	Drance, Martigny	1	1	1	1	1	1	
	CH_152_VS	Canal D'Uvrier, Aval STEP Uvrier						1	
ZG	CH_075_ZG	Lorze, Frauenthal		1			1	1	
	CH_076_ZG	Lorze, Letzi	1	1	1	1	1	1	
ZH	CH_040_ZH	Limmat, Hönggersteg		1			1	1	
	CH_041_ZH	Töss, Freienstein		1			1	1	
	CH_042_ZH	Sihl, Sihlhölzli		1			1	1	
	CH_043_ZH	Glatt, Rheinsfelden		1			1	1	
	CH_044_ZH	Glatt, Abfluss Greifensee		1			1	1	
	CH_045_ZH	Aabach, Mönchaltorf		1			1	1	
	CH_046_ZH	Aa, Niederuster		1			1	1	
	CH_047_ZH	Reppisch, Dietikon		1			1	1	
	CH_048_ZH	Jona, Nach Rüti		1			1	1	
	CH_049_ZH	Furtbach, Otelfingen	1	2	1	1	1	1	
	CH_050_ZH	Thur, Andelfingen, Brücke		1			1	1	
	CH_065_ZH	Sihl, Hütten		1			1	1	
	CH_066_ZH	Töss, Rämismühle, Zell	1	2	1	1	1	1	
Anzahl Stellen pro Jahr				20	89	20	20	88	104
Anzahl Doppelbeprobungen (D)				0	8	0	0	0	0
Anzahl Proben pro Jahr				20	97	20	20	88	104
Anzahl Zusatzstellen (E)				0	0	0	0	0	2
Anzahl Proben Periode 2011-2019									349

3 Charakterisierung der Messstellen

Das Messstellennetz NAWA TREND umfasst insgesamt 127 Messstellen (**Abbildung 3.1**). Davon wurden 104 watbare Messstellen mittels Diatomeen untersucht (**Anhang A: Tabelle A1**). Die grossen und tiefen Fließgewässer (wie Aare, Linth, Rhône bei Genf, Vorder- und Hinterrhein, Hochrhein, Ticino) wurden nicht biologisch untersucht. Dazu fehlen standardisierte Untersuchungsmethoden. Stellenverschiebungen werden im Fachbericht Makrozoobenthos abgehandelt.

Die Spannweite einiger weniger ausgewählter Kenngrössen der 104 Messstellen sind in **Tabelle 3.1** aufgelistet und in **Abbildung 3.2** dargestellt. Das kleinste Einzugsgebiet weist eine Fläche von 2 km² (Eschelisbach, ID 147, TG) und das grösste eine solche von 3'372 km² (Rhône, ID 17, VS) auf. 75 (= 72 %) der 104 untersuchten Fließgewässerabschnitte entsprechen der Flussordnungszahl (FLOZ) 4, 5 oder 6. Kleine Gewässer der Flussordnungszahl FLOZ 1, wie auch die grössten Gewässer der Schweiz (FLOZ 9) wurden nicht untersucht.

Die untersuchten Messstellen wiesen bei 24 der 104 Stellen kein Abwasser auf und bei 38 Stellen war der Abwasseranteil bei Niederwasser gering (0-10 %). Bei 41 Stellen lag der Abwasseranteil zwischen 10-20 % und > 50 %. Bei einer Stelle konnte der Abwasseranteil mangels Eruiern des Niederwasserkennwertes Q₃₄₇ nicht berechnet werden.

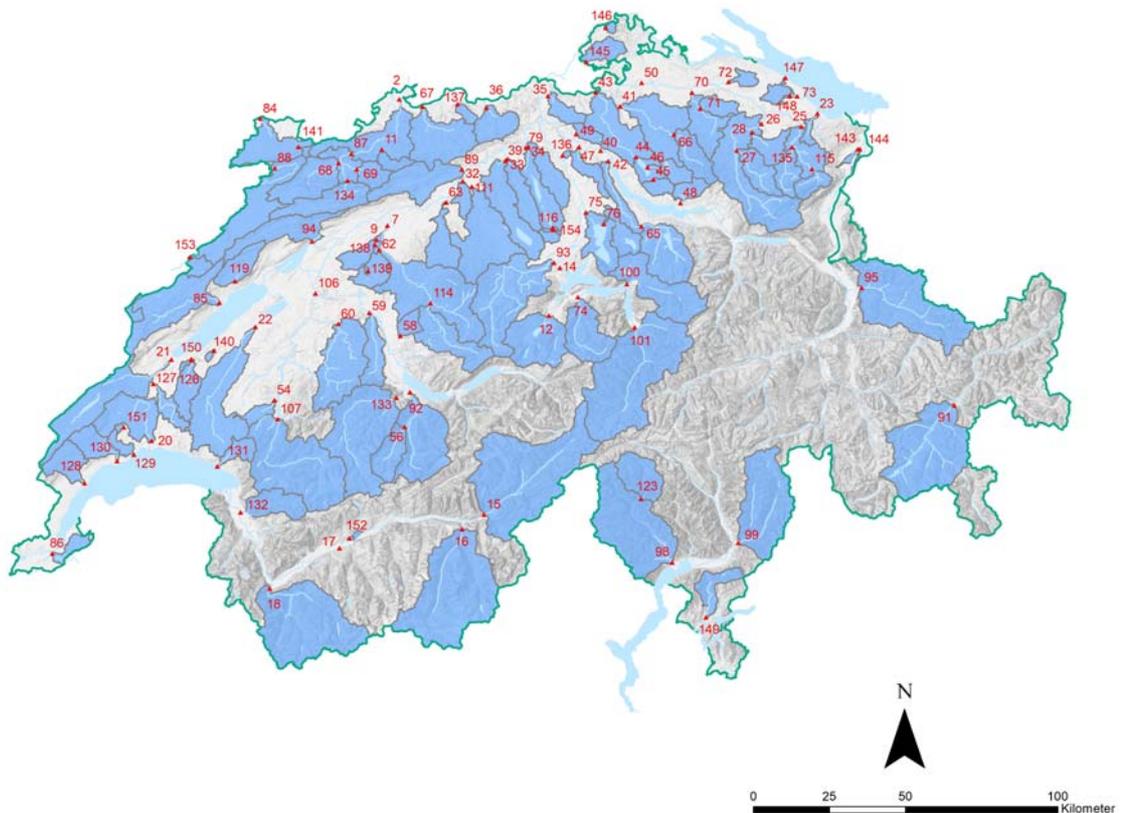


Abb. 3.1: Geografische Lage der 104 Untersuchungsstellen NAWA TREND des Jahres 2019 und deren Einzugsgebiete (blau eingefärbte Flächen) sowie Angabe der TREND-ID.
Karte erstellt durch AquaPlus.

Die Gradienten der Landnutzungen zeigen, dass es eine grosse Spannweite von ganz unterschiedlichen Nutzungen wie Grünland, Acker, Obstbau oder Rebbau gibt. Etliche Messstellen weisen auch einen hohen Anteil an Siedlung, Wald oder unproduktiven Flächen auf (**Tabelle 3.1. Abbildung 3.2**). Bei 23 Stellen beträgt die Gesamtfläche des Einzugsgebietes an überlagernden anthropogenen Nutzungen (Siedlung, Acker, Obstbau und/oder Rebbau) mehr als 50 %. Bei 31 Stellen war dieser Anteil kleiner wie 10 %.

Detaillierte Angaben pro Messstelle befinden sich im **Anhang A** sowie in dem vom BAFU publizierten Konzept (BAFU 2013). Die Resultate der weiteren chemischen und biologischen Untersuchungen befinden sich in den Fachberichten der einzelnen Module (Makrozoobenthos, Makrophyten und Fische). Sie können ebenfalls zur Charakterisierung der Messstellen beigezogen werden.

Tab. 3.1: Charakterisierung der 104 Messstellen aufgrund von ausserwählten Kennwerten.

Darstellung der Gradienten über alle Messstellen hinweg siehe **Abb. 3.2**

Fläche

Flächenanteil des gesamten Einzugsgebietes EZG (inkl. Auslandsanteil)

Hydrologie

MQ: Mittlerer jährlicher Abfluss

Landnutzungen

Flächenanteil des Einzugsgebietes EZG in der Schweiz

Wald: Bestockte Flächen
 Landw.: Landwirtschaft
 Unprod.: Unproduktive Flächen (Gewässer, unproduktive Vegetation und Flächen, Gletscher etc.)

Siedl.: Siedlung

GVE: Grossvieheinheiten pro km² Einzugsgebiet

Weitere Kennwerte

FLOZ: Flussordnungszahl nach Strahler (1952)

AbwKat: Abwasserkategorie, Anteil Abwasser bei Niederwasser Q₃₄₇

k. A.: Keine Angabe oder "no Q₃₄₇"

Kennwert	Einheit	Anzahl Stellen	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum
Fläche	km ²	104	2	140	361	3372
MQ	m ³ /s	104	0.02	4.0	11.0	120

Landnutzungen (Anteile)

Wald	Anteil [%]	104	3	31	33	66
Landw.	Anteil [%]	104	8	46	46	84
Unprod.	Anteil [%]	104	0	1	10	74
Siedl.	Anteil [%]	104	1	8	10	38
GVE	Anzahl/km ²	104	2	48	55	236

Kennwert	Einheit	Anzahl Stellen	Flussordnungszahl (FLOZ nach Strahler)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
FLOZ	Anzahl	104	0	7	9	23	27	25	11	2	0
	Anteil [%]	104	0	7	9	22	26	24	11	2	0
	kumuliert [%]	104	0	7	15	38	64	88	98	100	100

Kennwert	Einheit	Anzahl Stellen	Anteil Abwasser bei Niederwasser [Klassen in %]					k. A.
			0	0-10	10-20	20-50	>50	
AbwKat	Anzahl	104	24	38	17	16	8	1
	Anteil [%]	104	23	37	16	15	8	1
	kumuliert [%]	104	23	60	76	91	99	100

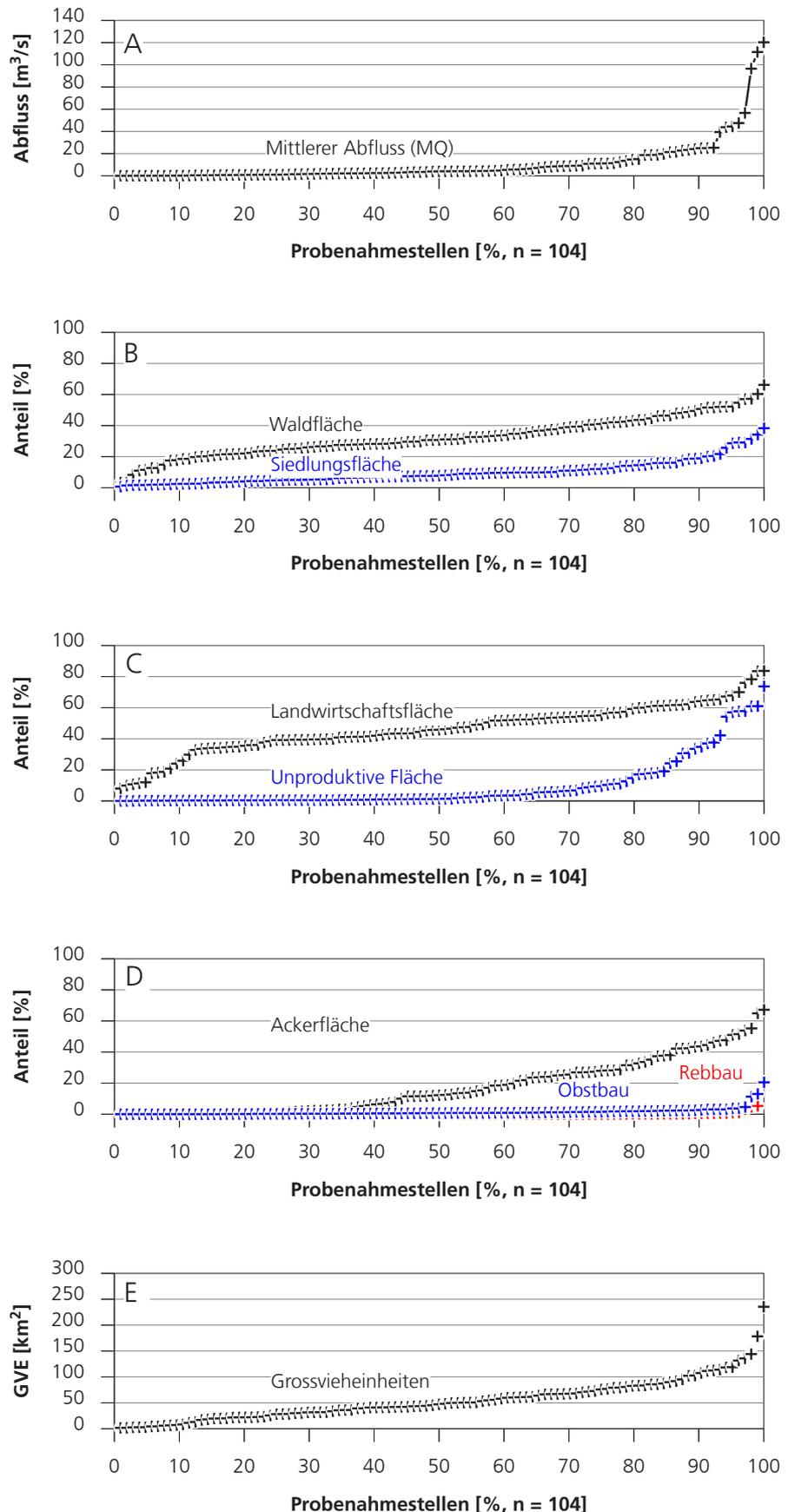


Abb. 3.2: Grafische Darstellung von hydrologischen (A) und landnutzungsspezifischen Gradienten (B, C, D, E) pro Einzugsgebiet.

Abkürzungen und statistische Kennwerte siehe Tabelle 3.1.

4 Resultate und Diskussion Äusserer Aspekt

Der Äussere Aspekt charakterisiert eine Fliessgewässerstelle in erster Linie hinsichtlich klassischer Abwasserbelastungen. Die Erhebung des Äusseren Aspektes ist daher ein sehr geeignetes Verfahren um im Feld anlässlich von Begehungen und gewässerökologischen Aufnahmen eine Stelle mittels Sinneswahrnehmungen (optisch, taktil und olfaktorisch) innert kurzer Zeit zu charakterisieren. Der Äussere Aspekt ist daher Teil von Routineuntersuchungen wie dies biologische Monitoringprojekte und gewässerökologische Aufnahmen zum Einfluss der Siedlungsentwässerung (z.B. genereller Entwässerungsplan, GEP) darstellen. Er beruht bis auf die mikroskopische Kontrolle des heterotrophen Bewuchses auf reinen Feldbeobachtungen und erfasst Parameter der fliessenden Welle (Schaum, Trübung, Verfärbung und Geruch des Wassers) und der Gewässersohle (Kolmation, Abfälle, Feststoffe aus der Siedlungsentwässerung, Verschlammung, Eisensulfid, heterotropher Bewuchs). Der Geruch kann allerdings auch das Feinsediment betreffen. Dies ist insbesondere bei Einleitungen aus der Strassenentwässerung oder aus Deponien feststellbar (Geruch nach leicht flüchtigen Kohlenwasserstoffen).

In **Abbildung 4.1** sind die Resultate des Äusseren Aspektes pro Parameter für die Perioden der Jahre 2012 und 2015 im Vergleich zur aktuellen Periode 2019 dargestellt. Die **Tabelle 4.1** enthält die Anzahl Beeinträchtigungen der fliessenden Welle (4 Parameter), der Gewässersohle (6 Parameter) sowie insgesamt (alle Parameter) pro Stelle für die Perioden 2012, 2015 und 2019 des Projektes NAWA TREND sowie für die Periode 2015-2018 des Projektes NAWA SPEZ.

Im Jahr 2019 wies die fliessende Welle im Vergleich zur Gewässersohle wie bereits in den Vorperioden deutlich weniger Beeinträchtigungen auf. Dies dürfte einerseits damit zusammenhängen, dass die Feldaufnahmen oft bei Trockenwetter durchgeführt werden und damit keine Entlastungen stattfinden (daher selten Geruch nach Abwasser, selten unnatürliche Trübungen und Verfärbungen). Andererseits manifestieren sich insbesondere Abwasserbelastungen sowie fehlende Dynamik viel eher und längerfristig in der Gewässersohle (Akkumulation). Eine beeinträchtigte Gewässersohle ist daher auch bei Trockenwetter erkennbar. Das vorgefundene Belastungsbild entspricht den Erwartungen (**Abbildung 4.1**).

Bei der **fliessenden Welle** stellte der Parameter Schaum jeweils mit Abstand die häufigste Art der Beeinträchtigung dar. Je nach Periode wiesen rund 30 bis 40 % aller Stellen stabilen Schaum der Ursache 'unbekannt' oder 'anthropogen' auf (geringe bis mittlere Häufigkeit, Klasse 2). Eine unnatürliche Trübung oder Verfärbung des Wassers wie auch ein unnatürlicher Geruch trat in allen Perioden mit ≤ 10 % aller Stellen auf, ausgenommen in der Untersuchungskampagne 2019 lag der Anteil der Stellen mit unnatürlicher Trübung bei 18 % (**Abbildung 4.1**). Betrachtet man die Anzahl Beeinträchtigungen der fliessenden Welle, so wiesen bei der Untersuchungskampagne NAWA TREND 2019 53 der insgesamt 104 Stellen keine Beeinträchtigungen auf. Bei 35 Stellen wurde eine Beeinträchtigung, bei 11 Stellen zwei Beeinträchtigungen und bei 4 Stellen drei Beeinträchtigungen festgestellt. Bis auf eine Stelle mit starker Ausprägung von Trübung und Verfärbung infolge einer Baustelle waren es immer geringe bis mittlere Vorkommnisse 'unbekannter' oder 'anthropogener' Ursache (**Tabelle 4.1**).

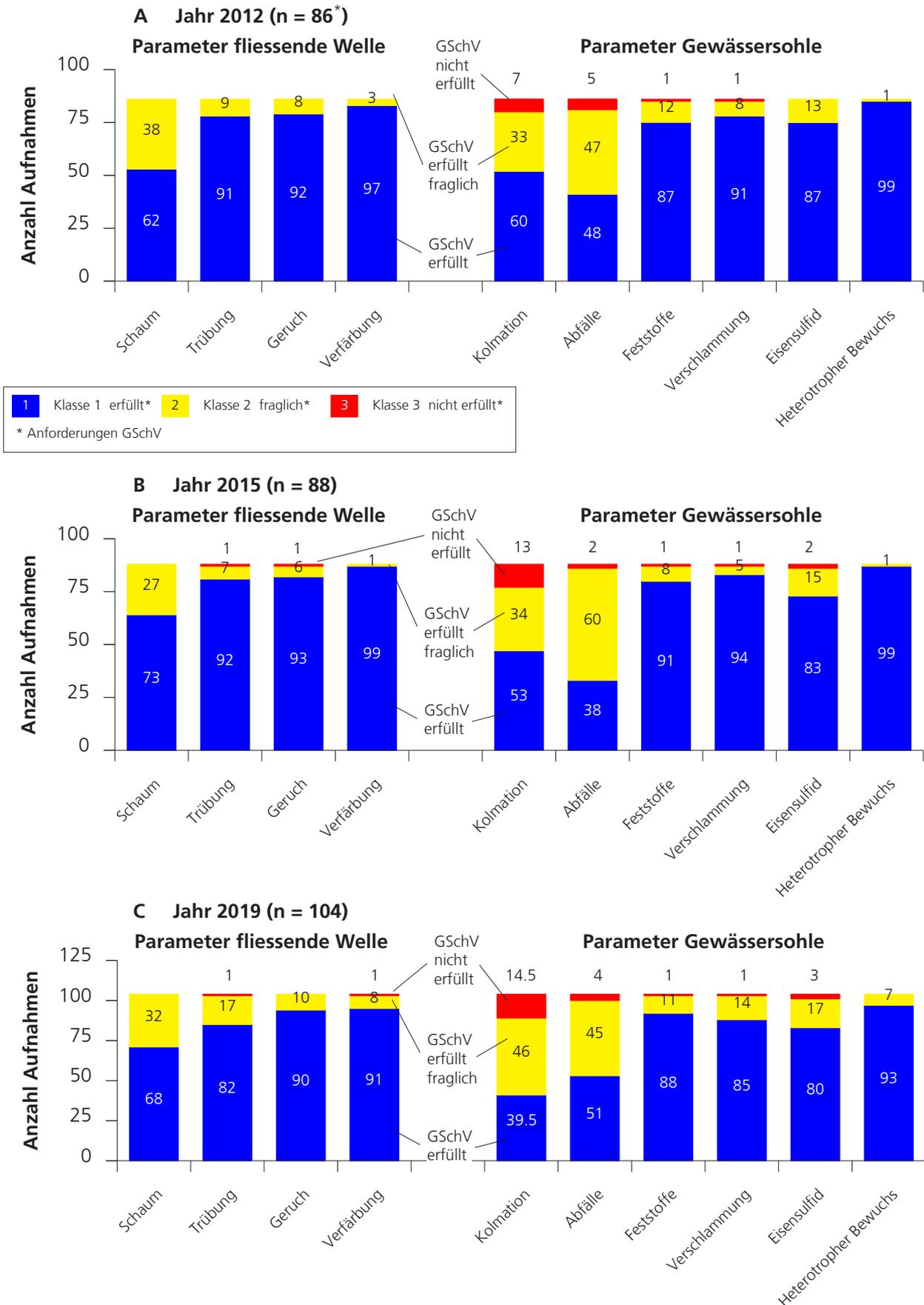


Abb. 4.1: Äusserer Aspekt. Bewertung der vier Parameter der fließenden Welle und der sechs Parameter der Gewässersohle aller NAWA TREND Biologie Stellen der Jahre 2012 (A), 2015 (B) und 2019 (C). Bewertung gemäss BAFU Modul-Stufen-Konzept Äusserer Aspekt (BAFU 2007b). Die Zahlen in und über den Säulen entsprechen dem prozentualen Anteil der Klasse. *NAWA TREND 2012 (n = 89, davon bei 3 Stellen Daten Äusserer Aspekt nicht vorhanden).

Bei der Gewässersohle wurde je nach Untersuchungsperiode an rund 40 bis 60 % aller Stellen eine Kolmation 'unbekannter' oder 'anthropogener' Ursache nachgewiesen, wobei eine starke Kolmation (Klasse 3) einen Anteil von 7 bis 14.5 % einnahm. Der Parameter Abfälle trat je nach Periode bei rund 50 bis 60 % aller Stellen auf. Oft befindet sich dieser Abfall entlang der Ufer und weniger häufig im benetzten Bereich. Der Abfall stammt entweder von Passanten oder wird während Hochwasserereignissen jeweils soweit bachabwärts verfrachtet, bis er am Ufer an Ästen oder anderen Strukturen hängen bleibt. Die anderen Parameter der Gewässersohle traten deutlich weniger häufig auf. Eisensulfidflecken waren in den drei Perioden bei 13 bis 20 % der Stellen vertreten und damit häufiger wie Feststoffe aus der Siedlungsentwässerung (9 bis 13 %), Verschlammlung (6 bis 15 %) oder heterotropher Bewuchs (1 bis 7 %) (**Abbildung 4.1**).

Tab. 4.1: Äusserer Aspekt. Anzahl Beeinträchtigungen pro Stelle für die beiden Teilbereiche 'fliessende Welle' und 'Gewässersohle' sowie für alle Parameter des Äusseren Aspektes aller NAWA TREND Biologie Stellen der Jahre 2012 (n = 86*), 2015 (n = 88) und 2019 (n = 104) sowie der NAWA SPEZ Biologie Stellen 2015-2018 (n = 97).

Aufgeführt sind die Anzahl Stellen (oben) sowie die Anteile (unten) pro Teilbereich. Zum besseren Verständnis der Tabelle siehe die beiden Lesebeispiele. Die fliessende Welle wird gemäss Abbildung 4.1 durch 4 Parameter beschrieben und die Gewässersohle durch 6 Parameter. Insgesamt kann eine Stelle somit maximal 10 Beeinträchtigungen aufweisen. *NAWA TREND 2012 (n = 89, davon bei 3 Stellen Daten Äusserer Aspekt nicht vorhanden).

		Anzahl Beeinträchtigungen											
		Einheit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NAWA TREND 2012	Fliessende Welle	[Stellen]	46	33	3	4	-	-	-	-	-	-	-
	Gewässersohle	[Stellen]	26	26	22	9	2	1	-	-	-	-	-
	Fliess. Welle + Sohle	[Stellen]	17	21	22	15	6	3	2	-	-	-	-
NAWA TREND 2015	Fliessende Welle	[Stellen]	55	28	5	-	-	-	-	-	-	-	-
	Gewässersohle	[Stellen]	19	28	28	11	2	-	-	-	-	-	-
	Fliess. Welle + Sohle	[Stellen]	14	23	31	8	6	6	-	-	-	-	-
NAWA TREND 2019	Fliessende Welle	[Stellen]	53	35	11	4	1	-	-	-	-	-	-
	Gewässersohle	[Stellen]	17	36	27	17	6	1	-	-	-	-	-
	Fliess. Welle + Sohle	[Stellen]	13	24	26	15	13	10	1	2	-	-	-
NAWA SPEZ 2015-2018	Fliessende Welle	[Stellen]	70	21	5	1	-	-	-	-	-	-	-
	Gewässersohle	[Stellen]	40	30	15	10	2	-	-	-	-	-	-
	Fliess. Welle + Sohle	[Stellen]	31	27	23	9	5	-	2	-	-	-	-

Lesebeispiel: Bei NAWA TREND wiesen im Jahr 2012 in der fliessenden Welle **46 der total 86 Stellen** keine Beeinträchtigung auf.

		Anzahl Beeinträchtigungen											
		Einheit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NAWA TREND 2012	Fliessende Welle	[%]	53	38	3	5	-	-	-	-	-	-	-
	Gewässersohle	[%]	30	30	26	10	2	1	-	-	-	-	-
	Fliess. Welle + Sohle	[%]	20	24	26	17	7	3	2	-	-	-	-
NAWA TREND 2015	Fliessende Welle	[%]	63	32	6	-	-	-	-	-	-	-	-
	Gewässersohle	[%]	22	32	32	13	2	-	-	-	-	-	-
	Fliess. Welle + Sohle	[%]	16	26	35	9	7	7	-	-	-	-	-
NAWA TREND 2019	Fliessende Welle	[%]	51	34	11	4	1	-	-	-	-	-	-
	Gewässersohle	[%]	16	35	26	16	6	1	-	-	-	-	-
	Fliess. Welle + Sohle	[%]	13	23	25	14	13	10	1	2	-	-	-
NAWA SPEZ 2015-2018	Fliessende Welle	[%]	72	22	5	1	-	-	-	-	-	-	-
	Gewässersohle	[%]	41	31	15	10	2	-	-	-	-	-	-
	Fliess. Welle + Sohle	[%]	32	28	24	9	5	-	2	-	-	-	-

Lesebeispiel: Bei NAWA TREND wiesen im Jahr 2012 in der fliessenden Welle **53 % der total 86 Stellen** keine Beeinträchtigung auf.

Als Ursachen für eine Kolmation wurden Versinterung (natürlich), mangelnde Dynamik, Morphologie (Kanalisation), Baustelle (Hochwasserschutz), Landwirtschaft (Drainagen) sowie Schwall-Sunkbetrieb erwähnt. Beim Abfall wurde sehr häufig Verpackungen aufgeführt und bei den Feststoffen aus der Siedlungsentwässerung WC-Papier. Bei der Trübung war fast ausschliesslich als Bemerkung die Wasserkraft und selten Baustelle (Hochwasserschutz) und Abwassereinleitung vermerkt. Als natürliche Ursache für Trübung galten Niederschlagsereignisse, Schnee- sowie Gletscherschmelze. Bei allen anderen Parametern war die Bemerkung Abwassereinleitung die meist genannte Ursache (**Abbildung 4.1**). Betrachtet man die Anzahl Beeinträchtigungen der Gewässersohle, so waren diese in der Untersuchungskampagne NAWA TREND 2019 im Vergleich zur fließenden Welle deutlich häufiger. So wiesen bloss 17 der 104 Stellen keine Beeinträchtigung der Gewässersohle auf. Bei den restlichen 89 Stellen traten eine (36 Stellen), zwei (27 Stellen), drei (17 Stellen), vier (6 Stellen) oder bei einer Stelle gar fünf Beeinträchtigungen pro Stelle auf (Compagnou, ID 151, VD) (**Tabelle 4.1**).

Betrachtet man die **Anzahl totaler Beeinträchtigungen** der Untersuchungskampagne NAWA TREND 2019, so waren nur 13 der 104 Stellen durch keine Beeinträchtigung gekennzeichnet. Die Stellen mit fünf Beeinträchtigungen pro Stelle waren die Rhône (ID 17, VS), die Drance (ID 18, VS), die Broye (ID 22, VD), die Bünz (ID 34, AG), die Sissle (ID 36, AG), die Gürbe (ID 59, BE), die Sorne (ID 68, JU), die Lauche (ID 71, TG), die Lorze (ID 75, ZG) und die Birs (ID 87, JU). Jene Stellen mit sechs Beeinträchtigungen pro Stelle waren der Limpach (ID 9, SO) und mit sieben Beeinträchtigungen pro Stelle die Combagnou (ID 151, VD) und der Aabach (ID 45, ZH). Diese 13 Stellen wiesen fast durchgehend alle eine kolmatierete Gewässersohle, Abfall und eine unnatürliche Trübung sowie in mehr als der Hälfte der Stellen noch stabiler Schaum, eine Verschlammung und/oder Eisensulfid auf (**Tabelle 4.1**).

In **Tabelle 4.2** sind die Bewertung hinsichtlich Schaum (fließende Welle) und Kolmation (Gewässersohle) für die jährlich untersuchten 20 Stellen aufgelistet. Diese beiden Parameter traten sehr häufig mit 'unbekannter' oder 'anthropogener' Ursache auf. Während Schaum immer nur die Fundhäufigkeit 'wenig / mittel' einnahm, trat die Kolmation der Gewässersohle an den Stellen Drance (ID 18, VS) jährlich sowie am Talent (ID 127, VD), der Bünz (ID 034, AG) und der Chise (ID 058, BE) vereinzelt auch mit starker Ausprägung auf. Die jährlichen Aufnahmen lassen kein eindeutiges und allgemein gültiges Muster hinsichtlich Konstanz eines Parameters erkennen. An gewissen Stellen gab es nie eine Schaumbildung oder eine kolmatierete Gewässersohle, an anderen Stellen trat die Beeinträchtigung regelmässig jedes Jahr auf und an anderen Stellen wurden die Beeinträchtigungen nur zeitweise festgestellt.

In **Tabelle 4.3** sind für dieselben jährlich untersuchten 20 Stellen die Anzahl beeinträchtigte Parameter pro Stelle und Erhebungen aufgeführt. Keine der 20 Stellen wies nie eine Beeinträchtigung auf. Demgegenüber gab es mehrere Stellen mit jährlich mehr als zwei Beeinträchtigungen pro Jahr. Ein Trend der Verbesserung zeichnet sich möglicherweise bei der Töss (ID 66, ZH), der Areuse (ID 85, NE), dem Doubs (ID 88, JU), dem Talent (ID 127, VD) und allenfalls bei der Steinach (ID 23, SG) ab und einen Trend der Verschlechterung bei der Drance (ID 18, VS) und allenfalls bei der Muota (ID 100, SZ) und der Simme (ID 133, BE) ab.

Tab. 4.2: Äusserer Aspekt. Schaumbildung der fließenden Welle und Kolmation der Gewässersohle an den 20 Stellen, welche von 2011 - 2015 jährlich sowie im 2019 untersucht wurden.

Stabiler Schaum der fließenden Welle und eine kolmatisierte Gewässersohle stellen zwei sehr häufig auftretende Beeinträchtigungen dar.

** Stelle Salmsacher Aach (ID 073, TG) wurde im 2019 im Rahmen eines Zusatzauftrages das letzte Mal beprobt.

Legende

- 1 Klasse 1 erfüllt*
- 2 Klasse 2 fraglich*
- 3 Klasse 3 nicht erfüllt*

* Anforderungen GSchV

Gewässer	ID	KT	Schaum						Kolmation					
			2011	2012	2013	2014	2015	2019	2011	2012	2013	2014	2015	2019
Drance	18	VS	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3
Steinach	23	SG	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1
Necker	27	SG	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
Bünz	34	AG	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	3
Furtbach	49	ZH	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2
Engstlige	56	BE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chise	58	BE	1	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	3
Sense	60	BE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Töss	66	ZH	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1
Murg	70	TG	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2
Salms. Aach**	73	TG	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
Lorze	76	ZG	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Areuse	85	NE	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Doubs	88	JU	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
Muota	100	SZ	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
Sarine	107	FR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
Sitter	115	AI	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Talent	127	VD	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2
Aubonne	130	VD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Simme	133	BE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1

Tab. 4.3: Äusserer Aspekt. Anzahl beeinträchtigte Parameter pro Stelle und Erhebungen an den 20 Stellen, welche von 2011 - 2015 jährlich sowie im 2019 untersucht wurden.

Legende zur Grafik

Die Strichdicke visualisiert die Anzahl beeinträchtigte Parameter pro Aufnahme und der dunkelgraue Strich entspricht dem Maximalwert.

** Stelle Salmsacher Aach (ID 073, TG) wurde im 2019 im Rahmen eines Zusatzauftrages das letzte Mal beprobt.

Gewässer	ID	KT	Anzahl beeinträchtigte Parameter pro Aufnahme						Visualisierung zum Erkennen eines Trends					
			2011	2012	2013	2014	2015	2019	2011	2012	2013	2014	2015	2019
Drance	18	VS	3	3	4	2	5	5	—	—	—	—	—	—
Steinach	23	SG	1	5	6	5	3	0	—	—	—	—	—	—
Necker	27	SG	2	0	0	1	2	0	—	—	—	—	—	—
Bünz	34	AG	6	5	5	6	2	5	—	—	—	—	—	—
Furtbach	49	ZH	2	3	3	5	2	4	—	—	—	—	—	—
Engstlige	56	BE	0	0	0	0	0	1	—	—	—	—	—	—
Chise	58	BE	0	1	1	2	1	4	—	—	—	—	—	—
Sense	60	BE	1	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—
Töss	66	ZH	3	2	1	1	2	0	—	—	—	—	—	—
Murg	70	TG	3	3	3	5	2	2	—	—	—	—	—	—
Salms. Aach**	73	TG	3	4	4	4	5	3	—	—	—	—	—	—
Lorze	76	ZG	2	4	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—
Areuse	85	NE	5	2	1	1	2	1	—	—	—	—	—	—
Doubs	88	JU	9	2	3	3	1	2	—	—	—	—	—	—
Muota	100	SZ	3	4	5	5	5	4	—	—	—	—	—	—
Sarine	107	FR	1	0	0	2	1	1	—	—	—	—	—	—
Sitter	115	AI	0	0	1	0	0	1	—	—	—	—	—	—
Talent	127	VD	3	4	5	2	2	3	—	—	—	—	—	—
Aubonne	130	VD	1	2	1	0	0	1	—	—	—	—	—	—
Simme	133	BE	0	0	0	1	1	1	—	—	—	—	—	—

5 Resultate und Diskussion Kieselalgen

Mit den folgenden Kapiteln werden die vorgefundenen Kieselalgen-Lebensgemeinschaften charakterisiert, die biologisch indizierte Wasserqualität, die Standortgerechtigkeit sowie die Qualitätssicherung besprochen. Im Weiteren werden taxaspezifische Hinweise gemacht und auf weitere Auswertungen wie die molekulare Bestimmung des DI-CH-Wertes (eDNA) eingegangen. Dabei wird jeweils wo möglich und sinnvoll mit den Datensätzen früherer Perioden von NAWA TREND verglichen.

5.1 Charakterisierung der Kieselalgen-Lebensgemeinschaften

In den 104 Proben des Jahres 2019 wurden 214 verschiedene **Taxa** bestimmt. Dies sind 41 % der in Hofmann et al. (2013, siehe Tabelle 4 auf Seite 575 bis 592) für Fließgewässer Mitteleuropas aufgeführten häufigen 526 Taxa. In der gesamten Periode seit Beginn der Untersuchungen (2011-2019, 349 Proben) traten im Rahmen der Zählungen 326 Taxa auf, was 62 % der in Hofmann et al. (2013) aufgeführten Taxa entspricht.

Von den 214 Taxa kamen 62 Taxa (29 %) in nur einer Zählung (1 Probe), 122 Taxa (57 %) in höchstens fünf Zählungen (1 bis 5 Proben) und 18 Taxa (8 %) in höchstens 50 Zählungen (1 bis 50 Proben) vor. *Achnantheidium minutissimum* var. *minutissimum* war das Taxon mit der grössten Verbreitung. Es kam in 102 von 104 Zählungen vor. Dieses Taxon ist in der Schweiz wie auch in ganz Mitteleuropa sehr weit verbreitet. Es tritt sowohl bei Hofmann et al. (2013) wie auch in der Datenbank BIS der Firma AquaPlus AG als Taxon auf, welches am häufigsten und am weitesten verbreitet ist. Das Taxon ist gegenüber vielen Umweltfaktoren sehr tolerant, meidet aber starke organische Belastungen, wie es z.B. Abwassereinträge bewirken können.

Im Jahr 2019 reichte die **Taxazahl** pro Probe von 10 (Kander, ID 92, BE) bis 52 Taxa (Töss, ID 66, ZH). Der Median der Taxazahl aller Proben des Jahres 2019 betrug 26 Taxa (Jahr 2011-2013: Min 13, Max 45, Median 29; Jahr 2015: Min 14, Max 53, Median 31). Gemäss **Abbildung 5.1** ist die Taxazahl und noch stärker die Diversität **H** sehr stark abhängig von den drei in einer Probe am häufigsten vorkommenden Taxa (im Folgenden auch '*Dominanzsumme*' genannt). Wenn diese Dominanzsumme der drei häufigsten Arten mehr als 70 % einnimmt, dann weist eine Lebensgemeinschaft im Rahmen der Zählung von 500 Schalen selten mehr als 30 Taxa auf. Diese Abhängigkeit von der Dominanzsumme entspricht den Erwartungen und ist bekannt. Sie begründet sich mit der Zählmethode. Da für das Eruiere des Indexwertes DI-CH um 500 Schalen gezählt werden, haben in einer Probe seltenere Arten eine geringere Chance innerhalb der Zählung erfasst zu werden, je höher der Anteil der häufigsten Arten ist. Nimmt der Anteil der häufigsten drei Arten mehr als 90 % ein, so fällt die Taxazahl mit grosser Wahrscheinlichkeit unter 20. Bei der **Diversität H** nach Shannon & Weaver (1949; Log mit Basis 2) ist die Abhängigkeit von dieser Dominanzsumme noch ausgeprägter. So fällt die Diversität **H** pro rund 20 % zusätzliche Dominanzsumme um eine Einheit (**Abbildung 5.1**).

Es konnte kein Zusammenhang zwischen der Gewässergrösse (Mass: **Flussordnungszahl**, FLOZ) und der Taxazahl gefunden werden (**Abbildung 5.1**). Dieses Bild kann sich aber ändern, sobald die Datenlage über alle FLOZ-Stufen hinweg in etwa gleich gross ist. Wir erwarten bei grossen Flüssen, generell bei Seeausflüssen sowie bei kleinen Bächen, bei welchen die Uferbereiche einen grösseren Flächenanteil einnehmen wie die fließende Welle, mehr Arten als bei normalen wasserbaren Bächen mit rund 2 bis 5 m Breite. Die Analyse der Taxazahlen zeigte im weiteren, dass keine offensichtlichen Abhängigkeiten von der Meereshöhe, der Einzugsgebietsfläche, der Biogeographie, der Ökomorphologie, des Abwasseranteiles, der Grossvieheinheiten oder der Landnutzung (Wald, Siedlung, Landwirtschaft, Unproduktive Flächen) vorhanden sind. Auf graphische Darstellungen und Erläuterungen wird daher verzichtet.

In **Abbildung 5.2** sind wichtige Kennwerte der Kieselalgen-Lebensgemeinschaften für die Jahre 2012, 2015 und 2019 grafisch dargestellt. Es wird ersichtlich, dass die drei Ganglinien der Jahre 2012, 2015 und 2019 sich hinsichtlich Median recht ähnlich sind. Die Periode 2019 ist trotz 18 zusätzlich neu dazugekommenen Stellen durch den tiefsten Median bei der Taxazahl gekennzeichnet. Grund dafür ist die höhere Dominanz (Summe der prozentualen Häufigkeiten rH der drei häufigsten Taxa) im Vergleich zu den Vorperioden. In den Jahren 2012 und 2015 sind Teratologien $\geq 0.5\%$ häufiger als im Jahr 2019. Des Weiteren sind die oberen Werte durch höhere prozentuale Teratologie-Anteile gekennzeichnet. Die Verteilung der DI-CH-Werte ist in allen drei Perioden sehr ähnlich.

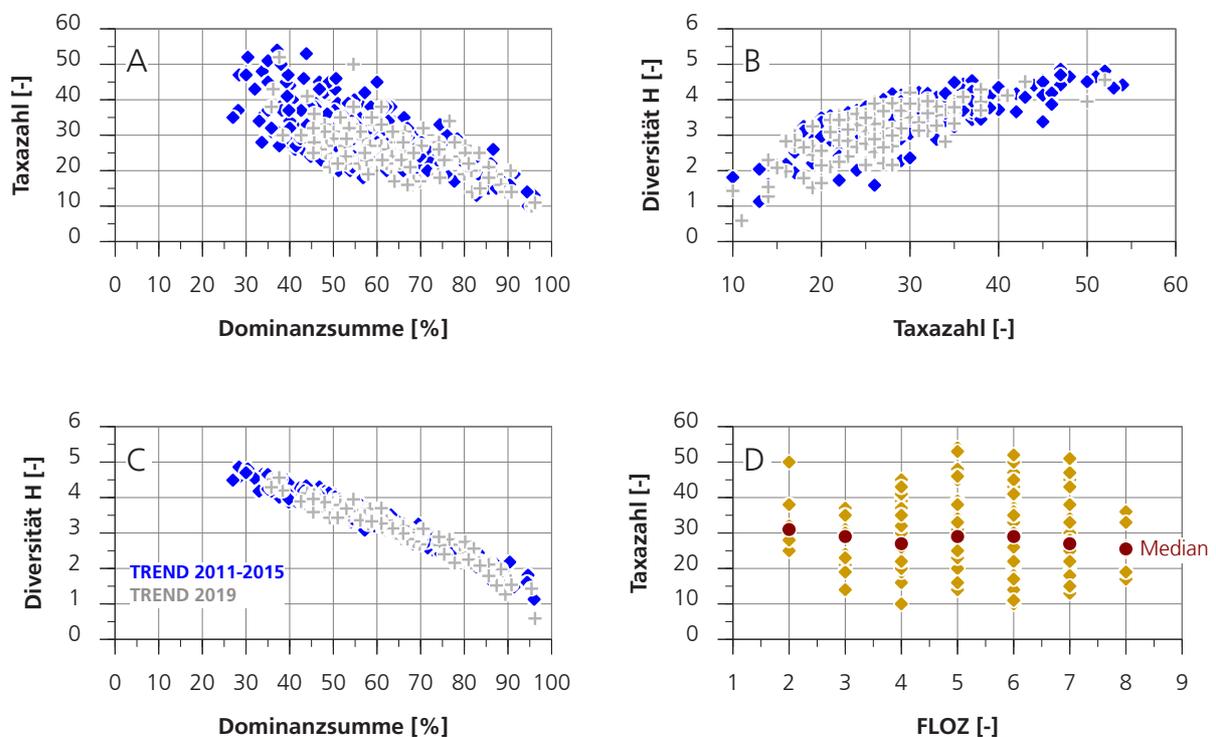


Abb. 5.1: Taxazahl (A, D) und Diversität H (B, C) in Abhängigkeit verschiedener Kenngrössen.

Dominanzsumme = Summe der prozentualen Häufigkeiten (rH) der drei häufigsten Taxa, FLOZ = Flussordnungszahl nach Strahler (1952). Blaue Symbole: Daten der Jahre 2011-2015. Graue Symbole: Daten des Jahres 2019. Braune Symbole: Daten der Jahre 2011-2019 (n = 349).

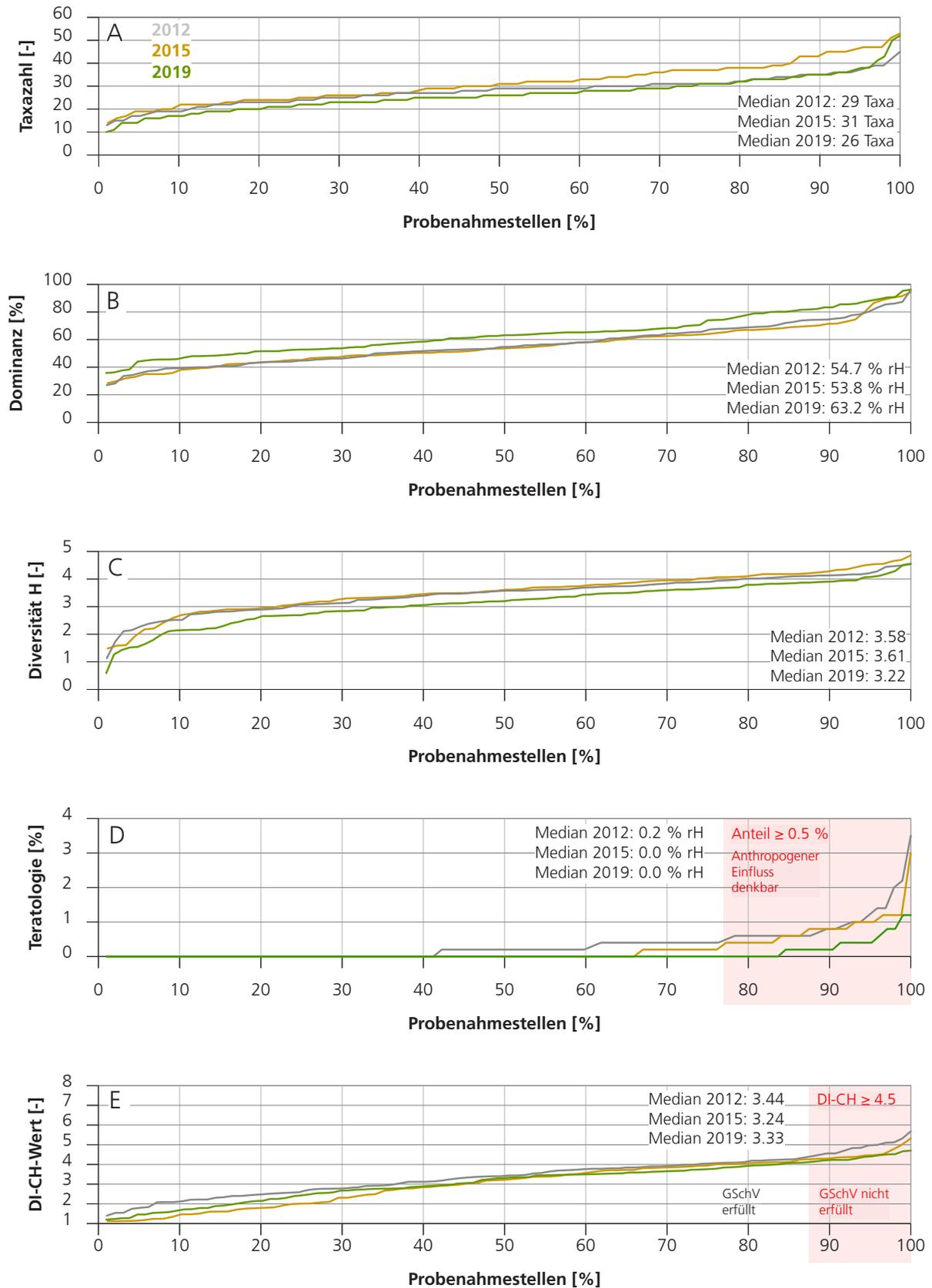


Abb. 5.2: Grafische Darstellung von Kennwerten zur Charakterisierung der Kieselalgen-Lebensgemeinschaften sämtlicher Proben der Jahre 2012 (graue Linie), 2015 (braune Linie) und 2019 (grüne Linie). A: Taxazahl, B: Dominanz (Summe der prozentualen Häufigkeiten rH der drei häufigsten Taxa), C: Diversität H (Shannon & Weaver, 1949; Log mit Basis 2), D: Teratologie, E: DI-CH-Wert. Erläuterungen zu Teratologie siehe Kapitel 5.3 und zum DI-CH-Wert siehe Kapitel 5.5. Anzahl Probenahmestellen in % der Jahre 2012 (n = 89), 2015 (n = 88) und 2019 (n = 104).

5.2 Artenzusammensetzung

In den 104 Proben des Jahres 2019 wurden 214 Taxa nachgewiesen. Davon zählten 36 Taxa (17 % von 214 Taxa) zu den **Hauptarten (Tabelle 5.1)**. Als Hauptarten bezeichnet man Arten, welche mindestens einmal eine relative Häufigkeit (rH) von 10 % oder mehr einnehmen. Als **Begleitarten** (Arten mit einer rH von 5 bis < 10 %) galten 17 Taxa (8 %). Diese 53 Haupt- und Begleitarten (25 % aller Taxa) umfassen zusammen im Mittel 95 % der Prozentsumme einer Probe (Spannweite 80.2 % bis 100 % wobei in 89 % der Proben ≥ 90 %). Diese 53 Taxa sind somit wichtige Taxa, insbesondere auch für die Berechnung des DI-CH-Wertes.

Von den 214 Taxa können bei 175 Taxa (81 %) einen D- und G-Wert zur Berechnung des DI-CH-Indexwertes zugewiesen werden. In **Abbildung 5.3** sind diese 175 Taxa der Periode 2019 sowie jene der Periode 2015 (172 Taxa) auf die D-Werte verteilt dargestellt. Im Vergleich dazu sind die 326 Taxa gemäss Angabe

Tab. 5.1: Hauptarten (HA) der Kieselalgen-Lebensgemeinschaften der 104 NAWA-Proben des Jahres 2019.

Sortierung absteigend nach Anzahl Vorkommen. HA = Hauptarten: Taxa mit mindestens einem Vorkommen von ≥ 10 % relative Häufigkeit (rH). DVNR = eindeutige ID gemäss Liste Deutschlands. DVNR > 100'000 sind eigene Taxabezeichnungen, wie sie in Deutschland nicht geführt werden. D- und G-Werte gemäss BAFU Modul Kieselalgen (BAFU 2007a). 26 der 36 Hauptarten traten bereits in den früheren Untersuchungsperioden (Jahre 2011-2013 und 2015) auf.

Taxaliste	HA	DVNR	D-Wert	G-Wert	Vorkommen	
Hauptarten HA (Vorkommen ≥ 10 % rH)	2011-2015	ID	für DI-CH-Index		in Anzahl Proben	Maximum % rH
<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>olivaceum</i> (HORNEMANN) BREB.	ja	6867	3	0.5	90	92.6
<i>Achnanthydium delmontii</i> PERES, LE COHU & BARTHES	ja	100244	3.5	1	54	81.8
<i>Achnanthydium pyrenaicum</i> (HUSTEDT) KOBAYASI	ja	26005	1.5	1	80	78.2
<i>Achnanthydium minutissimum</i> var. <i>minutissimum</i> (KUETZING) CZAR.	ja	26060	3	0.5	102	73.4
<i>Achnanthydium gracillimum</i> (MEISTER) LANGE-BERTALOT	ja	26061	1	1	3	72.2
<i>Amphora pediculus</i> (KUETZING) GRUNOW	ja	6983	5	0.5	86	50.6
<i>Diatoma problematica</i> LANGE-BERTALOT	ja	16207	5	2	45	48.6
<i>Diatoma moniliformis</i> ssp. <i>moniliformis</i> KUETZING	ja	6209	2	2	14	45.6
<i>Gomphonema tergestinum</i> (GRUNOW) M. SCHMIDT	ja	6897	3	2	36	40.6
<i>Achnanthydium lineare</i> W. SMITH	ja	100246	1	8	35	36.2
<i>Encyonema silesiacum</i> var. <i>silesiacum</i> (BLEISCH) D.G.MANN	ja	16993	3	1	36	34.8
<i>Achnanthydium atomoides</i> MONNIER, LANGE-BERTALOT & ECTOR	ja	26003	3	2	23	31.0
<i>Navicula cryptotenella</i> LANGE-BERTALOT	ja	6889	4	0.5	89	30.8
<i>Navicula lanceolata</i> (C.AGARDH) EHRENBERG	ja	6864	4.5	1	25	27.6
<i>Nitzschia dissipata</i> (KUETZING) GRUNOW	ja	36151	3.5	1	92	23.0
<i>Surirella neglecta</i> REICHARDT	ja	100251	4.5	2	22	21.8
<i>Reimeria sinuata</i> (GREGORY) KOCIOLEK & STOERMER	ja	36212	3.5	1	54	21.2
<i>Achnanthydium rivulare</i> POTAPOVA & PONADER	nein	100265	-	-	3	21.0
<i>Achnanthydium caledonicum</i> (LANGE-BERTALOT) LANGE-B.	nein	26010	1	8	21	18.4
<i>Achnanthydium rostrumpyrenaicum</i> JÜTTNER & COX	ja	100247	1.5	1	33	18.4
<i>Encyonema ventricosum</i> (C.AGARD) GRUNOW	nein	26318	2.5	2	71	18.2
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F.MUELLER) BORY DE SAINT-VINCENT	ja	6831	4	1	77	18.2
<i>Nitzschia fonticola</i> GRUNOW	ja	36154	3.5	1	68	17.0
<i>Gomphonema elegantissimum</i> REICHARDT & LANGE-BERTALOT	ja	36276	2	4	25	14.6
<i>Encyonema minutum</i> (HILSE) D.G.MANN	ja	26208	2.5	2	61	14.4
<i>Navicula gregaria</i> DONKIN	ja	6015	5.5	1	61	14.4
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>gracilis</i> (OESTRUP) HUSTEDT	nein	6392	1	4	17	14.2
<i>Mayamaea atomus</i> var. <i>permitis</i> (HUSTEDT) LANGE-BERTALOT	ja	26472	6	1	48	14.0
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (KUETZING) LANGE-BERTALOT	ja	6186	6	0.5	57	12.8
<i>Fistulifera saprophila</i> (LANGE-BERTALOT & BONIK) LANGE-B.	ja	26618	7	2	11	12.2
<i>Nitzschia sociabilis</i> HUSTEDT	nein	6961	3.5	2	51	12.0
<i>Navicula antonii</i> LANGE-BERTALOT	ja	16653	5	1	57	11.6
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.AGARDH) LANGE-BERTALOT	nein	6224	4.5	1	36	11.6
<i>Cymbella excisa</i> var. <i>excisa</i> KUETZING	nein	26134	2	2	27	11.4
<i>Encyonopsis microcephala</i> (GRUNOW) KRAMMER	ja	26207	2	2	12	11.2
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>jackii sensu DICH 2006</i> (RABENHORST) LANGE-B.	ja	106707	1	8	10	10.0

der D-Werte im BAFU Modul Kieselalgen (BAFU 2007a) aufgeführt. Es wird ersichtlich, dass die Taxa der NAWA-Proben in etwa dieselbe Verteilung über die Skala der D-Werte haben wie die Gesamtheit aller indikativen Taxa. Rund 70 % aller NAWA-Taxa der Periode 2019 mit einem D-Wert weisen einen D-Wert ≤ 4 auf. Sie repräsentieren damit sehr gute bis gute Zustände. Rund 30 % der Arten sind demnach Arten, welche einen D-Wert > 4 haben. Sie repräsentieren einen mässigen, unbefriedigenden oder schlechten Zustand. Eine ähnliche D-Wertverteilung ergibt sich, wenn die gesamte Periode betrachtet wird (2011-2019: 236 Taxa mit D- und G-Wert, D-Wert ≤ 4 : 73 %; D-Wert > 4 : 27%).

In 20 von 104 Proben kamen **planktisch lebende Arten** vor. Es traten gehäuft Vertreter der Gattungen *Cyclotella* (8 Arten) und *Stephanodiscus* (3 Arten) sowie *Asterionella formosa* und *Aulacoseira granulata* auf.

Die prozentualen Anteile aller planktischen Arten einer Stelle zusammen nahmen maximal 9.4 % ein (Glatt, ID 044, Abfluss Greifensee, vom 13.03.19). 7 der 20 Stellen wiesen eine relative Häufigkeit (rH) an planktischen Arten mit ≥ 1 % auf. Fast alle der 7 Stellen mit einem $rH \geq 1$ % sind bekannte Seeausflüsse. Ausnahmen waren die Töss bei Rämismühle (ID 066; Staustufen, Kleinseen) und die Muota bei Ingenbohl (ID 100; Staueeen, oberhalb Vierwaldstättersee). 13 Messstellen wiesen weniger Plankter auf. Diese Stellen enthielten in der Regel Staustufen, Staueeen oder Kleinseen im Einzugsgebiet oder waren Seeausflüsse.

Seeausflüsse weisen grundsätzlich stabilere Lebensraumverhältnisse auf wie andere Fliessgewässer. Dies illustriert auch die Stelle ID 044 (Glatt), welche einen hohen Anteil an Plankton aufweist (rH : 9.4 %). Die Dominanzsumme der drei häufigsten Arten ist bei Stellen mit einem Planktonanteil von > 5 % wiederum wie schon bei den Vorperioden (2011-2013 und 2015) deutlich tiefer wie 50 %. Dies ist ein Hinweis, dass nicht Erstbesiedler die Lebensgemeinschaft dominieren.

Untersuchungen der Kieselalgen-Lebensgemeinschaften in Seeausflüssen wiesen Anteile an planktischen Arten von rund 2 bis 13 % rH auf. Die Distanz der Verfrachtung planktischer Arten flussabwärts ist unterschiedlich gross und hängt von verschiedenen Faktoren ab (Trophiegrad des Sees, Planktondichte, Fliessverhalten, Abfluss, Verdünnung durch Zuflüsse, Staustufen, etc.).

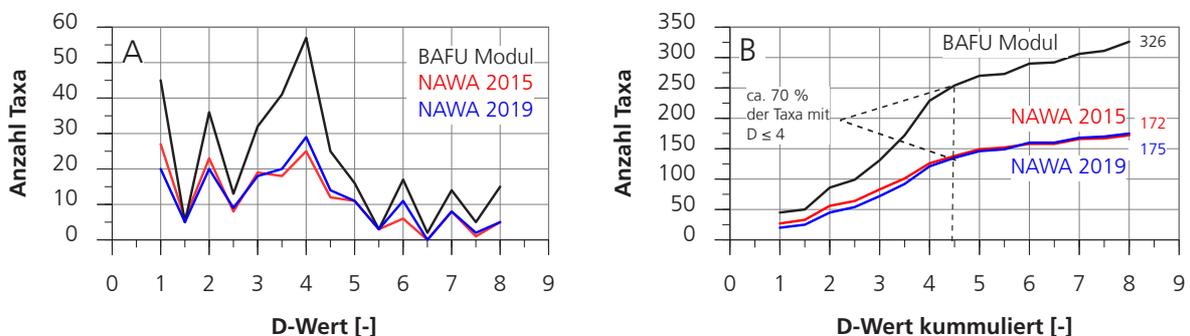


Abb. 5.3: Verteilung der 172 Taxa (Periode 2015) und 175 Taxa (Periode 2019) aller NAWA-Proben mit D-Wert im Vergleich mit den 326 Taxa mit D-Wert gemäss BAFU Modul Kieselalgen (BAFU 2007a).

Berücksichtigt sind Taxa mit einem D-Wert. A: Anzahl Taxa pro D-Wert. B: Anzahl Taxa über die D-Werte kumuliert. D-Wert ≤ 4 (= Zustandsklasse 'gut' und 'sehr gut').

In der Schweiz kommen gemäss Wissensstand per Ende 2019 15 **gebietsfremde Kieselalgenarten** vor (Neophyta; AquaPlus & PhycoEco, 2020). Von diesen 15 gebietsfremden Arten erachten wir *Achnanthydium subatomus*, *Amphora indistincta*, *Navicula veneta* und *Reimeria uniseriata* als fraglich, ob sie als gebietsfremd bezeichnet werden können. Dies weil sie gemäss unseren Erfahrungen schon lange in der Schweiz vorhanden sind. In der folgenden Auswertung haben wir diese Taxa dennoch bis auf *N. veneta* (6 Vorkommen, maximale relative Häufigkeit (rH) 1.2 %) berücksichtigt. Das Vorkommen der toleranten Art *N. veneta* hängt vor allem von der organischen Belastung eines Gewässers ab und wird daher bei abnehmender Belastung auch weniger häufig vorkommen.

In **Tabelle 5.2** sind das Vorkommen der 9 gebietsfremden Kieselalgenarten pro Jahr aufgelistet, welche im Datensatz NAWA TREND seit 2011 vorkamen. Während in der 1. Kampagne 2012 nur 20 Vorkommen beobachtet wurden, waren es in der 2. Kampagne 2015 bereits 63 und in der 3. Kampagne 2019 mit 67 Vorkommen noch etwas mehr als in der Vorperiode. Konstant über alle Jahre hinweg traten *Didymosphenia geminata* und die fragliche *Achnanthydium subatomus* immer auf. In der letzten Kampagne 2019 aber mit deutlich geringerer Anzahl. Über die Jahre hinweg nahm die Zahl von gebietsfremden Kieselalgen zu. Waren es im Jahr 2011 erst 2 Arten, stieg die Zahl auf 4 (2012), 5 (2015) und 8 Arten (2019) an.

In **Abbildung 5.4** ist ersichtlich, dass gebietsfremde Kieselalgen bei der 1. Kampagne (2012) an knapp 20 % aller 89 Stellen vorkamen. Alle Anteile der gebietsfremden Arten aufsummiert erreichten im Jahr 2012 pro Stelle nie 10 % rH. Der Anteil der Stellen mit gebietsfremden Kieselalgen stieg dann in den folgenden beiden Kampagnen auf knapp 60 % aller untersuchten Stellen. Parallel dazu stieg auch der Anteil der Stellen mit einer Summe von $\geq 1\%$, $\geq 5\%$ und $\geq 10\%$ rH gebietsfremder Kieselalgen deutlich an. In den Perioden 2012-2019 enthielten die Moesa (ID 99, *Achnanthydium subatomus*) im 2012 mit 6.6 %, die Limmat (ID 40, *Achnanthydium delmontii*) im 2015 mit 78.4 % und die Lorze (ID 76, *A. delmontii*) den höchsten relativen Anteil einer gebietsfremden Art.

Auffällig ist das seit 2013 beobachtete Vorkommen von *A. delmontii* (**Tabelle 5.2**). Bei diesem Taxon besteht die Schwierigkeit, dass es vermutlich nicht immer gut von dem sehr ähnlichen, heimischen Taxon *A. pyrenaicum* abgetrennt werden kann. Aufgrund von vielen weiteren schweizweit durchgeführten Kieselalgenuntersuchungen durch die beiden Auftragnehmer AquaPlus AG und PhycoEco wurde festgestellt, dass trotz allfälligen Bestimmungsschwierigkeiten *A. delmontii* in der Schweiz bereits eine grosse ökologische Bedeutung hat. Da *A. delmontii* sehr hohe Anteile von $> 80\%$ rH einnehmen kann, verdrängt sie einheimische Arten. In **Abbildung 5.5** ist das Vorkommen von *A. delmontii* in Abhängigkeit der Meereshöhe dargestellt. Das Taxon kommt bis jetzt vor allem in tieferen Lagen (< 800 m ü. M.) mit sehr hohen Anteilen von über 20 % vor. Im Alpenraum trat das Taxon auf, jedoch aktuell mit Anteilen $< 20\%$ rH, meistens sogar $< 10\%$ rH.

Didymosphenia geminata wurde gemäss **Tabelle 5.2** im Jahr 2019 bloss an 3 Stellen gefunden und damit deutlich weniger häufig wie im Jahr 2015 (12 Stellen). Dieses Taxon ist heute weltweit und auch in der Schweiz in Verbreitung. Speziell ist das erstmalige Auftreten von *Achnanthydium rivulare* und *A. subhudsonis* var. *kraeuselli* im 2019. Beide Taxa kamen in der Vedeggio (ID 149 TI) vor, wobei *A. rivulare* mit einem hohen Anteil von 21 % rH.

Tab. 5.2: Vorkommen der gebietsfremden Kieselalgenarten pro Jahr für die NAWA TREND Perioden 2011 - 2019.

Lesebeispiel: Im Jahr 2011 trat *Achnanthydium subatomus* an 8 und *Didymosphenia geminata* an 3 der insgesamt 20 Stellen auf. Im Jahr 2011 gab es total 11 Vorkommen mit gebietsfremden Kieselalgenarten.

Gebietsfremde Art	2011	2012	2013	2014	2015	2019
Anzahl Stellen	20	89	20	20	88	104
<i>Achnanthydium catenatum</i>		1				
<i>Achnanthydium delmontii</i>			7	6	32	54
<i>Achnanthydium druartii</i>		1				2
<i>Achnanthydium rivulare</i>						3
<i>Achnanthydium subatomus</i> *	8	11	1	1	15	2
<i>Achnanthydium subhudsonis</i> var. <i>kraeuselli</i>						1
<i>Didymosphenia geminata</i>	3	7	1	1	12	3
<i>Gomphoneis transsilvanica</i>					1	1
<i>Reimeria uniseriata</i>				4	3	1
Anzahl Vorkommen total	11	20	9	12	63	67

* Verwechslungen mit anderen Arten möglich; zumindest in Einzugsgebieten mit Kalk ist das Vorkommen fraglich.

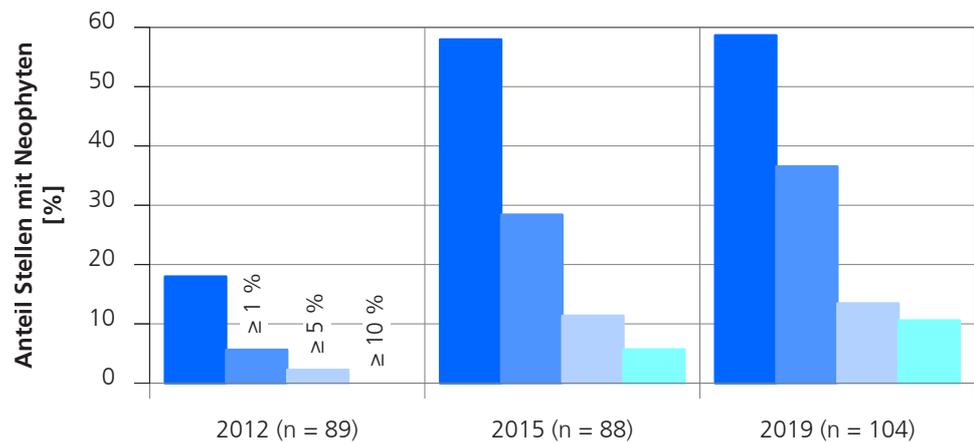


Abb. 5.4: Vorkommen der gebietsfremden Kieselalgenarten pro Periode.

Anteil der Stellen mit gebietsfremden Kieselalgenarten sowie Anteil der Stellen mit einer Summe der relativen Häufigkeiten (rH) der gebietsfremden Kieselalgenarten mit $\geq 1\%$, $\geq 5\%$ und $\geq 10\%$ rH.

Lesebeispiel: Im Jahr 2012 traten an knapp 20 % der 89 Stellen gebietsfremde Kieselalgen auf. Der Anteil Stellen mit gebietsfremden Kieselalgen, welche $\geq 1\%$ rH pro Taxon erreichten war aber bloss rund 5 %.

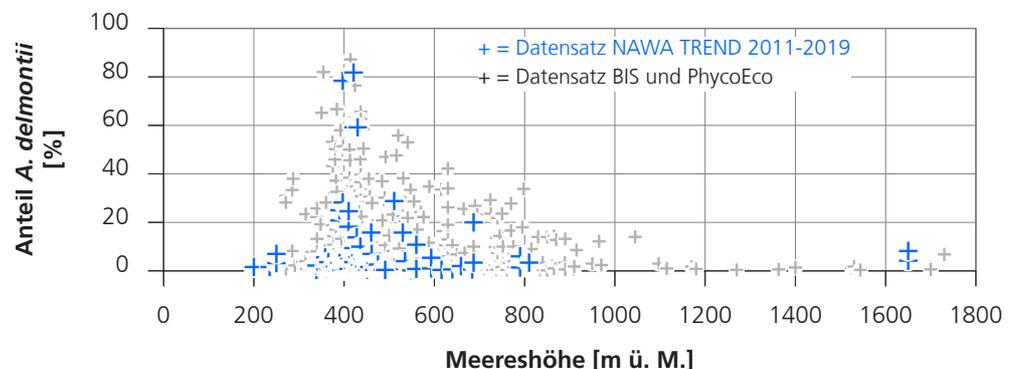


Abb. 5.5: Vorkommen der gebietsfremden Kieselalge *Achnanthydium delmontii* in Abhängigkeit der Meereshöhe in den verschiedenen Datensätzen.

Datensatz BIS = Daten der Firma AquaPlus AG, Datensatz PhycoEco = Daten von François Straub.

5.3 Teratologie

Teratologien sind Missbildungen der Schalenstruktur. Sie können natürlichen Ursprungs sein (z.B. erhöhte UV-Strahlung im Gebirge, Temperaturschock, Siliziummangel, hohe Zelldichte, etc.), aber auch anthropogen bedingt (häusliches Abwasser, hohe Ammonium- und Nitritkonzentrationen, Schwermetalle, Mikroverunreinigungen, atypisch hoher Salzgehalt, Radioaktivität, etc.). Es wird davon ausgegangen, dass wenn der Anteil an missbildeten Schalen mehr $\geq 0.5\%$ der Lebensgemeinschaft ($100\% = \text{Anzahl gezählte Schalen, z.B. 500 Schalen}$) ausmacht, dass dann durchaus anthropogene Faktoren in Frage kommen können. Das Wissen um die Ursachen der Teratologien in Zusammenhang mit natürlichen Populationen ist aber gering.

Um die Teratologie zu erfassen, wurden 5 Typen definiert, wobei Typ 4 unterteilt wird. Die Typen sind in **Abbildung 5.6** abgebildet. Die Definition dieser Typen ist willkürlich und stützt sich auf morphologische Kriterien ab, welche im Lichtmikroskop einigermaßen gut erkennbar sind. Die Typen haben unseres Wissens keine Aussagekraft im Sinne von Einflussfaktoren, ökologischer Relevanz oder sonstiger Bedeutung. Einzig der Typ 4.2 könnte ein 'stressbedingter Effekt' sein, welcher infolge hoher Zelldichte entstehen könnte.

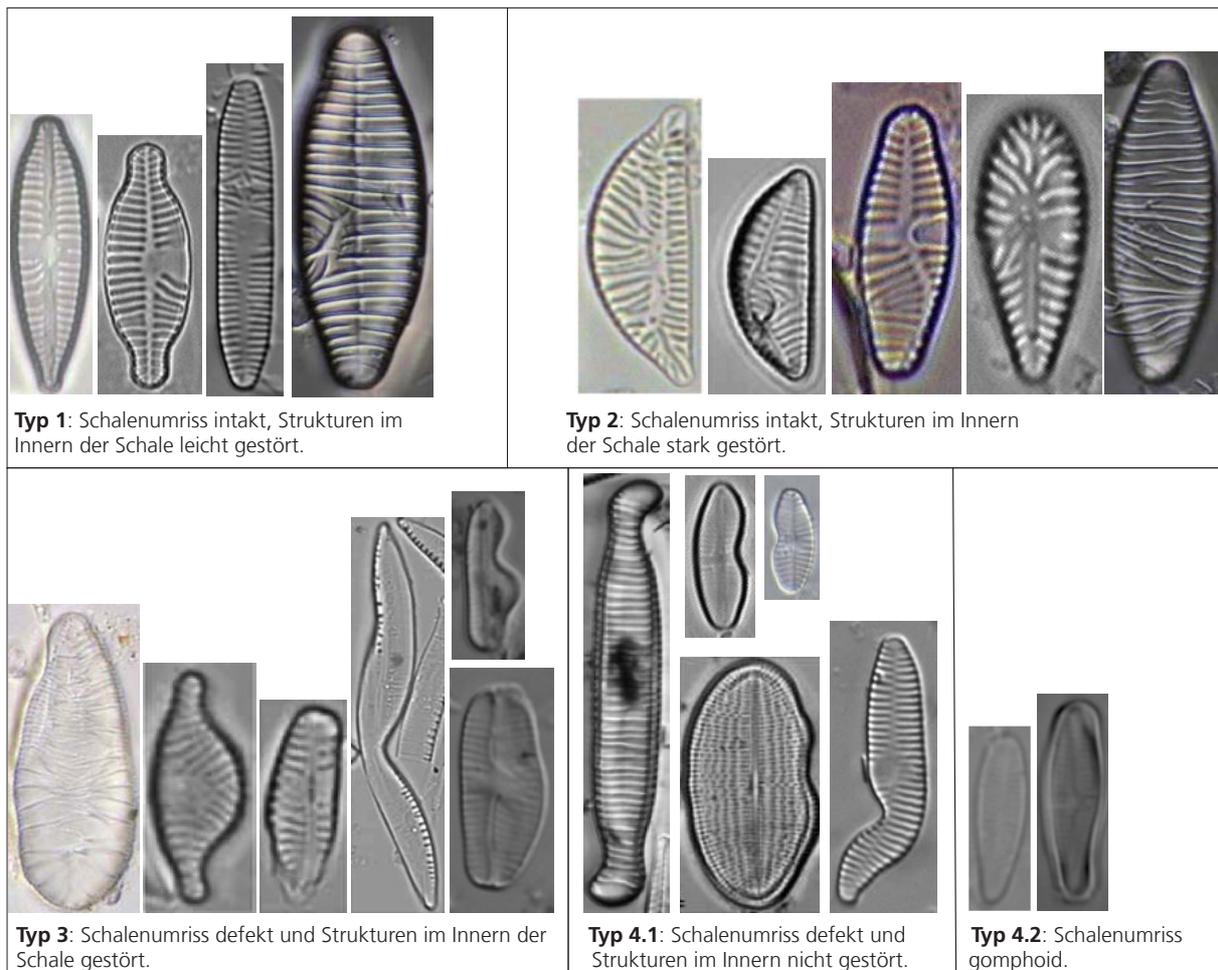


Abb. 5.6: Typen von Teratologien (Missbildungen der Schalenstrukturen). Typen gemäss S.A.M / A.S.E.M. (Workshop Kieselalgen in La Chaux-de-Fonds der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft Mikroflora) und AquaPlus & PhycoEco (2014b). Achtung: Die Schalen sind nicht mit gleicher Vergrößerung abgebildet. Die Fotos stammen von AquaPlus AG, Falasco et al. (2009), Rimet & Ector (2006) sowie Rimet et al. (2006). Gompheide = Formbeschreibung in Anlehnung an den Umriss der Schalen der Gattung *Gomphonema*.

Inwieweit die Erfassung der Teratologie abhängig von der zählenden Person ist, ist aufgrund von Ringtests im Sommer 2013 anlässlich des Workshops Kieselalgen in La Chaux-de-Fonds und anlässlich von CAS Phytobenthos Zertifikatsarbeiten eruiert worden. Die Tests zeigten, dass die Spannweite gross sein kann und auch abhängig ist von der Erfahrung des Zählers oder der Zählerin. In den NAWA-TREND-Proben der Jahre 2011 bis und mit 2019 verteilen sich die 131 Stellen mit Teratologie auf alle Institutionen, welche Zählungen durchgeführt haben. Bei den beiden Institutionen, welche die meisten Zählungen durchgeführt haben, wies AquaPlus AG 51 Proben (= 39 %) und PhycoEco 67 Proben (= 51 %) auf mit Teratologie. Insgesamt wiesen die Stellen WEST mit 56 % aller Stellen mit Teratologie wenig mehr Teratologien auf wie die Stellen OST (44 %).

Missbildungen der Kieselalgeschalen, traten gehäuft im Mittelland und im Jura auf. In alpinen Gewässern waren die Schalen wie bereits in den Perioden 2011-2013 und 2015 selten missgebildet. In den NAWA-TREND-Proben der Jahre 2011 bis und mit 2019 wiesen insgesamt rund ein Drittel aller Stellen (131 von 349 Stellen) eine Teratologie auf. Einen Teratologie-Anteil von ≥ 0.5 % rH stellten wir bei 55 Stellen fest, einen Anteil von ≥ 1 % bei 21 Stellen und einen solchen von ≥ 2 % bei 5 Stellen. Der Maximalwert über alle Typen hinweg betrug 4.7 % rH (Talent ID 127, 11.3.2011). In der Periode 2019 wurden Teratologien bei 20 Stellen, respektive 47 Schalen, verteilt auf 15 Taxa festgestellt. Die Zahl an Missbildungen betrug im 2019 gemessen an allen gezählten 52'000 Schalen 0.1 % (2011-2013: 0.4 %, 2015: 0.2 %). Der Anteil war damit etwas geringer wie in den Vorperioden.

Die **Tabelle 5.3** zeigt für die Periode 2011 bis und mit 2019 das Vorkommen respektive Häufigkeit des Auftretens der Teratologietypen. Bis auf den Typ 4.2 kamen alle Typen gehäuft vor. Am meisten beobachteten wir den Typ 4.1 (Schalenumriss defekt und Strukturen im Innern nicht gestört). Erstaunlich ist, dass die Typen 2 und 3, welche doch massive Missbildungen verkörpern, auch oft anzutreffen waren. Teratologien beobachteten wir an insgesamt 38 Taxa. Die fünf Taxa, bei welchen wir am meisten Teratologien feststellten, sind in **Tabelle 5.3** aufgelistet.

Tab. 5.3: Auftreten von Teratologien pro Teratologietyp und Total pro Taxon basierend auf den Untersuchungen der Jahre 2011-2019.

Dargestellt sind diejenigen fünf Taxa mit den meisten Teratologien. Da eine Stelle mehrere Teratologietypen aufweisen kann, entspricht das aufgeführte Total nicht der Anzahl Stellen mit Teratologie, sondern dem Anzahl Vorkommen.

Teratologie im Datensatz NAWA 2011-2019						
	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4.1	Typ 4.2	Vorkommen Total
Totale Anzahl Stellen mit Teratologie pro Typ	42	35	32	64	4	177
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	1	1	4	26	2	34
<i>Achnanthydium pyrenaicum</i>	4	2	8	9	1	24
<i>Diatoma vulgare</i>	13	4	2	2	0	21
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i>	8	8	12	9	0	37
<i>Gomphonema olivaceum</i>	1	4	1	0	0	6

tet, mit Angabe der Anzahl Beobachtungen pro Teratologietyp. Während *Achnanthydium minutissimum* und *A. pyrenaicum* gehäuft den Typ 4.2 aufwiesen, waren bei *Diatoma vulgare* die Missbildungen des Typ 1 gehäuft und damit meistens eher gering ausgebildet. Am meisten Teratologien und verteilt über alle Typen wies das Taxon *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* auf. Auf Niveau der Gattungen wies im Zeitraum 2011 - 2019 *Achnanthydium* (inkl. *Achnanthes*) mit 70 Teratologiebeobachtungen am meisten Missbildungen auf, gefolgt von den Gattungen *Fragilaria* (n = 50) und *Diatoma* (n = 45).

In **Abbildung 5.7** ist die Verteilung der Teratologien auf die Zustandsklassen des DI-CH-Wertes für die Jahre 2011 bis und mit 2019 ersichtlich. Die Abbildung lässt erkennen, dass der Anteil an Stellen mit Teratologie seit 2012 stetig abnahm. Eine Erklärung für diese Tendenz haben wir nicht. Methodisch bedingte Begründungen (Probenahme, Präparation, Zählung, Erfassung der Teratologietypen) kommen nicht in Frage, da die Methode nicht geändert wurde und die Personen, welche die Zählungen sowie die Erfassung der Teratologie durchgeführt haben über die ganze Periode hinweg mehrheitlich aus denselben zwei Institutionen (AquaPlus AG und PhycoEco) bestand. Es scheint eher, dass die Teratologien tatsächlich an diesen Stellen über die Zeit abgenommen haben. Das Auftreten der Teratologien verteilt sich aber offensichtlich über alle Zustandsklassen hinweg. Untersuchungen in 42 Kläranlagenausläufen des Kantons Zürich haben aber gezeigt, dass gereinigtes Abwasser in den meisten Fällen viele Missbildungen aufweisen. Von den 42 Proben aus Kläranlagen wiesen nur sechs Proben keine Teratologie oder einen geringen Anteil (< 0.5 %) auf. Insofern dürften vermutlich (toxische) Stoffe oft Missbildungen bewirken.

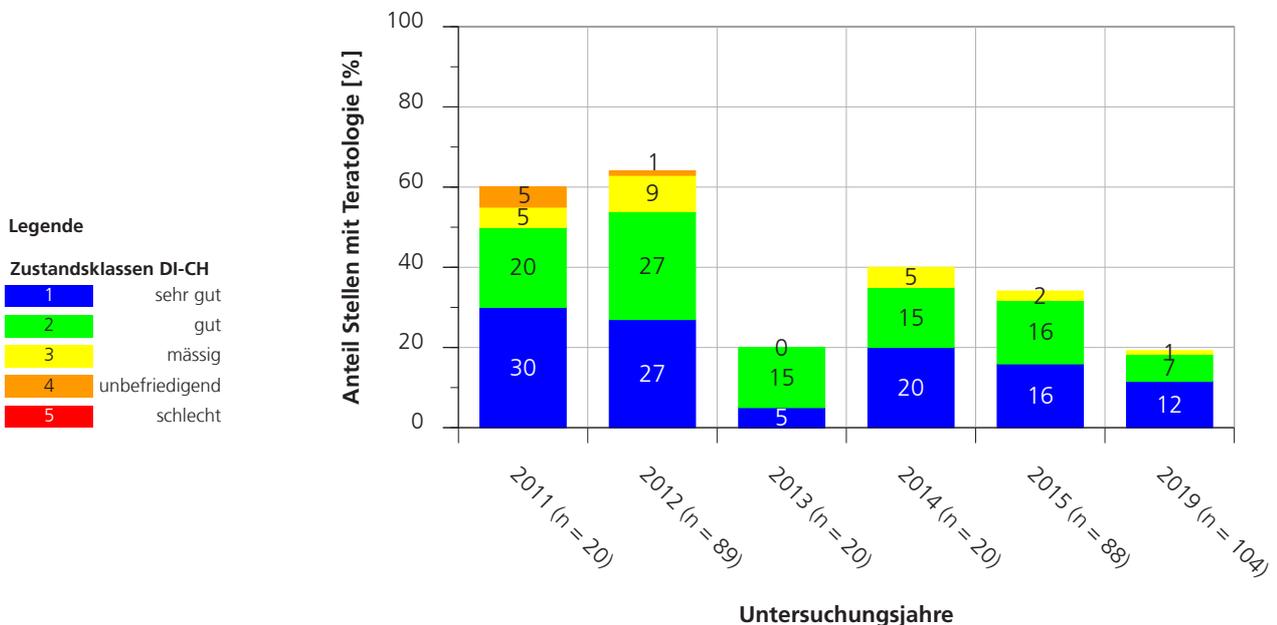


Abb. 5.7 Auftreten von Teratologien pro Zustandsklasse des DI-CH-Wertes basierend auf den Untersuchungen der Jahre 2011-2019.

Lesebeispiel: Im Jahr 2011 wiesen insgesamt 60 % der 20 Stellen eine Teratologie auf. Die Teratologien verteilten sich folgendermassen auf die Zustandsklassen: Klasse 1: 30 % der Stellen, Klasse 2: 20 %, Klasse 3: 5 %, Klasse 4: 5 %, Klasse 5: 0 %.

5.4 Zelldichte

Mit der Zelldichte werden die Anzahl Zellen pro Fläche (cm^2) angegeben. Die Zelldichte erreicht Werte von rund 10^3 bis 10^7 Zellen/ cm^2 , wobei Zelldichten um 0.7 bis 2 Mio Zellen/ cm^2 erfahrungsgemäss als normal bezeichnet werden können. Die Zelldichte wird durch ganz unterschiedliche Faktoren geprägt. Die Zelldichte ist vor allem ein guter Indikator für Änderungen wichtiger Einflussgrössen im Fliessverlauf eines Gewässers. Die vermutlich wichtigste Einflussgrösse ist die Zahl von Störungen (Abfluss, Strömung, Geschiebetrieb, Trübungen, etc.) z.B. infolge von Spülung von Stauseen, Schwall-Sunkbetrieb, Kiesabbau, Gewitterereignissen, Gletscherschmelze und anderen anthropogen oder natürlich bedingten Gegebenheiten. Die Beschattung durch Ufergehölz, Wald oder infolge Trübstoffen dürfte ebenfalls ein prägender Faktor sein. Die verschiedenen Pigmente der Kieselalgen vermögen aber auch schlechtere Lichtverhältnisse, wie sie im Winterhalbjahr natürlicherweise vorkommen, zu nutzen. Insofern können auch an beschatteten Orten hohe Zelldichten erreicht werden. Toxizitäten vermögen die Zelldichte ebenfalls zu reduzieren. Dazu werden aber Toxine benötigt, welche z.B. zellschädigend wirken. Sehr zentral dürfte aber die Stabilität des Gewässers, respektive der Gewässersohle sein. Gewässersohlen mit Feinsubstraten, die schon bei geringen Abflussverhältnissen bewegt werden, weisen tiefere Zelldichten auf. Nährstoffe oder organische Verunreinigungen können z. B. unterhalb von Kläranlagen eine erhöhte Zelldichte bewirken (höhere Produktivität), müssen aber nicht. Jegliche diesbezüglichen Auswertungen mit Landnutzungsdaten, Grossvieheinheiten oder anderen Wasserqualitätsindizes wie der DI-CH-Wert ergaben weder bei NAWA TREND noch bei NAWA SPEZ eine Korrelation mit der Zelldichte. Weitere Einflussgrössen, welche auf die Zelldichten wirken können, sind biologischer Art (z.B. Frass, Konkurrenz, Krankheiten, Lebensformen, Status der Lebensgemeinschaft, etc.).

Die Zelldichte der Probenreihe NAWA TREND 2019 (96 quantitative Proben) wurde auf der Basis von kopf- bis faustgrossen Steinen eruiert. Dasselbe gilt auch für die beigezogenen Datenserien NAWA SPEZ 2018 (AquaPlus & PhycoEco, 2021; 75 quantitative Proben) und Waadt 2005-2013 (Straub et al., 2014; 110 quantitative Proben). Die Datenserie Waadt 2005-2013 umfasst Stellen der biogeografischen Regionen Jura, Mittelland und Voralpen und die Gewässer waren alle ständig fliessend. Die Datenserie weist also grosse Ähnlichkeiten zu den TREND-Stellen auf. Dies erlaubt auch den Schluss, dass die angewandten Verfahren zur Abschätzung der Zelldichten vergleichbar sind. Der sehr ähnliche Verlauf der Zelldichten zu derjenigen von NAWA TREND erstaunt aber dennoch und ist zu einem gewissen Grad vermutlich Zufall. Die drei Datenserien weisen Proben von verschiedenen Gewässern auf. Dies erschwert die Interpretation der einzelnen Zelldichten pro Stelle, denn Zelldichten im Fliessverlauf eines Gewässers sind im Vergleich zueinander besser interpretierbar als unabhängige Stellen.

In **Abbildung 5.8** sind die Zelldichten statistisch ausgewertet und grafisch dargestellt. In **Abbildung 5.9** sind exemplarisch Steine mit unterschiedlichen Zelldichten abgebildet. Während sich die beiden Datenserien NAWA TREND 2019 und Waadt 2005-2013 sehr ähnlich sind, weicht der Datensatz NAWA SPEZ 2018 sehr stark von diesen ab (**Abbildung 5.8, A, B**). Während bei den SPEZ-Zelldichten fast 70 % aller Proben weniger wie 700'000 Zellen/ cm^2 aufwiesen (sehr gering bis mässig dicht), traten bei TREND knapp 70 % der Proben mit Zelldichten von mehr als 700'000 Zellen/ cm^2 auf (normal bis sehr dicht).

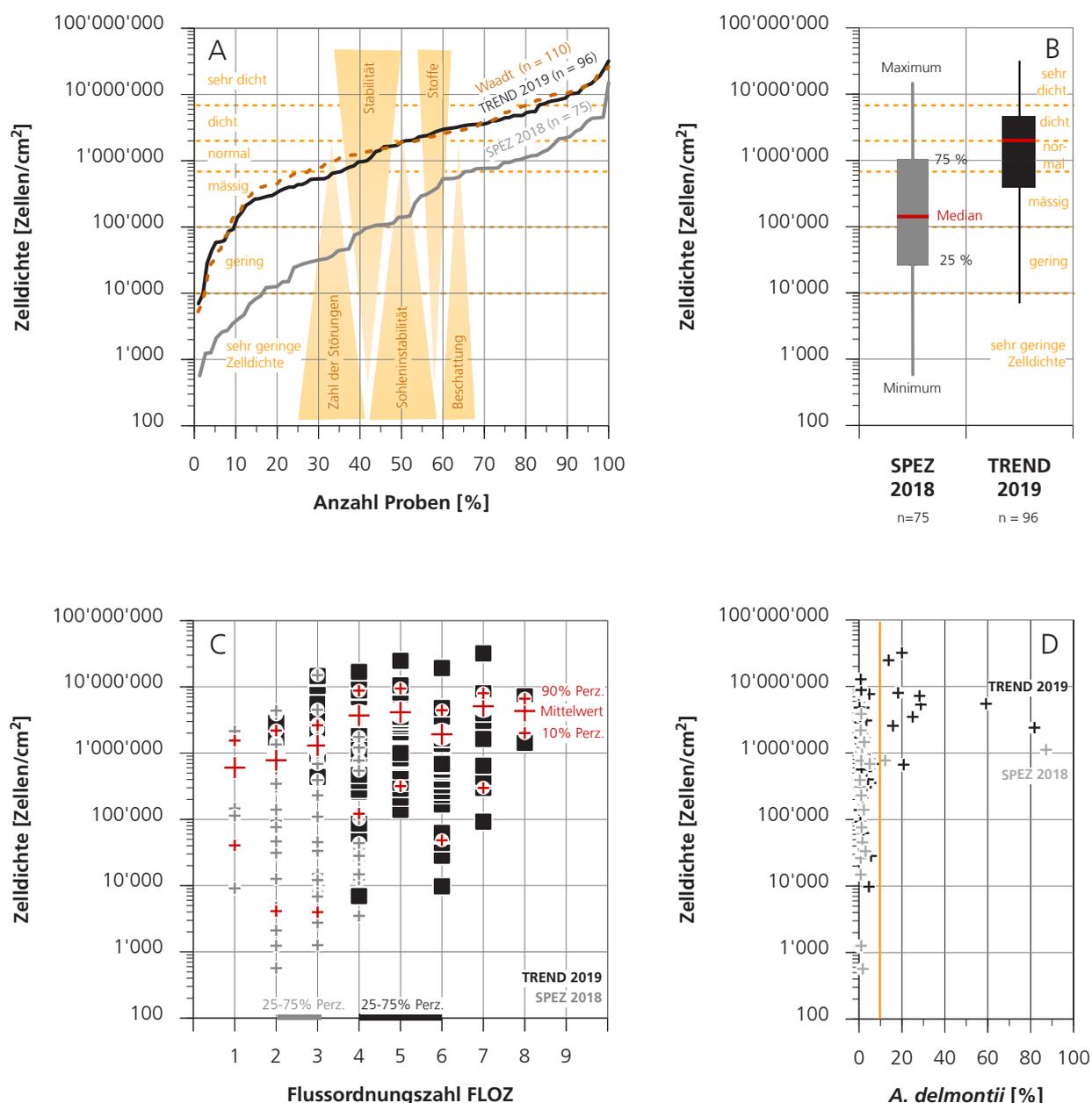


Abb. 5.8: Zelldichte der Kieselalgen-Lebensgemeinschaften des Datensatzes NAWA TREND 2019 (n = 96) im Vergleich mit den Datensätzen NAWA SPEZ 2018 (n = 75) sowie Waadt 2005-2013 (n = 110, Straub et. al 2014).

A: Verteilung der Datensätze NAWA TREND 2019, NAWA SPEZ 2018 und Waadt 2005-2013 mit logarithmischer Skala der Zelldichte. Die Zahl der Proben ist auf 100 % normiert. Braune Keile zeigen wichtige auf die Zelldichte wirkende Faktoren an, basierend auf den langjährigen Erfahrungen von François Straub, PhycoEco, La Chaux-de-Fonds. Ebenso basiert die Unterteilung der Zelldichte in Klassen auf Erfahrungswerten von François Straub. Lesebeispiel: Geringe Zelldichten werden oft vorgefunden, wenn die Zahl der Störungen, die Sohleninstabilität und die Beschattung gross ist. Demgegenüber führen stabile Verhältnisse und erhöhte Konzentrationen von wachstumsfördernden Stoffen oft zu einer hohen Zelldichte.

B: Statistische Kennwerte der Zelldichte der beiden Datensätze SPEZ 2018 und TREND 2019.

C: Verteilung der Proben der beiden Datensätze TREND und SPEZ entlang der Flussordnungszahl FLOZ. Auf der x-Achse markiert der horizontale durchgezogene graue Strich (SPEZ 2018) und der durchgezogene schwarze Strich (TREND 2019) diejenige FLOZ, bei welcher 50 % der Proben der beiden Datensätze zugehören. Als rote Kreuze sind Mittelwert sowie 10 %- und 90 %-Perzentile eingezeichnet, basierend auf den Datensätzen SPEZ (FLOZ 1, 2 und 3) und TREND (FLOZ 4, 5, 6, 7 und 8).

D: Relative Häufigkeit der gebietsfremden Alge *Achnantheidium delmontii* und die Zelldichte der Probe. Wenn dieses Taxon in einer Probe vorkommt und der relative Anteil grösser ist wie 10 % erreicht die Zelldichte rund ≥ 1 Mio Zellen/cm².

In **Abbildung 5.8 D** wird am Beispiel der gebietsfremden Alge *Achnantheidum delmontii* gezeigt, dass diese Alge in der Lage ist, eine Kieselalgen-Lebensgemeinschaft sehr individuenreich zu dominieren und damit andere einheimische Algen zu verdrängen. Wenn der Anteil dieses Taxon mehr als 10 % relative Häufigkeit einnahm, wies die Probe immer rund 1 Mio Zellen/cm² oder auch deutlich mehr auf. Das gebietsfremde Taxon verdrängt damit je nach Situation um 10 % bis über 80 % aller einheimischen Individuen.



sehr gering

9'800
Zellen/cm²

Töss ZH
ID 066



gering

30'000
Zellen/cm²

Töss ZH
ID 041



mässig

540'000
Zellen/cm²

Dorfbach
Oberägeri ZG
ID Spez 094



normal

4.8 Mio
Zellen/cm²

Glatt SG
ID 028



dicht

7.2 Mio
Zellen/cm²

Limmat ZH
ID 040



sehr dicht

48 Mio
Zellen/cm²

Jona SG
ID 048

Abb. 5.9: Visualisierung der Zelldichte von sehr gering bis sehr dicht am Beispiel von auserwählten Steinen, ab welchen die Kieselalgen-Zelldichte eruiert wurde. Fotos von Aquabug, Neuenburg und Ambio, Zürich.

5.5 Biologisch indizierte Wasserqualität (Indexwert DI-CH)

Die biologisch indizierte Wasserqualität wird mit dem Indexwert DI-CH ermittelt. Der Index reicht von 1 bis 8 und wurde an chemischen Parametern geeicht (BAFU 2007a). Die Eichung erfolgte mit epilithischen (Steinaufwuchs) Lebensgemeinschaften der fliessenden Welle, wobei kopf- bis faustgrosse Steine verwendet wurden. Die vorliegenden Untersuchungen wurden allesamt im Sinne des BAFU Modul-Stufen-Konzeptes Kieselalgen durchgeführt. Der aufgrund der Kieselalgen-Lebensgemeinschaften ermittelte DI-CH-Wert hängt daher in erster Linie mit Parametern und Faktoren zusammen, welche die klassische chemische Wasserqualität definieren. Es sind dies zum Beispiel der Abfluss, die Landnutzungen, der Abwasseranteil, die Anzahl Grossvieheinheiten, aber auch die Grösse des Einzugsgebietes oder die biogeographischen Regionen. Morphologische Faktoren (Ökomorphologie) sind mit dem gewählten Vorgehen weniger bestimmend, da bewusst die epilithischen Lebensgemeinschaften im dauerbenetzten Bereich der fliessenden Welle untersucht werden und nicht andere Substrate (Schlamm, Sand, Feinkies, Holz, Moose, Wasserpflanzen, etc.) oder Stellen im amphibischen Uferbereich. Einflussreich können jedoch Hochwasserereignisse sein mit Geschiebetrieb. Sie bewirken, dass sich die Lebensgemeinschaft anschliessend neu etablieren muss. In dieser Phase dominieren Erstbesiedler wie Arten der Gattung *Achnanthydium* oder *Amphora*. Es sind dies vor allem kleine Formen mit vermutlich schneller Teilungsrate.

Im Folgenden werden gezielte Auswertungen besprochen. Sie erlauben die Resultate im Überblick und in der Gesamtheit darzustellen. Auf die Diskussion der einzelnen Stellen wird bewusst verzichtet. Wir verweisen dazu auf die Kurzkommunikate (siehe elektronische Beilagen zum Bericht). In **Anhang A** und **B** befinden sich die Liste aller Messstellen sowie die wichtigsten Resultate des Jahres 2019.

In **Abbildung 5.10** sind die Häufigkeit der Zustandsklassen der DI-CH-Werte pro Jahr dargestellt. Die Verteilung blieb über die sechs Untersuchungsjahre hinweg in etwa gleich, wobei die Zustandsklasse 4 (unbefriedigend) nur in den Jahren 2011 und 2012 auftrat. Der jährliche Anteil der Zustandsklassen ≥ 3 (mässig, unbefriedigend, schlecht) pro Anzahl untersuchter Stellen betrug immer $\leq 10\%$. Über alle Stellen und Jahre hinweg genügten 7 % der Stellen den Anforderungen gemäss GSchV Anhang 1 nicht (ökologische Ziele). Vergleicht man den "klassischen" Datensatz der Jahre 2012, 2015 und 2019*, so ist eine geringfügige Tendenz zur Verbesserung des DI-CH-Wertes ersichtlich (Mittelwert DI-CH; 2012: 3.39, 2015: 3.05, 2019*: 3.02). Die Zustandsklassen 1 und 2 nahmen im Verlauf der Jahre zu, die Zustandsklassen 3 und 4 ab. Dies spiegelt sich auch in der Erfüllung der Anforderungen gemäss GSchV Anhang 1 (ökologische Ziele) wieder (Anhang 1 GSchV nicht erfüllt; 2012: 10 %, 2015: 5 %, 2019*: 1 %).

In **Abbildung 5.11** werden die Untersuchungsjahre 2012, 2015, 2019* und 2019 auf Basis der DI-CH-Werte verglichen. Der Vergleich zeigt, dass bei 10 der 104 Stellen (= 9.5 % der Stellen) der DI-CH-Wert sich stark verändert hat. Dabei fiel der DI-CH-Wert bei 5 Stellen deutlich besser und bei 5 Stellen deutlich schlechter aus. Die Stellen mit grosser Veränderung sind in **Abbildung 5.11 (A, C)** dargestellt. Die stellenspezifischen DI-CH-Werte sind für die Jahre 2012, 2015 und 2019 in **Anhang B1** aufgeführt. Auffällig waren die markanten Verbesserungen der DI-CH-Werte bei der Ergolz BL (ID 067) und beim Talent VD (ID 127). Im

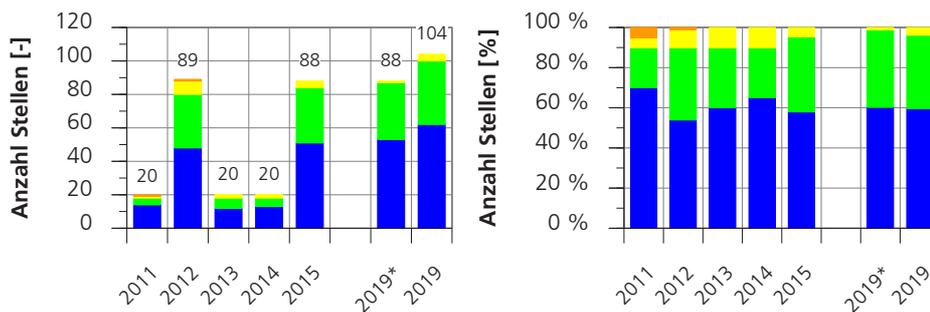
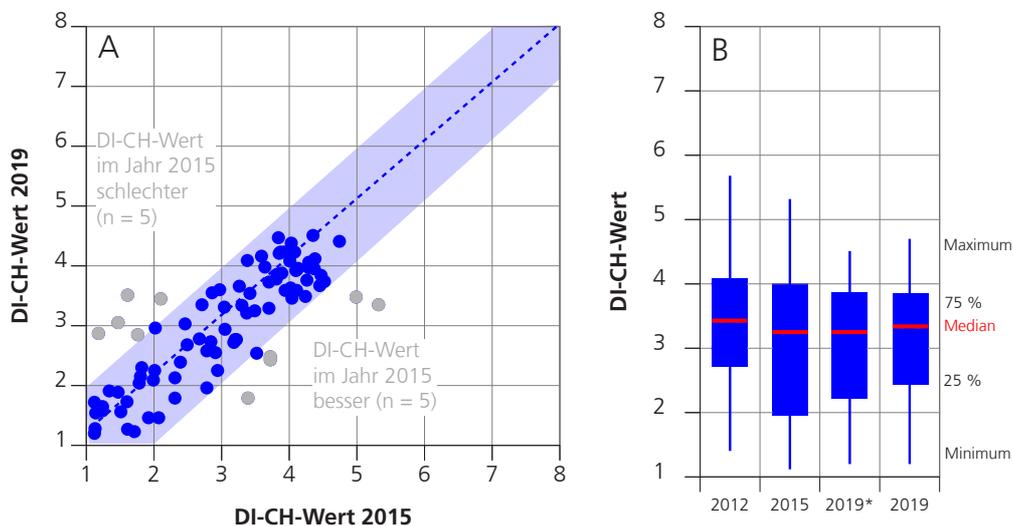


Abb. 5.10: Verteilung der Kieselalgen-Zustandsklassen pro Untersuchungsjahr.

Links: Absolute Anzahl Stellen, Rechts: Prozentuale Verteilung. TREND 2011 (n = 20), TREND 2012 (n = 89), TREND 2013 (n = 20), TREND 2014 (n = 20), TREND 2015 (n = 88), TREND 2019* (bisherige 88 Stellen mit Ron und Salmsacher Aach an alter Position) sowie TREND 2019 (n = 104, 86 bisherige Stellen und 18 neue Stellen, inkl. Ron und Salmsacher Aach an neuer Position). 2019* umfasst den "klassischen" Datensatz der Vorjahre, welcher es erlaubt die Datensätze 2012, 2015 und 2019* direkt miteinander zu vergleichen.



C

Gewässer	ID	KT	DI-CH-Wert			Status 2019 Vergleich zu 2015	rot = schlechtester Wert blau = bester Wert
			2012	2015	2019		
Talent	127	VD	5.7	5.3	3.4	besser	
Sense	60	BE	4.1	3.4	1.8	besser	
Ergolz	67	BL	4.2	5.0	3.5	besser	
Sitter	25	SG	3.9	3.7	2.4	besser	
Gürbe	59	BE	3.2	3.7	2.5	besser	
Reuss	14	LU	2.1	1.8	2.9	schlechter	
Lorze	76	ZG	2.9	2.1	3.5	schlechter	
Töss	66	ZH	2.8	1.5	3.1	schlechter	
Aubonne	130	VD	2.6	1.2	2.9	schlechter	
Kander	92	BE	2.9	1.6	3.5	schlechter	

Abb. 5.11: Vergleich der DI-CH-Werte der Jahre 2012, 2015, 2019* und 2019.

Erläuterungen zu den einzelnen Datensätzen siehe Abb. 5.10.

A: Gegenüberstellung der DI-CH-Werte der Perioden 2015 und 2019 mit Angabe der grössten Abweichungen (graue Punkte).

B: Statistische Kennwerte zur Verteilung der DI-CH-Werte der Perioden 2012, 2015, 2019* und 2019.

C: Auflistung der Stellen der Periode 2019, welche eine grosse Abweichung des DI-CH-Wertes im Vergleich zum Untersuchungsjahr 2015 aufweisen (± 1 Einheit).

Vergleich zu den Vorjahren war der DI-CH-Wert um rund 1.5 Einheiten (Ergolz) bis 2 Einheiten (Talent) besser. Damit verbesserte sich der Zustand in den beiden Gewässern Ergolz und Talent im Vergleich zum Jahr 2015 von ‚mässig‘ (Zustandsklasse 3) zu ‚sehr gut‘ (Zustandsklasse 1). Eine solch starke Verbesserung tritt selten auf. Inwieweit dies mit Sanierungsmassnahmen zusammenhängt, ist uns nicht bekannt. Die restlichen Veränderungen bewirkten höchstens eine Änderung der Zustandsklasse um eine Klasse.

Der Median der DI-CH-Werte der Datensätze 2012, 2015, 2019* und 2019 ist sehr ähnlich und veränderte sich nur leicht (2012: 3.4, 2015: 3.2, 2019*: 3.3, 2019: 3.3). Das 25 % Perzentil des Jahres 2015 zeigte im Vergleich zum Jahr 2012 eine deutliche Verbesserung (**Abbildung 5.11, B**). Ein wichtiger Grund für die Verbesserung des Zustandes liefert möglicherweise das Taxon *Achnanthidium lineare*. Dieses Taxon ist sehr klein und indiziert eine sehr gute Wasserqualität. *A. lineare* trat im Jahr 2012 an 14 Stellen (rH zwischen 0.2 und 9.2 %, nie als Hauptart), im Jahr 2015 an 42 Stellen auf (rH zwischen 0.2 und 39.2 %, 11 mal als Hauptart) und im Jahr 2019 an 36 Stellen (rH zwischen 0.2 und 36.2 %, 6 mal als Hauptart). An allen Stellen mit *A. lineare* war der Anteil im Jahr 2015 bis auf zwei Ausnahmen (Inn, S-chanf GR, ID 91 und Urtenen, bei Schalunen BE, ID 062) grösser als im Jahr 2012. Das Taxon trat im Jahr 2015 vor allem auch vermehrt in tieferen Lagen auf (2012: 9 Stellen < 500 m ü. M., 2015: 26 Stellen < 500 m ü. M.), was Auswirkungen auf den DI-CH-Wert hat. Möglicherweise wurden dem Taxon zu tiefe D- und G-Werte zugewiesen, floss doch das Taxon bei der Zweiteichung noch nicht ein. Eine gezielte Nacheichung dieses Taxon scheint angebracht.

Abbildung 5.12 zeigt die Anteile der DI-CH-Zustandsklassen pro biogeografischer Region für die Jahre 2012, 2015 und 2019. Die Verteilung der Zustandsklassen war im Jahr 2019 und 2015 in etwa gleich wie im Jahr 2012, bis auf das Wegfallen der Zustandsklasse 4 ('unbefriedigend', Talent bei Chavornay VD, ID 127) im Mittelland. Im 2019 entfiel im Jura eine Stelle der Zustandsklasse 3 'mässig' und in der Zentralschweiz kam eine Stelle der Zustandsklasse 2 'gut' hinzu. Da in diesen biografischen Regionen nur wenig Stellen vertreten sind (JU: 14, ZW: 5), wirkt sich die Änderung dieser einen Stelle in der Darstellung der prozentualen Anteile stark aus. In den vier alpin geprägten Regionen traten in allen Perioden bis auf wenige Ausnahmen nur die Zustandsklasse 1 'sehr gut' auf. Im alpinen Raum sind die Bevölkerungsdichte und die Intensität der Landwirtschaft eher gering. Zudem handelt es sich bei den untersuchten Gewässern um eher grössere Gewässer, so dass die Verdünnung allfälliger stofflicher Einträge gross ist und der Einfluss auf die durch die chemische Wasserqualität geprägten Kieselalgen Lebensgemeinschaften gering. Im Mittelland wie auch im Jura indizierten über die drei Perioden hinweg gesehen rund 90 % aller Proben die Zustandsklasse 1 'sehr gut' und Zustandsklasse 2 'gut'.

Gemäss **Abbildung 5.13** sind anhand des Datensatzes NAWA TREND 2019 höchstens ganz grobe Zusammenhänge mit Kennwerten ersichtlich, welche mit der Grösse des Einzugsgebietes zusammenhängen. So wiesen Stellen mit einer Einzugsgebietsfläche von rund > 100 km² keine DI-CH-Werte > 4.5 auf. Ähnlich verhielt es sich mit dem Abflusskennwert MQ (mittlerer jährlicher Abfluss). Ab circa > 1 m³/s waren die DI-CH-Werte < 4.5. Der Abflusskennwert MQ ist einerseits abhängig von der Grösse der Einzugsgebietsfläche und ist andererseits ein

Mass für die Verdünnung allfälliger Stoffbelastungen. Aus **Abbildung 5.13** kann somit grob abgeleitet werden, dass je kleiner das Einzugsgebiet und der Abflusskennwert MQ sind, umso eher steigt die Chance für einen erhöhten DI-CH-Wert (Zustandsklasse 'gut' oder 'mässig'). Diese Aussage gilt aber nicht für die ganze Schweiz. Sie gilt vermutlich vor allem für die biogeografische Region Mittelland. In den voralpinen und alpinen Einzugsgebieten treten erfahrungsgemäss auch bei kleinen Einzugsgebieten (mit FLOZ 1 und 2) die Zustandsklassen 'sehr gut' und 'gut' auf. Bezieht man alle Datensätze der NAWA TREND Kampagnen (2011-2019) mit ein, so traten DI-CH-Werte von > 4.5 im Normalfall nur auf, sofern das $Q_{347} < 1 \text{ m}^3/\text{s}$ (selten < $5 \text{ m}^3/\text{s}$, Daten vorhanden von 2011-2015) und der MQ < $5 \text{ m}^3/\text{s}$ (selten < $10 \text{ m}^3/\text{s}$, Daten vorhanden von 2011-2019) war. Nehmen die Abflusskennwerte höhere Werte ein, handelt es sich um grössere Einzugsgebiete mit gemischter Landnutzung, in welcher auch der unproduktive Anteil erhöht ist. Dann ist die Wahrscheinlichkeit auf schlechte DI-CH-Werte von > 4.5 sehr klein.

In **Abbildung 5.13** sind die DI-CH-Werte auch in Abhängigkeit der Anzahl Grossvieheinheiten und des Abwasseranteiles am Niederwasser Q_{347} dargestellt. Grundsätzlich ist aus den beiden Darstellungen ersichtlich, dass je höher die Anzahl Grossvieheinheiten oder je höher der Abwasseranteil war, desto höher kann der DI-CH-Wert sein. Abwasseranteile von > 20 % führten mit wenigen Ausnah-

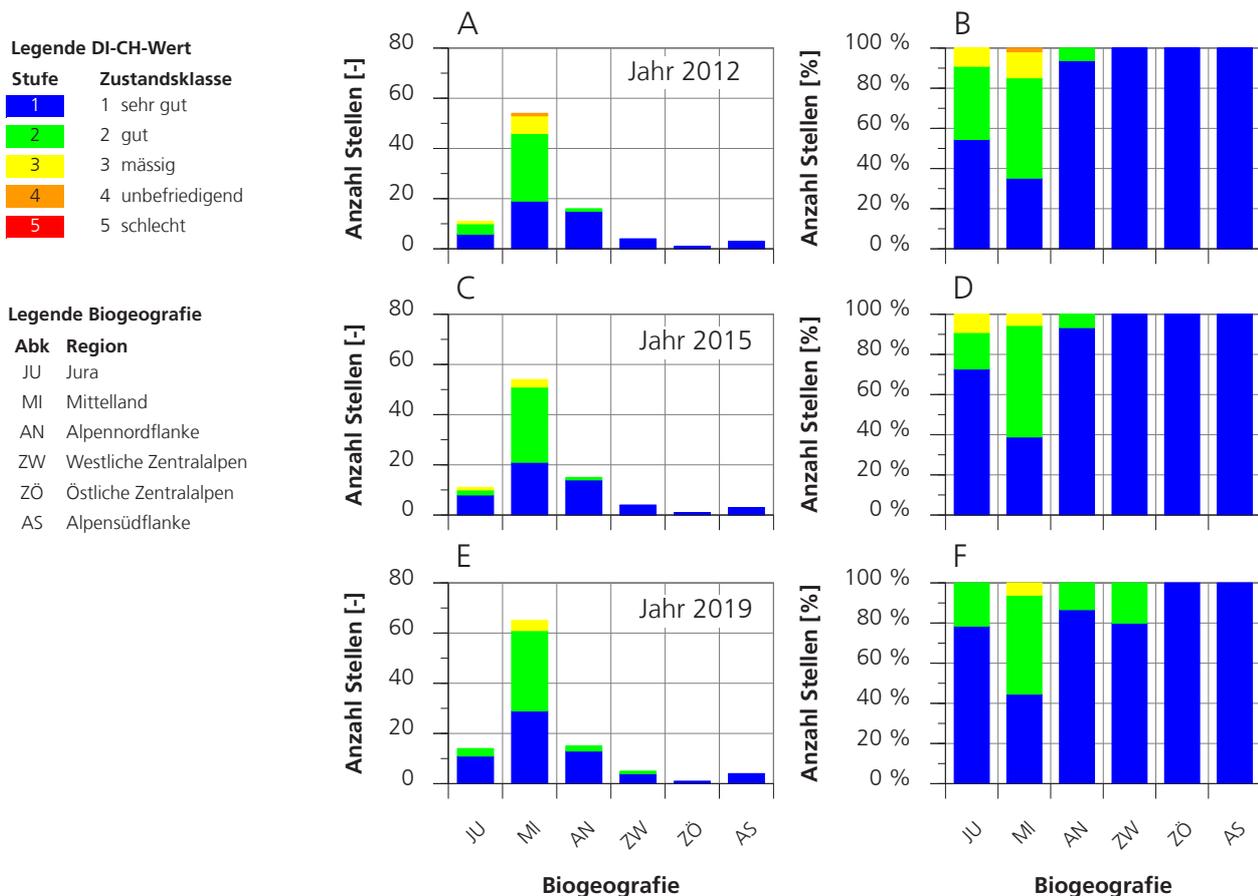


Abb. 5.12: Verteilung der Kieselalgen-Zustandsklassen pro biogeografischer Region.

A, C, E: Absolute Anzahl Stellen, **B, D, F:** Prozentuale Verteilung. Dargestellt sind die Datensätze: **A, B:** NAWA TREND 2012 (n = 89), **C, D:** NAWA TREND 2015 (n = 88), **E, F:** NAWA TREND 2019 (n = 104).

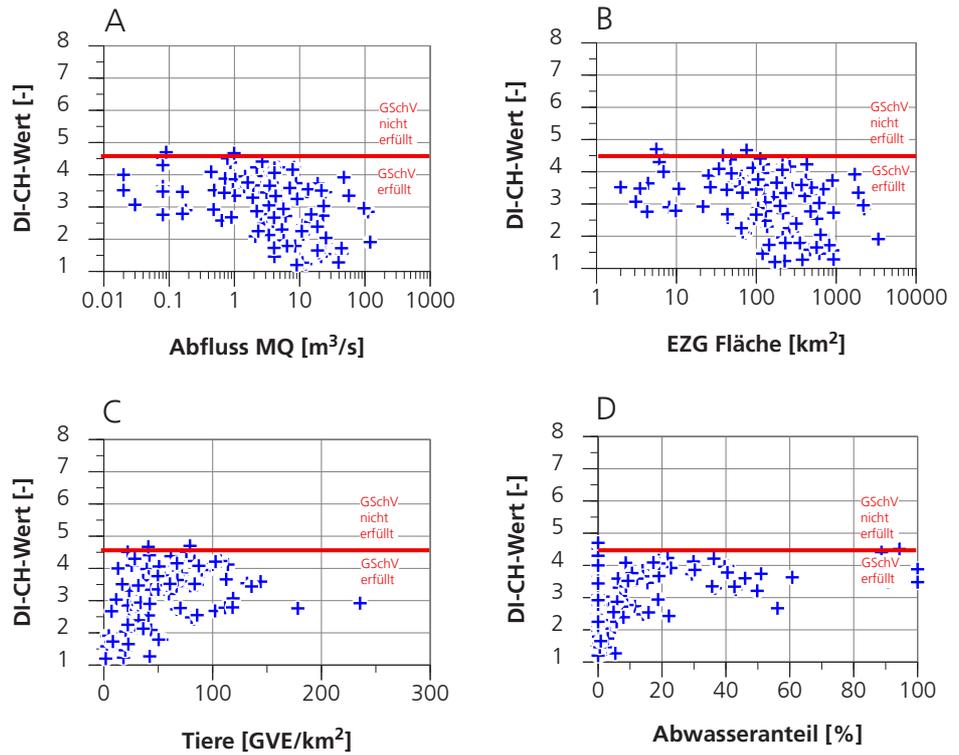


Abb. 5.13: DI-CH-Werte in Abhängigkeit vom (A) Abfluss-Kennwert (MQ, mittlerer jährlicher Abfluss), (B) der Fläche des Einzugsgebietes (EZG, Gesamtfläche), (C) der Anzahl Tiere (GVE, Grossvieheinheiten) und (D) des Abwasseranteiles am Niederwasser Q₃₄₇.

Dargestellt sind der Datensatz NAWA TREND 2019 (n = 104). Stellen mit einem Auslandsanteil des EZG > 20 % (ID 086, ID 088, ID 153) wurden in die Analyse nicht miteinbezogen.

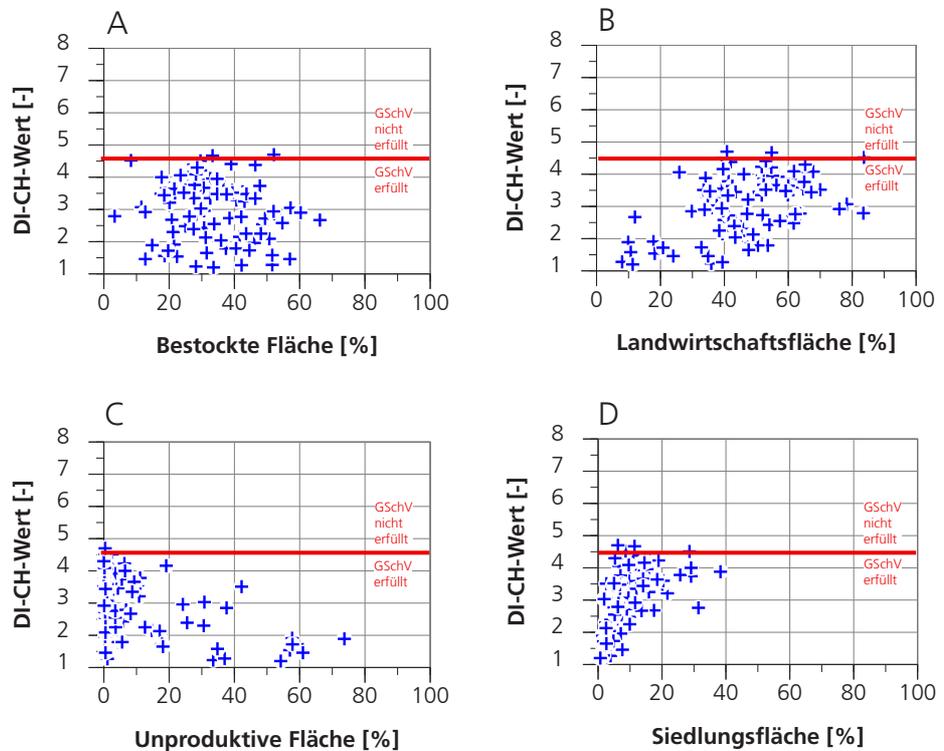


Abb. 5.14: DI-CH-Werte in Abhängigkeit von verschiedenen Landnutzungen (A bis D).

Dargestellt sind der Datensatz NAWA TREND 2019 (n = 104). Anteil Landwirtschaft bestehend aus Grünland, Acker, Obst- und Rebbau. Stellen mit einem Auslandsanteil des EZG > 20 % (ID 086, ID 088, ID 153) wurden in die Analyse nicht miteinbezogen.

men immer zu DI-CH-Werten von mindestens 3.0 oder schlechter. Das gleiche gilt für die Anzahl Grossvieheinheiten, ab circa 100 Tieren war der DI-CH-Wert in vielen Fällen 3.0 oder schlechter. Erhöhte DI-CH-Werte können aber bereits bei tieferem Abwasseranteil oder bei weniger Grossvieheinheiten auftreten. Dann sind andere Faktoren, wie die Landnutzung (**Abbildung 5.14**) und Faktorenkombinationen davon mitentscheidend. In **Abbildung 5.14** sind wichtige Landnutzungen im Einzugsgebiet der untersuchten Stellen in Kombination mit dem DI-CH-Wert grafisch dargestellt. Auch hier gilt die grobe Aussage, dass je höher der Anteil an Landwirtschaftsfläche oder der Siedlungsfläche war, umso schlechter war der DI-CH-Wert. Andererseits wurde der DI-CH-Wert umso besser, je grösser die unproduktive Fläche im Einzugsgebiet der untersuchten Stelle war.

Um die jährliche Variabilität des Indexwertes DI-CH über Jahre hinweg zu kennen, wurden 20 Stellen in den Jahren 2011 bis 2015 sowie im 2019 je einmal untersucht. In **Tabelle 5.4** sind die DI-CH-Werte für diese 20 Stellen aufgeführt und in **Abbildung 5.15** die Artensummenkurven. In 11 der 20 Stellen indizierten die Kieselalgen an allen sechs Untersuchungsjahren dieselbe Zustandsklasse (10 Stellen 'sehr gut', 1 Stelle 'gut'). Die DI-CH-Werte schwankten bei diesen 11 Stellen um 0.4 bis 2.0 Einheiten. Bei den anderen 9 Stellen wurden über die fünf Jahre hinweg zwei oder drei verschiedene Zustandsklassen indiziert. Bei diesen 9 Stellen schwankte der DI-CH-Wert ähnlich, nämlich von 0.7 bis 2.3 Einheiten.

Inwieweit eine allfällige Änderung im DI-CH-Wert eine Entwicklung oder Reaktion auf veränderte Umweltbedingungen (Wasserqualität, Hochwasser, etc.) darstellt oder bloss eine methodische Variabilität ist, kann nicht abschliessend beurteilt werden. Mitentscheidend ist dabei das Wissen um den methodischen Fehler, welcher begangen wird; sei es im Feld (Probenahme, Variabilität von Stein zu Stein, von Tag zu Tag, etc.), im Labor (Präparation, Qualität der Präparate, Verteilung der Schalen auf dem Deckglas, etc.) oder bei den Zählungen (Anzahl gezählter Schalen, Auswahl der zu zählenden Streifen, Bestimmungen, etc.). Aufgrund von Ringversuchen und den Doppelbeprobungen sind Standardabweichungen von ± 0.1 bis ± 0.5 Einheiten bekannt. So wurde z.B. die NAWA-Stelle Glatt bei Rheinsfelden ZH (ID 43) anlässlich des Ringversuches 2013 durch 9 DiatomologInnen ausgezählt³. Der DI-CH-Wert schwankte von 3.6 bis 4.3 und die Standardabweichung betrug ± 0.21 . Aufgrund von Mehrfachuntersuchungen derselben Stelle durch verschiedene Personen zeigte sich, dass wenn die Präparation einheitlich und die Zählungen durch dieselbe Person durchgeführt wird, dass die Differenz des minimalen zum maximalen DI-CH-Wertes um 0.5 Einheiten und die Standardabweichung rund ± 0.2 Einheiten beträgt (Gürbe, NAWA-Workshop Frühjahr 2011, 8 Teilproben, Standardabweichung ± 0.17 ; Rot, NAWA-Workshop Herbst 2011, 8 Teilproben im Fliessverlauf, Standardabweichung ± 0.28). Demzufolge dürften Änderungen um mehr als 0.5 Einheiten oft nicht methodisch bedingte Änderungen darstellen.

Ein Trend zur Verbesserung oder Verschlechterung kann demzufolge eindeutig oft erst nach Jahren erkannt werden. Ändert der DI-CH-Wert jedoch stetig in die gleiche Richtung oder einmalig um mehr als rund 0.5 Einheiten, kann von einer effektiven Änderung im Gewässer ausgegangen werden. Bei den 20 Stellen wiesen

³ Eruiert im Rahmen des Workshops 'Kieselalgen 2013 in La Chaux-de-Fonds' der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft Mikroflora S.A.M. / A.S.E.M.

über die sechs Untersuchungsjahre hinweg einen Trend zur stetigen Verbesserung von mehr als 0.5 Einheiten die Stellen Drance bei Martigny Bourg VS (ID 18), Steinach beim Mattenhof SG (ID 23), Areuse bei Boudry NE (ID 85) und allenfalls die Stelle Doubs bei Ocourt-La Motte auf.

Eine stetige Verschlechterung von mehr als 0.5 Einheiten über die fünf Jahre hinweg wurde an keiner Stelle festgestellt. Alle anderen Stellen wiesen über die Jahre hinweg kleinere gleichgerichtete oder entgegengesetzte Änderungen auf. Nicht atypisch ist aber auch, dass der DI-CH-Wert von Jahr zu Jahr um mehr als 0.5 Einheiten ändert, aber zum Teil in entgegengesetzte Richtungen.

Mit der jährlichen Beprobung wird die saisonale Variabilität nicht erfasst. Die Saisonalität spielt aber eine Rolle. So ist basierend auf Untersuchungen derselben Stelle im Frühjahr und im Herbst bekannt, dass im Herbst in rund 72 % von 880 zur Verfügung gestandenen Vergleichen (Paare derselben Stelle) der DI-CH-Wert

Tab. 5.4: Biologisch indizierte Wasserqualität der 20 Stellen, welche von 2011-2015 jährlich sowie im 2019 untersucht wurden (dargestellt am Indexwert DI-CH).

** Stelle Salmsacher Aach (ID 73, TG) wurde im 2019 im Rahmen eines Zusatzauftrages das letzte Mal beprobt.

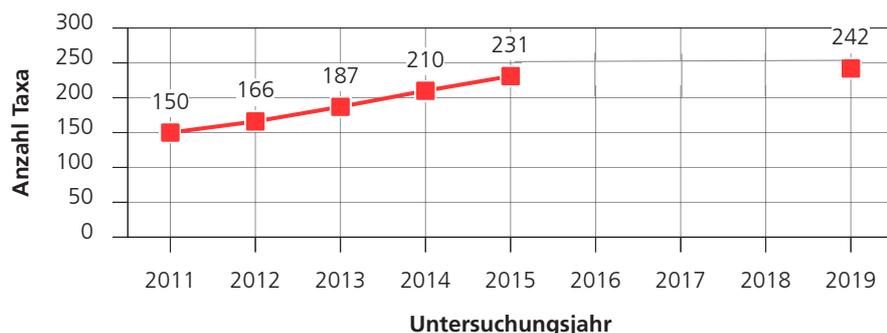
Legende DI-CH und Zustandsklasse

1 bis < 3.5 sehr gut ≥3.5 bis <4.5 gut ≥4.5 bis <5.5 mässig ≥5.5 bis <6.5 unbefriedigend ≥6.5 bis 8 schlecht

Gewässer, Ort	ID	KT	DI-CH-Wert						rot = schlechtester Wert blau = bester Wert
			2011	2012	2013	2014	2015	2019	
Drance, Martigny Bourg	18	VS	3.1	2.1	1.2	1.6	1.1	1.5	
Steinach, Mattenhof	23	SG	6.0	5.1	4.9	5.3	3.9	3.9	
Necker, Lütisburg - Letzi	27	SG	2.7	3.7	3.1	2.2	4.1	3.6	
Bünz, Möriken	34	AG	3.4	4.1	4.1	4.2	3.9	4.2	
Furtbach, nach ARA Otelfingen	49	ZH	4.3	3.8	4.4	4.4	4.4	4.5	
Engstlige, Chriesbaum	56	BE	2.5	1.8	1.9	1.4	1.8	2.3	
Chise, ob. Oberdiessbach	58	BE	3.6	4.1	4.1	3.2	4.4	4.0	
Sense, Thörishaus	60	BE	2.5	4.1	2.8	2.7	3.4	1.8	
Töss, Rämismühle (Zell)	66	ZH	2.0	2.8	2.5	1.7	1.5	3.1	
Murg, Frauenfeld	70	TG	3.4	4.0	3.7	4.1	3.9	4.2	
Salmsacher Aach, Salmsach**	73	TG	4.2	4.3	4.4	4.2	4.1	3.9	
Lorze, Letzi	76	ZG	2.9	2.9	2.7	2.6	2.1	3.5	
Areuse, Boudry	85	NE	2.7	3.1	3.0	1.6	1.6	1.3	
Doubs, Ocourt-La Motte	88	JU	3.7	4.0	4.2	3.6	3.2	2.8	
Muota, Ingenbohl	100	SZ	2.3	2.3	2.2	2.0	2.4	2.4	
Sarine, Broc	107	FR	2.1	1.8	1.7	1.6	1.8	2.0	
Sitter, Appenzell Sittertal	115	AI	2.4	2.5	1.7	2.1	2.3	2.1	
Talent, Chavornay	127	VD	4.9	5.7	4.7	4.7	5.3	3.4	
Aubonne, Allaman	130	VD	3.0	2.6	3.2	2.2	1.2	2.9	
Simme, Laterbach	133	BE	1.9	1.5	1.3	1.3	1.2	1.7	

Abb. 5.15: Artensummenkurven für die 20 Stellen, welche von 2011 - 2015 jährlich sowie im 2019 untersucht wurden.

Dargestellt wird die Taxazahl der 20 Stellen pro Kampagne. Aufgrund der linearen Zunahme kann hergeleitet werden, dass das Arteninventar nach 6 Kampagnen noch nicht vollständig erfasst wurde.



einen schlechteren Zustand aufwies als im Frühjahr. Diese Aussage gilt für Stellen < 1'000 m ü. M. und ist unabhängig von der indizierten Wasserqualität (DI-CH).

Die Auswertung der Artensummenkurven (**Abbildung 5.15**) illustriert, dass das Arteninventar der 20 Stellen noch nicht vollumfänglich erfasst wurde. Dies hat auch methodische Gründe (Beprobung von Steinsubstrat, Zählung von 500 Schalen), da die Methode zum Eruiere des DI-CH-Wertes entwickelt wurde und nicht zum Erfassen der vollständigen Artenvielfalt. Würden pro Jahr neben Stein weitere Substrate beprobt und jeweils mehr als 500 Schalen gezählt, dann würde die Artensummenkurve nicht wie jetzt noch linear ansteigen, sondern sich vermutlich abflachen.

Mit dem NAWA-Messprogramm sollen die gewässerökologischen Zustände erhoben und über die Zeit geprüft werden, ob sich ein Trend hin zur Verbesserung oder Verschlechterung der Zustände ergibt. Es gilt damit auch mit dem Modulstufen-Konzept Kieselalgen Trends z.B. im DI-CH-Wert oder anderen Kennwerten (Teratologie, Anteil und Verbreitung gewisser Indikatorarten) festzustellen als allfällige Reaktionen auf z.B. Massnahmen im Einzugsgebiet (Sanierung von Kläranlagen, Extensivierung der Landwirtschaft, etc.), schweizweiten Änderungen auf z.B. Niveau der Gesetzgebung (Gewässerschutz, Landwirtschaft, Stoffverordnungen, etc.) oder regionalen oder globalen Änderungen im Bereich der Umwelt (Niederschlagsverhältnisse, Temperaturen, Klimawandel, etc.). Ein solcher Trend kann am Beispiel der NAWA-Stellen des Kantons Aargau gezeigt werden.

In **Tabelle 5.5** sind die DI-CH-Werte des Kantons Aargau für die Periode 1996 bis und mit 2019 für jede der NAWA-Stellen aufgelistet (ausser die Stellen Küntenerbach ID 136 und Möhlinbach ID 137, welche im Jahr 2019 erstmals beprobt wurden).

Tab. 5.5: Entwicklung der Indexwerte DI-CH an den NAWA-Stellen des Kantons Aargau.

Die Stellen Küntenerbach (ID 136) und Möhlinbach (ID 137) sind in der Tabelle nicht enthalten, da sie im Untersuchungsjahr 2019 erstmals beprobt wurden. Bei den DI-CH-Werten handelt es sich um gerundete Werte. Datenquelle der Jahre 1996 bis 2009 siehe Webseite www.ag.ch/umwelt (Umweltinformationen > Wasser > Oberflächengewässer > Biologische Indikatoren für die Wasserqualität > Kieselalgen) und AquaPlus (2010). Die Veränderung des DI-CH-Wertes über die Jahre hinweg befindet sich in der hintersten Spalte (= Differenz DI-CH Erstuntersuchung versus DI-CH Untersuchungskampagne 2019, DI-CH-Einheiten auf Basis der genauen DI-CH-Werte).

Legende DI-CH und Zustandsklasse



Gewässer, Ort	ID	KT	DI-CH-Wert der Jahre 1996 bis 2019																	Veränderung (gerundet)				
			1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2012	2013		2014	2015	2019	
Saisonalität (S = Sommer, F = Frühling)			S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	F	F	F	F	F	F	F	
Pfaffnern, Rothrist	32	AG		5.0		3.8		3.3		4.2		3.4		4.1			3.9					4.0	4.4	0.6
Wyna, Suhr	33	AG	6.0		4.8		4.3		4.6		4.3		3.8			3.7						4.1	4.0	2.0
Bünz, Möriken	34	AG	6.1		5.9		5.0		3.4		3.9			4.8		3.4	4.1	4.6	4.1	4.2		3.9	4.2	1.9
Surb, Döttingen	35	AG	5.2		4.4		4.6		3.9		4.5		4.1			4.3						3.8	3.9	1.4
Sissle, Eiken	36	AG	5.2		4.3		4.0		4.4			3.4		3.8		3.8						3.7	3.3	2.0
Suhre, Suhr	39	AG		5.0		5.2		4.4		4.9		4.9		4.1		4.2						3.9	4.2	0.8
Aabach, Niederlenz	79	AG		4.9		4.9		5.1		4.9		4.7	4.5			3.8						3.3	3.7	1.2
Wigger, Zofingen	111	AG	5.4		5.0		4.6		5.3			3.9		3.7		4.2						3.9	3.6	1.8
Mittelwert pro Jahr			5.6	5.0	4.9	4.6	4.5	4.3	4.3	4.6	4.2	4.1	4.1	4.1		4.0						3.8	3.9	1.7

den). Jede dieser Stellen wurde dabei seit 1996 neunmal (Bünz bei Möriken dreizehnmal) untersucht, wobei mehrheitlich ein Zweijahres- respektive ein Vierjahresrhythmus eingehalten wurde. Die Probenahmen fanden in den Jahren 1996 bis 2010 jeweils im Sommer (vorwiegend August) statt und ab 2011 im Frühjahr (März). Es ist ersichtlich, dass einerseits an jeder Messstelle sich der Zustand deutlich verbessert hat und auch, dass der jährliche Mittelwert aller Stellen von einem DI-CH-Wert von 5.6 auf 3.9 sank. Zudem wiesen bis auf die Bünz (ID 34) alle Stellen ab dem Jahr 2008 einen DI-CH-Wert von < 4.5 (= Zustandsklasse 2 oder besser) auf. Damit zeigt sich klar, dass die zum Schutz der Gewässer getätigten Massnahmen (wie z.B. die Sanierung von Kläranlagen) positive Auswirkungen auf die Kieselalgen und damit auf einen Teil der Gewässerbiologie hatte. Die Erhebungen im Kanton Aargau verdeutlichen sehr schön, dass die Entwicklung von Lebensgemeinschaften (Trendbiologie) zur Erkennung eines Trends im Normalfall Langzeituntersuchungen benötigen. Kurzfristige Abweichungen entgegen dem Langzeittrend sind in der Trendbiologie bekannte Phänomene. Abweichungen vom Trend können durch Naturereignisse (z.B. Hochwasser, Geschiebetrieb, langandauernde Hitze- oder Kälteperiode, etc.) aber auch durch biologische Prozesse (z.B. erhöhter Frassdruck, Parasitenbefall, Krankheiten, etc.) ausgelöst werden.

5.6 Standortgerechtigkeit

Mit der Standortgerechtigkeit wird versucht einzuschätzen, ob eine vorgefundene Lebensgemeinschaft dem Standort entsprechend natürlich / naturnah ist oder nicht. Diese Frage ist zentral, da in der GSchV Anhang 1 (ökologische Ziele) in Artikel 1 gefordert wird:

Kennwerte zur Beurteilung der Standortgerechtigkeit	Mittelland ¹	Alpiner Raum ²
	Kennwert erreicht wenn:	
Ökologie		
DI-CH	< 4.5	≤ 2.0
D-Wert ≥ 5.5 ³	$< 15\%$	$< 10\%$
D-Wert < 2.5 ³	$> 10\%$	$> 20\%$
Struktur Lebensgemeinschaft		
Evenness	> 0.4	< 0.4
Taxazahl	> 18	> 18
Dominanz ⁴	$< 50\%$	$< 50\%$
Gebietsfremde Arten		
Summe rH	$< 2\%$	$< 2\%$

Die Lebensgemeinschaften von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen oberirdischer Gewässer und der von ihnen beeinflussten Umgebung sollen:

- naturnah und standortgerecht sein sowie sich selbst reproduzieren und regulieren;*
- eine Vielfalt und eine Häufigkeit der Arten aufweisen, die typisch sind für nicht oder nur schwach belastete Gewässer des jeweiligen Gewässertyps.*

Basierend auf diesen Vorgaben wurden die 104 Kieselalgen-Lebensgemeinschaften des Projektes NAWA TREND 2019 hinsichtlich ihrer Standortgerechtigkeit beurteilt. Die Kennwerte zur Beurteilung waren der DI-CH-Wert, der Anteil an Arten mit D-Werten ≥ 5.5 und < 2.5 , die Gleichmässigkeit der Populationsstruktur (= Evenness), die Taxazahl, der maximale Anteil des häufigsten Taxons pro Probe (= Dominanz) sowie der relative Anteil an gebietsfremden Arten (= Neobiota). Damit werden art- und indexspezifische Kennwerte beigezogen, sodass die Struktur der Lebensgemeinschaft wie auch indikative Gruppen (DI-CH, D-Gruppen) in die Beurteilung einfliessen. Die angewandte Methode befindet sich noch in der Testphase. Dennoch zeigt sich, dass der Anspruch auf eine standortgerechte Lebensgemeinschaft deutlich höher ist, wie das blosses Erfüllen der biologisch indizierten Wasserqualität (DI-CH-Wert).

¹ Biogeografische Regionen: Mittelland und Jura.

² Biogeografische Regionen: Alpennord- und Alpensüdflanke sowie östliche und westliche Zentralalpen.

³ Summe relative Anteile rH der Taxa mit D-Werten ≥ 5.5 respektive < 2.5 .

⁴ Bei einer Dominanz einer Art $> 50\%$ spielt der D-Wert des Taxons eine zusätzliche Rolle.

In **Abbildung 5.16** ist die Anzahl Stellen pro DI-CH-Zustandsklasse sowie die Standortgerechtigkeit pro DI-CH-Zustandsklasse für die Untersuchungsjahre 2015 (n = 88) und 2019 (n = 104) dargestellt. Während hinsichtlich der DI-CH-Zustandsklassen in beiden Untersuchungsjahren 96 % aller Stellen einen guten bis sehr guten Zustand indizieren, stellen bloss 27 % (2015) respektive 18 % (2019) aller Stellen eine standortgerechte Lebensgemeinschaft dar. Insbesondere bei der Zustandsklasse 2 (gut) sind fast alle Lebensgemeinschaften nicht standortgerecht. Das heisst bei Stellen mit einer nicht standortgerechten Lebensgemeinschaft ist entweder der DI-CH Wert atypisch, der relative Anteil an Belastungszeigern zu gross, der relative Anteil an Sauberwasserarten zu gering, die Struktur der Lebensgemeinschaft atypisch und/oder der relative Anteil an gebietsfremden Arten zu hoch. Eine nicht gegebene Standortgerechtigkeit ist am häufigsten auf das nicht Erreichen der Kennwerte der Ökologie (DI-CH-Wert, Anteil Belastungs- und Sauberwasserarten) zurück zu führen, wobei ein zu geringer relativer Anteil an Sauberwasserarten die häufigste Ursache darstellt. Die in den NAWA-Datensätzen gefundenen Lebensgemeinschaften entsprechen damit basierend auf dem DI-CH-Wert weitgehend den numerischen Anforderungen gemäss GSchV Anhang 2. Die ökologischen Zielen gemäss GSchV Anhang 1, welche naturnahe und standorttypische Lebensgemeinschaften zum Ziel hat, werden aber zu einem grossen Teil nicht erreicht.

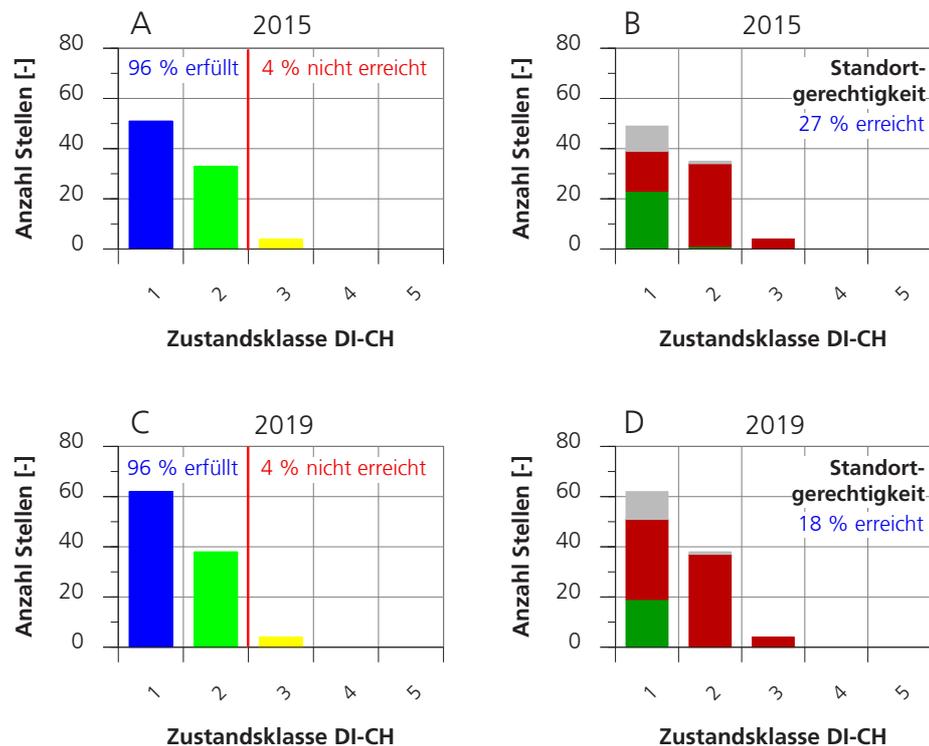


Abb. 5.16: Verteilung der Kieselalgen-Zustandsklassen basierend auf dem DI-CH-Wert der Untersuchungsjahre 2015 (A) und 2019 (C) sowie die Erreichung der Standortgerechtigkeit der Untersuchungsjahre 2015 (B) und 2019 (D).

A, C: Anzahl Stellen pro Zustandsklasse, Basis DI-CH-Wert, B, D: Anzahl Stellen mit Angabe der Standortgerechtigkeit (ja, unklar, nein) pro Zustandsklasse.

Datensatz NAWA TREND 2015 (n = 88), Datensatz NAWA TREND 2019 (n = 104).

5.7 Kieselalgen und der Äussere Aspekt

Der Äussere Aspekt charakterisiert mit seinen Parametern die fließende Welle und die Gewässersohle. Der Äussere Aspekt beschreibt somit Aspekte über den ganzen benetzten Bereich hinweg, mit den Abfällen auch den Uferbereich über der Wasserlinie. Die Parameter der fließenden Welle sind eher als Momentanzustände zu betrachten, während diejenigen der Gewässersohle eher aggregierenden Charakter haben. Die Kieselalgen-Lebensgemeinschaften werden gemäss Methode bewusst faust- bis kopfgrossen Steinen entnommen, welche sich in der fließenden Welle befinden. Damit besteht am ehesten der erwünschte Zusammenhang zur Wasserqualität. Einflussfaktoren wie die Beschaffenheit der Sohle, der Ufer oder die Substratvielfalt werden damit bis auf eine z. B. verschlammte Sohle, weniger berücksichtigt. Die Kieselalgen indizieren somit im Vergleich zum Äusseren Aspekt eher einen Zusammenhang zur fließenden Welle. Da die Kieselalgen aber aggregierende Bioindikatoren sind, welche auf Änderungen der Wasserqualität innerhalb von Wochen oder Monaten reagieren, kann angenommen werden, dass Parameter des Äusseren Aspektes kaum ähnlich indizieren wie die Kieselalgen.

In **Abbildung 5.17 (A, B)** sind je ein Parameter der fließenden Welle (Schaum) und der Gewässersohle (Kolmation) und der Indexwert DI-CH dargestellt. Bei den beiden Parametern handelt es sich um diejenigen Parameter des benetzten Bereiches mit den häufigsten Beeinträchtigungen.

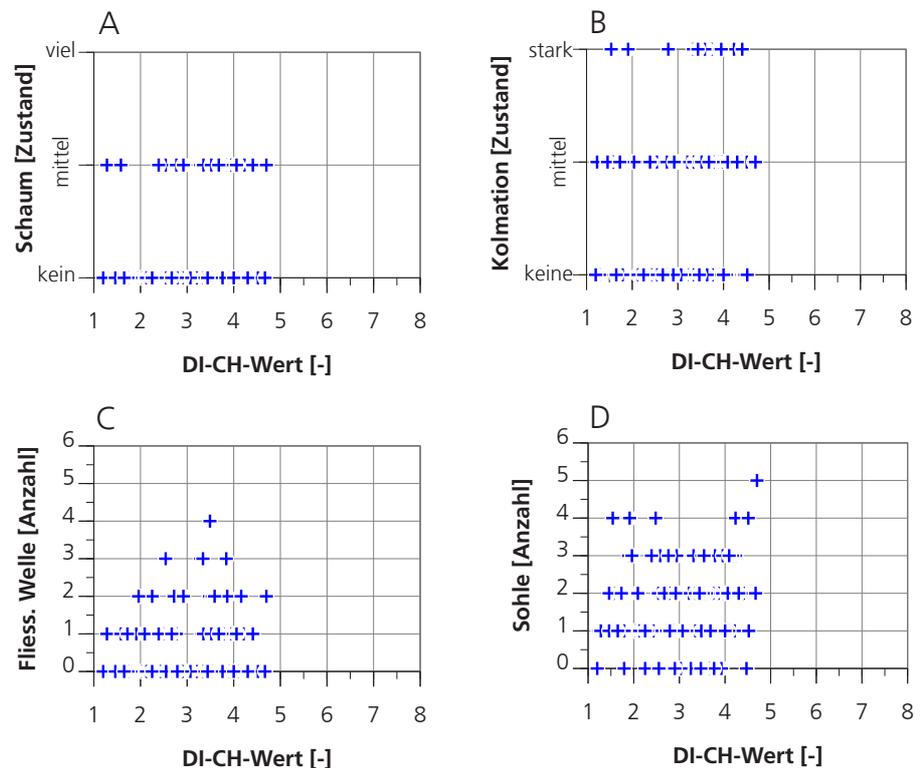


Abb. 5.17: Auserwählte Parameter des Äusseren Aspektes in Abhängigkeit des DI-CH-Wertes.

Dargestellt ist der Datensatz NAWA TREND 2019 (n = 104).

A: Schaum = Parameter der fließenden Welle, **B:** Kolmation = Parameter der Gewässersohle.
C: Anzahl Beeinträchtigungen aller Parameter der fließenden Welle (links) und **D:** aller Parameter der Gewässersohle. Details zum Äusseren Aspekt siehe Kapitel 4.

Ebenfalls in **Abbildung 5.17 (C, D)** sind die Anzahl beeinträchtigte Parameter der fliessenden Welle und der Gewässersohle sowie der DI-CH-Wert dargestellt. Die Grafiken zeigen, dass - wie erwartet - zumindest auf Indexebene im Datensatz NAWA TREND des Jahres 2019 kaum Zusammenhänge oder Abhängigkeiten zum Äusseren Aspekt bestehen.

Bei der Kolmation gab es auch keine offensichtlichen Zusammenhänge. Dies entspricht auch den Erwartungen, stellen doch faust- bis kopfgrosse Steine, welche für die Kieselalgen beprobt werden, in sich schon stabile Verhältnisse dar. Der Parameter Kolmation wird zudem durch viele natürliche und unnatürliche Gegebenheiten beeinflusst. So können Gletschertrübe, Seeausflüsse, Erosion und chemisch oder biologisch bedingte Kalkausfällungen als natürliche Ursachen ebenso zu einer kolmatierten Sohle führen wie Stauseen, Schlammausträge aus Kläranlagen, Drainagen, Strassenentwässerung oder eine Sohlpflasterung. Eine kolmatierte Gewässersohle ist damit Ausdruck für ganz unterschiedliche ökologische Prozesse. Bei Aufwuchsorganismen, wie es die Kieselalgen darstellen, prägen Silt-, Feinsand- und Schlammablagerungen auf den Steinoberflächen die Lebensgemeinschaften deutlich stärker wie die Kolmation der Gewässersohle selber. Bei den Wasserwirbellosen Tieren, welche je nach Organismengruppe auf das Lückensystem angewiesen sind, dürfte die Kolmation sich direkt auf die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft zusammensetzen.

Andere Parameter des Äusseren Aspektes, wie der Geruch des Wassers nach Abwasser, der heterotrophe Bewuchs, das Vorhandensein von Eisensulfid oder die Verschlammung der Gewässersohle, welche eher einen Zusammenhang zur Wasserqualität indizieren, sind im Datensatz NAWA TREND noch zu wenig häufig. Damit lassen sich zu diesen Parametern zumindest zur Zeit keine Zusammenhänge ablesen.

Eine weitere Möglichkeit Zusammenhänge zwischen dem Äusseren Aspekt und den Kieselalgen-Lebensgemeinschaften zu finden, bestünde auf Artebene. So gibt es mit grosser Wahrscheinlichkeit einzelne Arten, welche gehäuft vorkommen, wenn z. B. die Gewässersohle verschlammt ist (Abwasserarten, Arten des Epipelon) oder das Wasser über längere Zeit getrübt ist und eine abrasive und abdunkelnde Wirkung auf den Aufwuchs hat (Schwachlicht adaptierte Arten, flächig auf dem Substrat haftende Arten). Eine solche Auswertung bedingt aber grosse Datensätze mit vielen entsprechenden Beeinträchtigungen.

5.8 Qualitätssicherung Kieselalgen

Die Qualitätssicherung der Kieselalgen basierte auf den in Kapitel 2.5 aufgeführten Aspekten. Die diversen Kontrollen (D- und G-Werte, DI-CH-Berechnungen, Taxazahl, Diversität) sowie allfällige Korrekturen (Anwendung der Synonymie, Taxabezeichnungen, etc.) flossen vor der Erstellung der finalen Taxalisten sowie aller Auswertungen ein. Im Folgenden werden die Resultate der gemäss Pflichtenheft geforderten 10 Zweitbestimmungen sowie die Qualitätssicherung der kantonalen Stellen besprochen.

Gemäss Pflichtenheft sind 10 zufällig ausgewählte Proben der Projekte NAWA SPEZ 2018 und NAWA TREND 2019 einer Zweitbestimmung zu unterziehen. Vier von 10 Proben müssen dabei von Kantonen bestimmte Proben sein. Die Auftragnehmer der Kantone waren bis auf eine Probe (Arve GE ID 086, Zählung durch Arielle Cordonier) durchwegs PhycoEco und AquaPlus AG. Die diesbezügliche

Qualitätssicherung erfolgte daher im selben Rahmen und Umfang wie die Proben des BAFU. Die Arve stellte eine der 10 QS-Zählungen dar. Die übrigen QS Zählungen wurden basierend auf einem Gradienten des DI-CH-Wertes zufällig ausgewählt.

Die 10 Zweitählungen umfassten bei der Erstzählung DI-CH-Werte von 1.8 bis 4.8. Die absoluten Abweichungen betragen 0.06 bis 0.29 DI-CH-Einheiten (**Tabelle 5.6**). Der Mittelwert betrug 0.13, der Median 0.13 und die Standardabweichung 0.07 DI-CH-Einheiten. Die anlässlich dieser Zweitählungen der Projekte NAWA SPEZ 2018 und NAWA TREND 2019 eruierten Kennwerte sind etwas besser wie die bis anhin eruierten Abweichungen der absoluten Differenzen (**Tabelle 5.7**). Die Abweichungen zwischen der Erst- (Fachverantwortliche) und der Zweitählungen (QS) entsprachen den Erwartungen und waren ähnlich gering respektive etwas tiefer wie jene der ersten beiden Perioden 2011-2013 und 2015. Das Bestimmtheitsmass der Probenserien lag bei NAWA SPEZ 2018 bei $r^2 = 0.99$ und bei NAWA TREND 2019 bei $r^2 = 0.98$ (Regression Originalzählung versus QS-Zählung). Aufgrund dieser sehr guten Korrelationen wurden die Originalzählungen beider Projekte belassen.

Tab. 5.6: Zweitählungen: Aufgeführt sind die DI-CH-Werte der Erst- und Zweitählung sowie die Differenzen von je 5 Messstellen der Projekte NAWA SPEZ 2018 und NAWA TREND 2019. Die Farben entsprechen den Zustandsklassen gemäss BAFU Modul Kieselagen (BAFU 2007a).

NAWA SPEZ 2018

Messstelle ¹	Erstzählung	Zweitählung (QS)	Differenz ²	Auftraggeber
Spez_009_AI	2.3	2.2	0.12	BAFU
Spez_034_GE	4.8	4.6	0.16	BAFU
Spez_077_TI	4.1	4.2	0.14	BAFU
Spez_087_VD	2.0	2.0	0.04	BAFU
Spez_099_ZH	4.6	4.7	0.09	BAFU

¹ Stelleninformationen siehe **Anhang A1, B2**

² Absolute Differenz

NAWA TREND 2019

Messstelle ¹	Erstzählung	Zweitählung (QS)	Differenz ²	Auftraggeber
CH_060_BE	1.8	2.1	0.29	BAFU
CH_086_GE	4.5	4.3	0.13	Kanton
CH_107_FR	2.0	1.9	0.13	BAFU
CH_127_VD	3.4	3.2	0.17	BAFU
CH_145_SH	4.7	4.6	0.06	BAFU

Tab. 5.7: Kennwerte der Qualitätssicherung für die Jahre 2011-13, 2015 und 2019 sowie im Vergleich mit Ringtests.

Kennwerte	Ringtests ¹	NAWA 2011-13 ¹	NAWA 2015 ²	NAWA 2018/19 ³
Anzahl	76	17	11	10
Median	0.23	0.24	0.14	0.13
Stabw	0.19	0.21	0.15	0.07

Stabw = Standardabweichung

¹ Gemäss AquaPlus & PhycoEco (2014a)

² Gemäss AquaPlus & PhycoEco (2017)

³ Gemäss Daten in **Tab. 5.6** (Differenzen)

5.9 Indexwert DI-CH_{molekular}

Das Labor ID-Gene ecodiagnosics hat sich zum Ziel gesetzt den Indexwert DI-CH (gemäss BAFU Modul Kieselalgen) auf Basis von genetischen Analysen bestimmen zu können. Die Eichung soll aber nicht wie beim DI-CH auf chemischen Analysen beruhen, sondern direkt basierend auf dem Indexwert DI-CH. Damit dies gelingt, benötigt das Labor möglichst viele ausgezählte Kieselalgenproben aus unterschiedlichsten Fließgewässern der Schweiz. Zur Erweiterung des Eichdatensatzes flossen daher auch die Proben der beiden Probenahmeaktionen NAWA SPEZ 2018 (n = 83) und NAWA TREND 2019 (n = 102) ein. In **Abbildung 5.18** ist der aktuell vorhandene 'Eichdatensatz 510', bestehend aus 508 Proben geographisch dargestellt. Dabei wird ersichtlich, dass auch Proben aus Frankreich einfließen. Der von ID-Gene verfasste Bericht befindet sich in **Anhang C** (Apothéoz-Perret-Gentil & Pawlowski, 2020).

Bei diesen französischen Proben ist aber nicht ersichtlich, wie und auf welcher Basis bestimmt wurde und wie der DI-CH gerechnet wurde (Erst- oder Zweiteichung). In **Abbildung 5.19** ist die lineare Beziehung des Eichdatensatzes zwischen den Indexwerten DI-CH_{morphologisch} und DI-CH_{molekular} erkennbar. Der Eichdatensatz umfasst damit verhältnismässig wenig Proben aus dem alpinen Raum (**Abbildung 5.18**) und fast keine Proben aus belasteten Gewässern (DI-CH-Wert > 5.5, Zustandsklassen 4 und 5). Die Verteilung der Proben über die fünf Zustandsklassen hinweg, entspricht aber unserer Erfahrung nach recht gut der realen Verteilung der Belastungen wie es Fließgewässer der Schweiz aktuell aufweisen.

Zur Eichung des Indexwertes DI-CH_{molekular} wurden durch ID-Gene zwei methodische Verfahren angewandt, respektive getestet. Es sind dies das Verfahren des 'Taxonomie-freien' Ansatzes sowie der Ansatz des 'Machine-learning'. Für methodische Aspekte verweisen wir auf den Bericht der ID-Gene im **Anhang C** (Apothéoz-Perret-Gentil & Pawlowski, 2020). Gemäss Analyse der ID-Gene indiziert der Taxo-

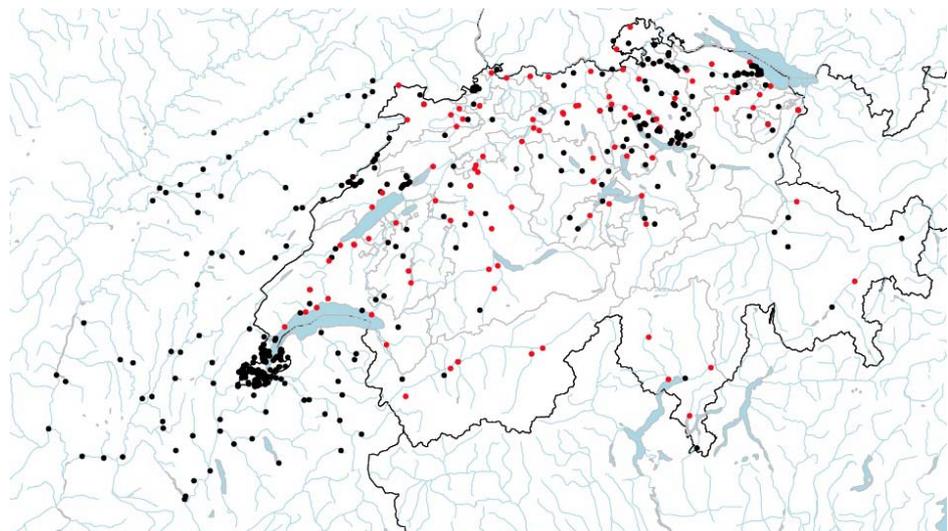


Abb. 5.18: Geografische Verteilung der Proben, welche von ID-Gene für die Eichung des genetischen DI-CH-Wertes (DI-CH_{molekular}) verwendet wurden. Die roten Punkte sind Proben des Datensatzes NAWA TREND 2019 (n = 102 Proben).

Karte aus Bericht der ID-Gene (Apothéoz-Perret-Gentil & Pawlowski 2020; Anhang C). Insgesamt umfasst der Eichdatensatz 508 Proben (= Eichdatensatz 510).

nomie-freie Ansatz eher zu schlechte Indexwerte, während der Ansatz des Machine-learning eher zu gute Indexwerte generiert (**Abbildung 5.20 B**). Während die beiden Verfahren bereits in vielen Fällen zumindest die Zustandsklasse richtig bestimmen, sind die absoluten Differenzen zwischen den Indexwerten $DI-CH_{\text{morphologisch}}$ und $DI-CH_{\text{molekular}}$ unserer Einschätzung nach noch beachtlich gross (**Abbildung 5.20 A**). Aufgrund von zahlreichen Ringtests und Zweitzahlungen in Zusammenhang mit Qualitätssicherungen weist der Indexwert $DI-CH_{\text{morphologisch}}$ in den meisten Fällen einen Fehler im Bereich von weniger wie ± 0.2 Indexeinheiten auf (**Tabelle 5.7**). Bei der Einschätzung eines noch tolerierbaren Fehlers für den $DI-CH_{\text{molekular}}$ sollte in Erinnerung gerufen werden, dass der Indexwert $DI-CH_{\text{morphologisch}}$ an Chemiedaten verschiedener Parameter geeicht wurde, während nun der $DI-CH_{\text{molekular}}$ am $DI-CH_{\text{morphologisch}}$ selber geeicht wird. Der $DI-CH_{\text{molekular}}$ wird also die chemischen Verhältnisse im Fließgewässer nur indirekt und mit Unschärfe indizieren können. Daher erachten wir es als wichtig, dass der $DI-CH_{\text{molekular}}$ eine möglichst kleine Abweichung zum $DI-CH_{\text{morphologisch}}$ aufweisen sollte. Denn sobald der Index $DI-CH_{\text{molekular}}$ einmal in der Routine angewandt wird, wird der Eichprozess und die diesbezüglichen Anforderungen zur Eichung sekundär. Der Anspruch der noch tolerierten Abweichung von maximal ± 0.2 -Einheiten ist daher unserer Meinung nach auch für den $DI-CH_{\text{molekular}}$ ein anzustrebender Richtwert.

In **Abbildung 5.21 (A, B)** sind der Indexwert $DI-CH_{\text{molekular}}$ im Vergleich zu $DI-CH_{\text{morphologisch}}$ der Probenahmekampagne NAWA TREND 2019 dargestellt; je für die Verfahren Machine-learning-510 und Taxonomie-frei-400. Das Bestimmtheitsmass der beiden Verfahren ist mit einem R^2 von 0.55 (Machine-learning-510) und 0.32 (Taxonomie-frei) deutlich geringer wie dasjenige des ganzen Eichdatensatzes ($R^2 = 0.83$, siehe **Abbildung 5.19**). Diese schlechtere Korrelation erstaunt aber nicht, handelt es sich doch beim Datensatz NAWA TREND 2019 auch nur um einen Teil des Eichdatensatzes. Die Differenzen zwischen den beiden Indexwerten sind in **Abbildung 5.21 (C, D)** in Bezug zum Indexwert $DI-CH_{\text{morphologisch}}$ aufgeführt. Diese Auswertung zeigt deutlich, dass die Differenzen zum $DI-CH_{\text{morphologisch}}$ noch beachtlich sind. So erfüllen beim Verfahren Machine-learning-510 nur gera-

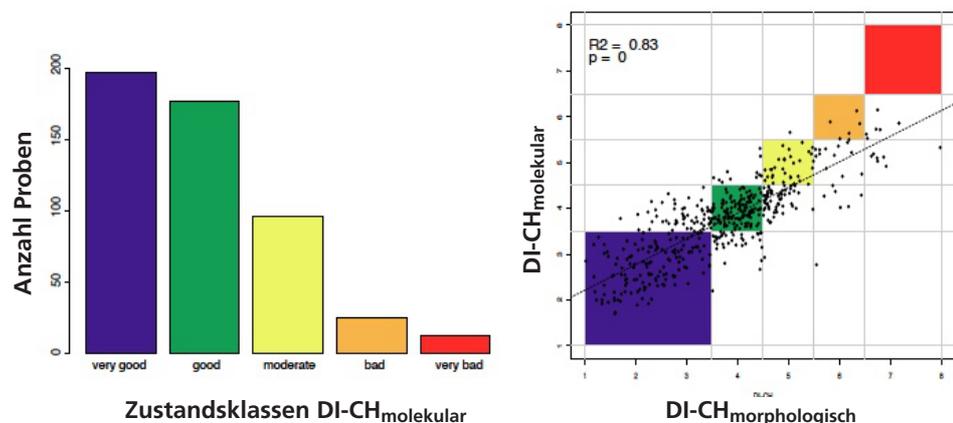


Abb. 5.19: Darstellung der Anzahl Proben pro Zustandsklasse sowie der linearen Beziehung des Eichdatensatzes 510 (508 Proben) zwischen den Indexwerten $DI-CH_{\text{morphologisch}}$ und $DI-CH_{\text{molekular}}$ basierend auf der Methode des Machine-Learnings (M-learn 510).

Abbildung aus Bericht der ID-Genes ecodiagnosics vom 07.02.2020 (Apothélos-Perret-Gentil & Pawlowski, 2020; Anhang C).

de 27 % der 102 Proben das Kriterium der Abweichung von ± 0.2 DI-CH-Einheiten (± 0.5 : 65 %, ± 1 : 94 %). Beim Verfahren Taxonomie-frei-400 wird dieses Kriterium noch schlechter erfüllt (± 0.2 : 23 %, ± 0.5 : 42 %, ± 1 : 74 %). Beim Verfahren Machine-learning 510 errechnet sich basierend auf den Differenzen (n = 102 Proben) eine Standardabweichung von ± 0.38 (Median 0.38, Mittelwert 0.51) und beim Verfahren Taxonomie-frei 400 eine solche von ± 0.56 (Median 0.67, Mittelwert 0.75). Zudem ist in **Abbildung 5.21 (C, D)** gut erkennbar, dass die Differenzen einen Zusammenhang zum Indexwert $DI-CH_{\text{morphologisch}}$ aufweisen. Der Indexwert $DI-CH_{\text{molekular}}$ fällt zumindest bei tiefen Indexwerten gehäuft um eine bis zwei Einheiten schlechter (Differenz < 0) aus wie der Indexwert $DI-CH_{\text{morphologisch}}$.

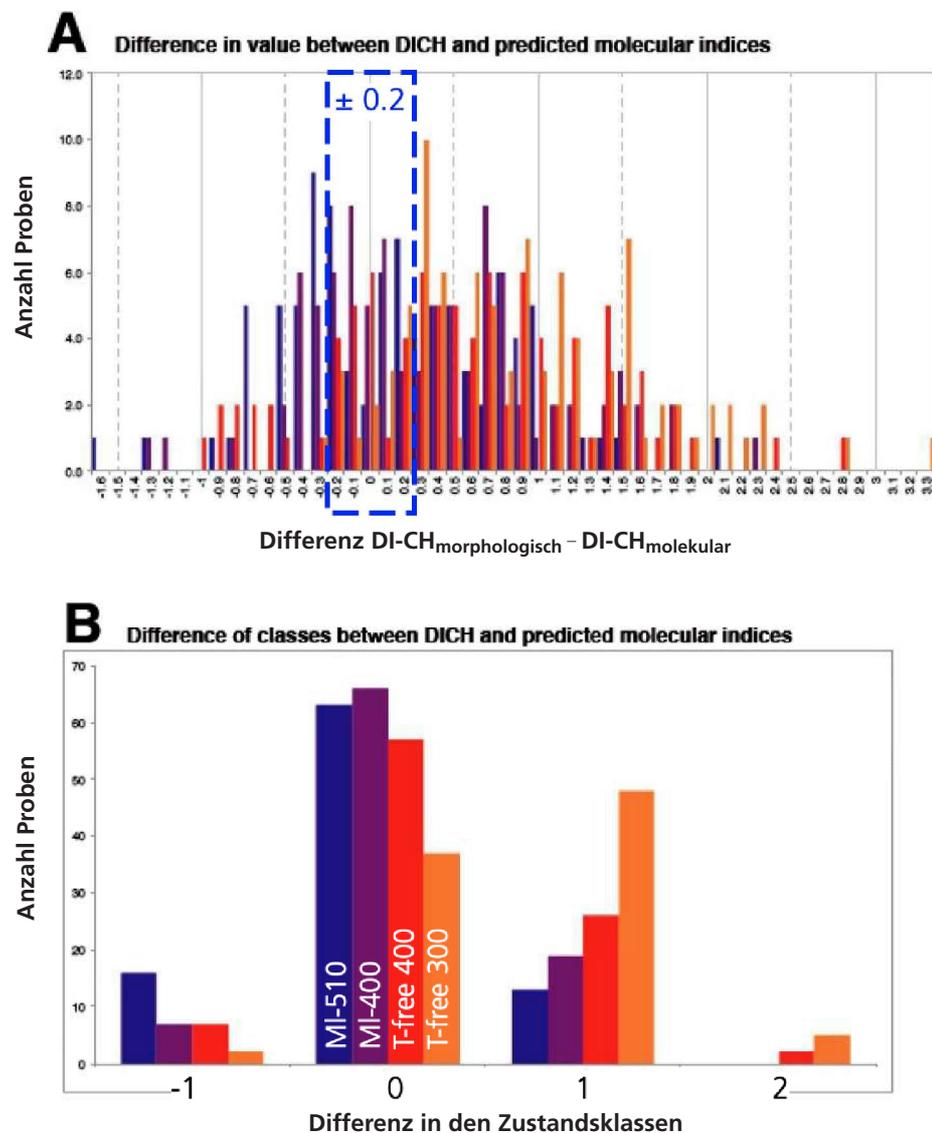


Abb. 5.20: Darstellung der Differenzen der Indexwerte $DI-CH_{\text{morphologisch}}$ und $DI-CH_{\text{molekular}}$ basierend auf verschiedenen Verfahren und Grösse des Eichdatensatzes.

MI-510, MI-400: Machine-learning mit Eichdatensatz 510 respektive 400 Proben; T-free 400, T-free 300: Taxonomie-frei mit Eichdatensatz 400 respektive 300 Proben.

Blauer Rahmen: Tolerierte Differenz gemäss Ringtests mit dem $DI-CH_{\text{morphologisch}}$. Abbildung aus Bericht der ID-Genes eodiagnosics vom 07.02.2020 (Apothéoz-Perret-Gentil & Pawlowski, 2020; Anhang C).

Um die **Güte des Eichdatensatzes 510** zu prüfen, wurden bewusst 10 Proben des Datensatzes NAWA TREND 2019 zurückbehalten. Diese 10 Proben waren also nicht Teil des Eichdatensatzes 510. Diese 10 Proben wurden von uns so ausgewählt, dass sie die 8-teilige Indexskala des DI-CH-Wertes möglichst gut abdecken. Die 10 Testproben umfassen einen DI-CH-Gradienten von rund 1.3 bis 4.6. Indexwerte höher wie 4.6 standen leider nicht zur Verfügung. In **Abbildung 5.22** sind die Beziehungen für die beiden Verfahren (Machine-learning, Taxonomie frei) mit unterschiedlich grossem Eichdatensatz (300, 400, 510 Proben) dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Güte der Regression mit zunehmender Grösse des Eichdatensatzes zunahm (**Abbildung 5.22 A, B, C, D**: R^2 von 0.15 bis 0.84). Diese von Auge erkennbare Verbesserung der Güte der Relation entspricht den Erwartungen. Je grösser der Eichdatensatz und je umfangreicher die 8-teilige DI-CH-Skala bei der Eichung miteinfliesst, umso besser wird die Beziehung sein. Ein $DI-CH_{\text{molekular}}$ wird aber nur dann die gesamte 8-teilige Skalenbreite umfassen können, wenn auch der Eichdatensatz die gesamte Skalenbreite mit den entsprechenden indikativen Arten umfasst.

Die aktuell beste Beziehung liefert mit dem Bestimmtheitsmass von 0.84 das Verfahren **Machine-learning 510**. Die molekular eruierten DI-CH-Werte der 10 Testproben befinden sich nahe bei der Geraden 1:1 (**Abbildung 5.22 E**). Es fällt aber auf, dass die tiefen Indexwerte $DI-CH_{\text{morphologisch}}$ beim $DI-CH_{\text{molekular}}$ bis zu 1 Einheit schlechter ausfallen und die hohen Werte um rund eine Einheit höher (**Abbildung 5.22 F**). Die Standardabweichung beträgt beim Verfahren Machine-learning 510 basierend auf den Differenzen ($n = 10$ Proben) ± 0.33 (Median 0.33, Mittelwert 0.44) und beim Verfahren Taxonomie-frei 400 ± 0.54 (Median 0.59, Mittelwert 0.7). Der anzustrebende Richtwert der Standardabweichung von ± 0.2 wird also noch nicht erreicht.

Neben der **Prüfung der Qualität des Eichdatensatzes** respektive der Genauigkeit der hergeleiteten Indexwerte $DI-CH_{\text{molekular}}$ im Vergleich zum $DI-CH_{\text{morphologisch}}$ kann auch die Vollständigkeit des Artenspektrums im Eichdatensatz beurteilt werden. Obwohl wir die Arten und deren Häufigkeiten im Eichdatensatz nicht kennen, kann angenommen werden, dass diejenigen Arten, welche starke Belastungen indizieren, untervertreten sind. Dies zeigt sich auch daran, dass im Eichdatensatz die Zustandsklassen 4 und 5 kaum vorhanden sind (**Abbildung 5.19**). Damit dürften auch diejenigen Taxa die solche Belastungen tolerieren im Eichdatensatz untervertreten sein oder zumindest nicht oft als Hauptarten mit einem Anteil von $\geq 10\%$ relative Häufigkeit vorkommen. Während im BAFU Modul Kieselalgen insgesamt 56 Taxa mit einem D-Wert von ≥ 5.5 ausgewiesen werden, traten im Datensatz NAWA TREND 2019 nur gerade 4 Hauptarten mit einem D-Wert von ≥ 5.5 auf. Ein ähnliches Missverhältnis kann auf der Skalenseite der sehr guten Wasserqualitäten ($DI-CH \leq 2.5$) vermutet werden. Während im BAFU Modul 99 Taxa mit einem D-Wert von ≤ 2.5 vorhanden sind, traten bei NAWA TREND 2019 bloss 13 Hauptarten mit einem D-Wert ≤ 2.5 auf. Um den Eichdatensatz qualitativ deutlich zu verbessern, müssen zwingend gezielte Proben von Habitaten einfliessen, welche Taxa als Hauptarten aufweisen mit gegenüber Belastungen entweder sehr sensitiven oder sehr toleranten Arten. Diese taxaspezifischen Ergänzungen des Eichdatensatzes erfolgt sinnvollerweise möglichst über die Nachbeprobung von bereits bekannten Orten mit entsprechenden Belastun-

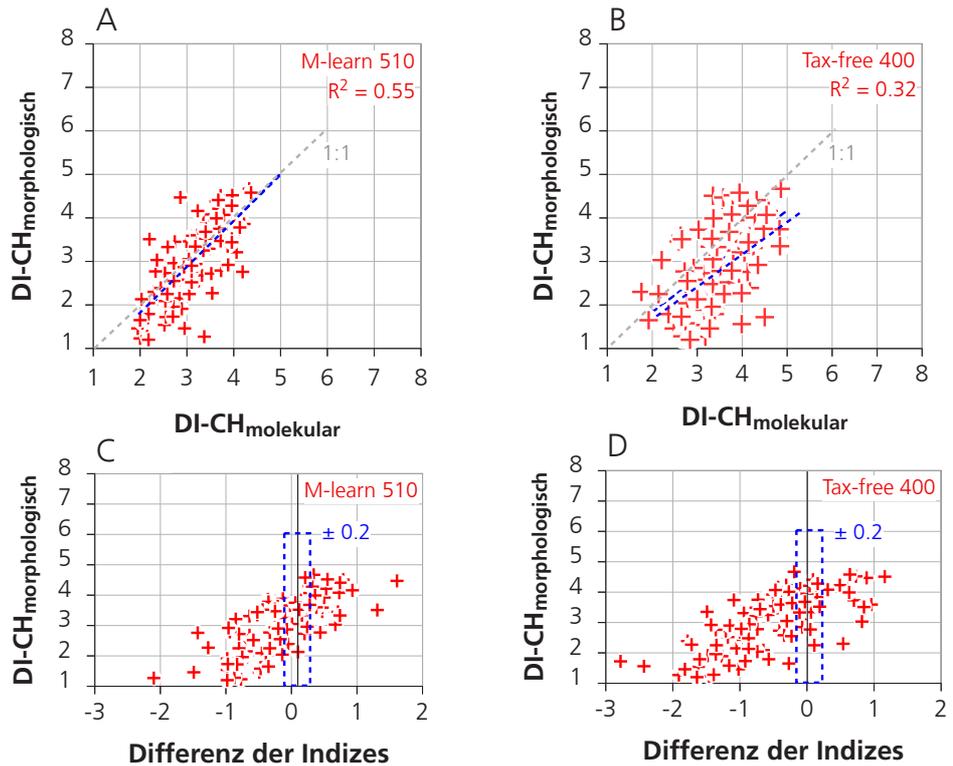


Abb. 5.21 A, B: Lineare Beziehung des Datensatzes NAWA TREND 2019 basierend auf den beiden Verfahren Machine-learning 510 (A) und Taxonomie-frei 400 (B). C, D: Differenzen zwischen den beiden Indizes DI-CH_{morphologisch} und DI-CH_{molekular}.

Daten gemäss Bericht der ID-Gene ecodiagnosics vom 07.02.2020 (Apothéoz-Perret-Gentil & Pawlowski, 2020; Anhang C). Blauer Rahmen zeigt die anzustrebende maximale Differenz zwischen den beiden Indizes an.

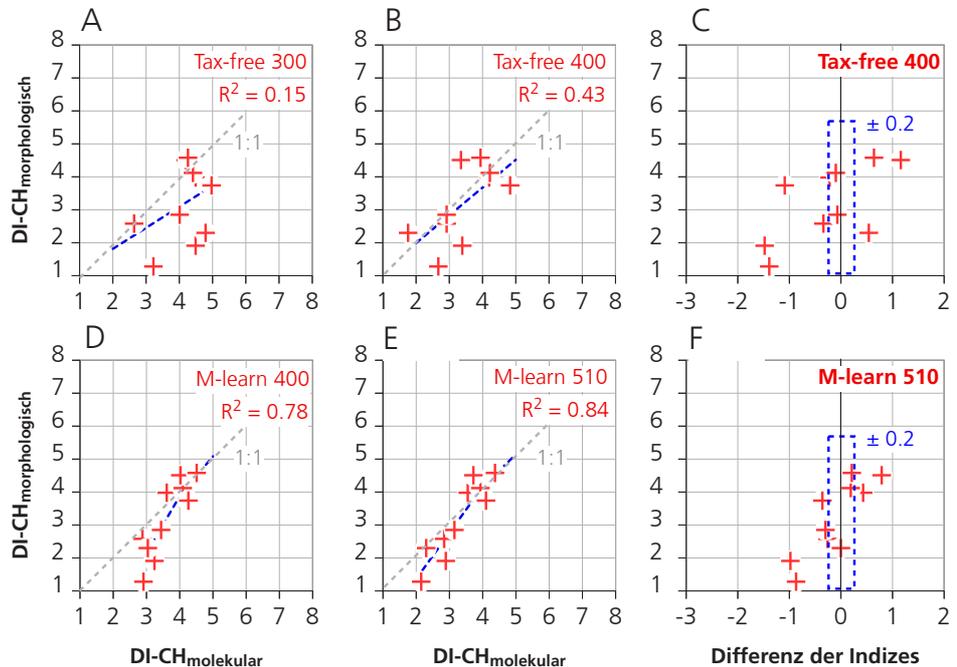


Abb. 5.22: Lineare Beziehung der 10 Testproben des Datensatzes NAWA TREND 2019 basierend auf den beiden Verfahren Taxonomie-frei 300 und 400 (A, B) sowie Machine-learning 400 und 510 (D, E) sowie rechts die Differenzen zwischen den beiden Indizes DI-CH_{morphologisch} und DI-CH_{molekular} jeweils für Taxonomie-frei 400 und Machine-learning 510 (C, F).

Daten des DI-CH_{molekular} gemäss Bericht der ID-Gene ecodiagnosics vom 07.02.2020 (Apothéoz-Perret-Gentil & Pawlowski, 2020; Anhang C). Blauer Rahmen zeigt die anzustrebende maximale Differenz zwischen den beiden Indizes an.

gen und Hauptarten. Die Zahl dieser gezielt gesuchten Proben an Extremstandorten wird den Umfang von mindestens 100 bis 200 Proben umfassen müssen (99 Taxa mit D-Werten ≤ 2.5 , 56 Taxa ≥ 5.5).

Im BAFU Modul Kieselalgen weisen 326 Taxa einen D-Wert mit Gewichtung auf (Verteilung der D-Werte siehe **Abbildung 5.3**). Da im Eichdatensatz jedes Taxon mit einem D-Wert idealerweise mehrfach als Hauptart vorhanden sein sollte, gehen wir davon aus, dass der aktuelle Datensatz generell noch mindestens auf rund 1'000 bis 1'500 Proben verdoppelt bis verdreifacht werden sollte. Dies auch im Wissen, dass der Indexwert DI-CH_{molekular} ja am DI-CH_{morphologisch} geeicht wird und nicht an den Chemiedaten. Es müssen daher im Eichdatensatz die dem DI-CH_{morphologisch} zugrunde liegenden Basisinformationen, nämlich die Taxa und die D-Wertverteilung möglichst vollständig abgebildet werden. Denn diese Arten verkörpern die chemischen Verhältnisse des Eichdatensatzes DI-CH_{morphologisch}. Solange dies nicht der Fall ist, empfiehlt es sich für eine allfällige routinemässige Anwendung des Indexwertes DI-CH_{molekular} Anwendungsgrenzen zu definieren.

5.10 Auswirkung Stellenverschiebung

Die beiden bisherigen Stellen Ron (ID 116) und Salmsacher Aach (ID 073) wurden bachaufwärts verschoben. Mit dem Zusatzauftrag sollen die beiden neuen Stellen der Ron (ID 154) und der Salmsacher Aach (ID 148) mit den bisherigen Stellen verglichen werden. Die neue Stelle der Ron (ID 154) befindet sich rund 700 m weiter bachaufwärts und damit oberhalb des Zuflusses Sagebach. Der DI-CH-Wert ist mit 2.92 deutlich besser als jener der bisherigen Stelle (2015: 4.29, 2019: 3.97). Offenbar bringt das Einzugsgebiet (EZG) des Sagebaches gewisse Belastungen mit sich. Eine andere Erklärung ist zumindest nicht offensichtlich erkennbar. Die neue Stelle der Salmsacher Aach (ID 148) befindet sich oberhalb der Kläranlage Hefenhofen. Der DI-CH-Wert von 3.44 ist ebenfalls erkennbar besser wie an der bisherigen weiter bachabwärts gelegenen Stelle (2015: 4.11, 2019: 3.94). Diese Verbesserung hängt mit der Kläranlage Hefenhofen zusammen (**Tabelle 5.8**). Stellenverschiebung können wie diese Beispiele zeigen andere Verhältnisse mit sich bringen, da Einflussfaktoren neu respektive nicht mehr auf die Stelle einwirken. Stellenverschiebungen sind deshalb wie im vorliegenden Fall zwingend mit einer neuen ID zu versehen. Vergleiche mit Daten der früheren Stelle dürfen nicht gemacht werden.

Tab. 5.8: Vergleich DI-CH-Werte der neuen mit den bisherigen Stellen der Ron und Salmsacher Aach.

Die Farben entsprechen den Zustandsklassen gemäss BAFU Modul Kieselalgen (BAFU 2007a).

Messkampagne	Ron (ID 116) Stelle bisher	Ron (ID 154) Stelle neu	S. Aach (ID 073) Stelle bisher	S. Aach (ID 148) Stelle neu
2011			4.2	
2012	4.9		4.3	
2013			4.4	
2014			4.2	
2015	4.3		4.1	
2019	4.0	2.9	3.9	3.4

6 Fazit

Im Rahmen des Monitoringprogrammes NAWA TREND 2019 wurden an 104 Stellen unter anderem der Äussere Aspekt erhoben und Kieselalgenproben entnommen und uns übergeben. Basierend auf diesen Proben und Daten konnte das uns in Auftrag gegebene Pflichtenheft vollumfänglich umgesetzt werden.

Laborarbeiten: Die Laborarbeiten erfolgten ohne Schwierigkeiten.

Archivierung der Proben: Die Archivierung der präparierten Proben (104 + 2 Zusatzauftrag) sowie der Präparate (104 + 2 Zusatzauftrag) erfolgt an drei Örtlichkeiten (AquaPlus AG, PhycoEco und BAFU; jene Serie des BAFU ist bis auf weiteres bei der AquaPlus AG eingelagert). Es ist in Zukunft weiterhin darauf zu achten bei unproduktiven Stellen im Feld genügend Biomasse zu sammeln, um ausreichend Material für alle 3 Serien zur Verfügung zu haben.

Datenhaltung: Sämtliche Daten sind in den vorgegebenen Files bei AquaPlus AG abgelegt und dem BAFU übergeben worden. Des Weiteren sind die Daten beim Auftragnehmer AquaPlus AG zusätzlich in einer Datenbank abgelegt. Die Daten der Kieselalgenzählungen sämtlicher NAWA-TREND Untersuchungen (seit 2011) wurden zudem im Januar 2020 an MIDAT+ DIA übergeben.

Auswertungen: Die Stellenliste mit Koordinaten, Probenahmedatum, ProbenehmerIn und den wichtigsten Resultaten (Taxazahl, DI-CH, inkl. Qualitätssicherung) wurden mit den Zählraten (Excel) abgegeben. Sämtliche im Pflichtenheft geforderten Auswertungen wurden erstellt. Zusätzlich wurde die Standortgerechtigkeit eingeschätzt, Zusammenhänge zu auserwählten Landnutzungsdaten und chemischen Parametern sowie zu den Parametern des Äusseren Aspektes besprochen.

Resultate Äusserer Aspekt: Die fließende Welle wurde gehäuft durch wenig bis mittel viel stabilem Schaum beeinträchtigt (bei 32 % der 104 Stellen), während Trübung (18 %), Geruch (10 %) und Verfärbung (9 %) seltener auftraten. Die Gewässersohle wies oft eine kolmatierte Sohle (60.5 %) und Abfälle (49 %) auf. Eisensulfid (20 %), Verschlammung (15 %), Feststoffe aus der Siedlungsentwässerung (12 %, WC-Papier, Hygieneartikel) und heterotropher Bewuchs (7 %) waren seltener Ursache für eine Beeinträchtigung. Diese Zustände entsprechen den Erwartungen und werden auch in anderen Monitoringprogrammen vorgefunden.

Resultate Kieselalgen: In den Kieselalgenproben des Jahres 2019 wurden anlässlich der Zählung von 500 Schalen 214 Taxa gefunden. Dies sind 41 % der für Fließgewässer Mitteleuropas aufgeführten häufigen 526 Taxa. Seit Beginn der NAWA-Kampagnen (2012, 2015, 2019) nahm die Zahl von gebietsfremden Kieselalgen sowie deren Vorkommen und Häufigkeit zu. Missbildungen der Kieselalgeschalen (sogenannte Teratologien) wurden in der Kampagne 2019 bei 20 Stellen, respektive 47 Schalen, verteilt auf 15 Taxa festgestellt. 70 % der Proben wiesen Zelldichten von mehr als 700'000 Zellen/cm² auf (normal bis sehr dicht). Während hinsichtlich der DI-CH-Zustandsklassen 96 % aller Stellen einen guten bis sehr guten Zustand indizierten, wiesen bloss 18 % aller Stellen eine standortgerechte Lebensgemeinschaft auf. Der Kieselalgenindex DI-CH indiziert die chemische Wasserqualität, nicht aber die gewässertypspezifische Standortgerechtigkeit.

Trend: Beim Indexwert DI-CH (Kieselalgen) zeigte sich im Laufe der Kampagnen eine geringe Tendenz zur Verbesserung. Basierend auf den jährlich untersuchten 20 Stellen dürfte diese Verbesserung eher Trend als Zufall sein. Beim Äusseren Aspekt konnten keine wesentlichen Veränderungen festgestellt werden.

Resultate DI-CH_{molekular}: Im Rahmen des TREND-Programmes wurden 102 der 104 TREND-Proben auch verwendet, um den molekularen DI-CH-Wert besser abgestützt zu eichen. Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem aktuellen Eichdatensatz von rund 500 Proben, der DI-CH_{molekular} noch zu wenig präzise bestimmt werden kann. Die Differenzen zum DI-CH_{morphologisch} waren mehrheitlich grösser als ± 0.2 DI-CH-Einheiten. Zudem indizierte der DI-CH_{molekular} meistens schlechter als der DI-CH_{morphologisch}. Um das Verfahren in der Routine anwenden zu können, müsste der Eichdatensatz massiv vergrössert werden und zwar gezielt um Proben mit Arten, welche typisch sind für sehr saubere wie auch für stark belastete Gewässer. Zudem muss sichergestellt werden, dass die Berechnung sämtlicher DI-CH-Werte des Eichdatensatzes gemäss Zweiteichung des Modul-Stufen-Konzeptes Kieselalgen erfolgt (Bafu 2007a).

7 Literaturverzeichnis

- Apothéloz-Perret-Gentil L. & Pawlowski J. (2020): Development of the Swiss Diatom Molecular Index with NAWA-TREND samples. ID Gene ecodiagnosics & Université de Genève, Genf, 8 Seiten.
- AquaPlus (2010): Kieselalgen in Fließgewässern des Kantons Aargau. Zusammenfassende Auswertungen. Orientierungsuntersuchungen der Jahre 2002 bis 2010 sowie periodische Bestandesaufnahmen an grösseren Bächen der Jahre 1996 bis 2009. Bericht erstellt im Auftrag des Kantons Aargau, Abteilung für Umwelt. 43 Seiten.
- AquaPlus & PhycoEco (2014a): Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA). NAWA TREND Biologie 2011-2013, Teil Diatomeen Fachbericht, Bericht im Auftrag des BAFU, Bundesamt für Umwelt, Bern, 54 - Seiten.
- AquaPlus & PhycoEco (2014b): Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA). Messprogramm TREND – Biologie / Teil Diatomeen. Methodik. Kurzbericht in deutscher und französischer Sprache, Bericht im Auftrag des BAFU, Bundesamt für Umwelt, Bern, 11 Seiten.
- AquaPlus & PhycoEco (2017): Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA). NAWA TREND Biologie 2015, Teil Diatomeen Fachbericht, Bericht im Auftrag des BAFU, Bundesamt für Umwelt, Bern, 59 Seiten.
- AquaPlus & PhycoEco (2020): Gebietsfremde Algen in der Schweiz - Grundlagen und Situationsanalyse. Bericht im Auftrag des BAFU, Bundesamt für Umwelt, Bern, 61 Seiten.
- AquaPlus & PhycoEco (2021): Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA). NAWA SPEZ Biologie 2018, Teil Diatomeen Fachbericht, Bericht im Auftrag des BAFU, Bundesamt für Umwelt, Bern, 56 Seiten.
- BAFU (2007a): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer: Kieselalgen Stufe F (flächendeckend). Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Vollzug Nr. 0740, 130 Seiten.
- BAFU (2007b). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer: Äusserer Aspekt. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Vollzug Nr. 0701, 43 Seiten.
- BAFU (2013): NAWA – Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität. Konzept Fließgewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1327: 72 Seiten sowie Anhang mit den Messstellenblättern.
- BAFU (2018): Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität NAWA–TREND Biologie 2018-2022. Pflichtenheft Teil B: Für das WTO-Projekt (1495) 810 mit Publikation vom 28. Mai 2014 auf SIMAP, Bundesamt für Umwelt, Bern. 51 Seiten.
- Falasco, E., Bona, F., Ginepro, M., Hlubikova, D., Hoffmann, L. & Ector, L. (2009): Morphological abnormalities of diatom silica walls in relation to heavy metal contamination and artificial growth conditions. *Water SA* 35 (5): 595-606.
- GSchV (1998): Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (Stand vom 1. Januar 2018), Gesetzes-Nr. 814.201.

- Rimet, F. & Ector, L. (2006): Impacts d'un hydrocarbure, le fluoranthène, sur les assemblages de diatomées benthiques et la morphologie de leur frustule en microcosme. *Diatomania* 10: 42-47.
- Rimet, F., Heudre D., Matte J.L. & Mazuer P. (2006): Qualité de l'eau des rivières du bassin houiller en 2006, évaluée au moyen des diatomées : estimation de la pollution organique, trophique, minérale et toxique. Rapport DIREN Lorraine, 57 Seiten.
- Shannon, C. & Weaver, W. (1949): *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press. Urbana.
- Strahler, A.N. (1952): Dynamic basis of geomorphology. In: *Geological Society of America Bulletin* 63/1952, Seiten 923–938.
- Straub, F., Derleth-Sartori, P. & Lods-Crozet, B. (2014). Les diatomées (algues silicatées), indicatrices de la qualité des cours d'eau vaudois : synthèse 2005 à 2013. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 94 (1): 73-106.

Bestimmungsliteratur

- Hofmann, G., Werum, M. & Lange-Bertalot, H. (2013): *Diatomeen im Süßwasser - Benthos von Mitteleuropa. Bestimmungsflorea Kieselalgen für die ökologische Praxis. Über 700 der häufigsten Arten und ihre Ökologie. 2. korrigierte Auflage*. Koeltz Scientific Books, Königstein, 908 Seiten.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. (1986-1991): *Bacillariophyceae*. In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. & Mollenhauer, D. (eds.): *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Band 2/1, 2/2, 2/3 und 2/4, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Lange-Bertalot, H. & Metzeltin, D. (1996): *Oligotrophie-Indikatoren*. *Iconographia Diatomologica* Volume 2, Koeltz Scientific Books, Königstein, 390 Seiten.

Weitere Bestimmungsliteratur siehe BAFU Modul Kieselalgen (BAFU 2007a). Neuere Literatur siehe Bücher und Publikationen der folgenden Serien und Fachjournals:

- *Diatoms of Europe*
- *Bibliotheca Diatomologica*
- *Iconographia Diatomologica*
- *Fottea*
- *Diatom Research*

8 Glossar und Abkürzungen

Aufwuchs	Auch Periphyton genannt, stellt den Bewuchs auf Substraten (z.B. Steine = Epilithon) dar.
Äusserer Aspekt	Unter dem Begriff «Äusserer Aspekt» werden diejenigen Parameter zusammengefasst, welche der Beurteilung der in der Gewässerschutzverordnung unter Anhang 2 aufgeführten Anforderungen dienen. Es sind dies die Parameter Schlamm, Trübung, Verfärbung, Schaum, Geruch, Eisensulfid, Kolmation, Feststoffe aus der Siedlungsentwässerung, Abfälle sowie heterotropher Bewuchs (BAFU, 2007b).
Benthos	In der Bodenzone eines Gewässers vorkommenden Lebewesen.
Diatomeen	Kieselalgen, siliziumhaltige pflanzliche Einzeller (Algen).
DI-CH	Kieselalgenindex zur Beurteilung der biologisch indizierten Wasserqualität gemäss Modulstufenkonzept des Bundes (BAFU 2007a). Zur Berechnung des DI-CH-Wertes werden pro Art der Lebensgemeinschaft die relative Häufigkeit (rH) sowie die artspezifischen D- und G-Werte benötigt.
D-Wert	Artspezifischer Indikationswert zwischen 1 und 8. 1 = die Art kommt in sehr sauberem Wasser vor, 8 = die Art toleriert auch sehr stark belastetes Wasser (BAFU, 2007a).
G-Wert	Artspezifischer Indikationswert (Gewichtung) zur Charakterisierung der Aussagekraft einer Art als Indikatororganismus. Werte zwischen 0.5 und 8.
Epilithon	Aufwuchs auf Steinen.
Epipelon	Bewuchs auf Schlamm.
Evenness	Ausgewogenheit der Arten einer Lebensgemeinschaft oder Artengleichheit. Je höher die Evenness, desto ausgewogener sind die Individuenzahlen zwischen den Arten verteilt. Der Wert für die Evenness liegt dabei zwischen 0 (völlig ungleiche Verteilung der Individuen auf die einzelnen Arten) und 1 (totale Gleichverteilung). Berechnung: $E = H' / \log_2(S)$. E = Evenness, H' = Diversität nach Shannon-Weaver (\log_2), S = Gesamtartenzahl.
Fliessende Welle	Der Teil des Wassers eines Fliessgewässers, welcher ständig fliesst, also nicht stehendes oder sehr langsam fliessendes Wasser im Ufer- oder Hinterwasserbereich.
Gebietsfremde Arten	Arten, die in der Schweiz natürlicherweise nicht heimisch sind.
Plankton	Organismen, die im Wasser eines stehenden Gewässers leben und deren Schwimmrichtung von den Wasserströmungen vorgegeben wird.
rH	Relative Häufigkeit einer Art in Prozent, Werte zwischen 0 und 100 %. Berechnung: Anzahl Schalen einer Art geteilt durch total gezählte Anzahl Schalen der ausgezählten Probe mal 100. Die Anzahl Schalen beträgt im vorliegenden Bericht 500 Schalen.
Teratologie	Missbildungen der Schalenstruktur, verursacht durch natürliche (z. B. erhöhte UV-Strahlung im Gebirge, Siliziummangel, etc.) oder anthropogen bedingte Faktoren (z.B. Abwasser, hohe Schwermetallkonzentrationen, Mikroverunreinigungen, hoher Salzgehalt, Radioaktivität, etc.).

ANHÄNGE

A1 Liste der Messstellen NAWA TREND der Periode 2019

Angaben: Messstelle, Gewässer, Ort, Kanton, Koordinaten, Meereshöhe, ProbenehmerIn

A2: Charakterisierung der Messstellen NAWA TREND der Periode 2019

Angaben: Messstelle, Gewässer, Ort, Kanton, Fläche, Abflussregimety, MQ, FLOZ, Abwasserkategorie

B1: Resultate der Messstellen NAWA TREND der Periode 2019

Angaben: Messstelle, Gewässer, Ort, Kanton, Probennahmedatum, Taxazahl, Diversität H (log mit Basis 2), Dominanzsumme, Teratologie, DI-CH-Wert 2019, 2015 und 2012

B2: Resultate der Qualitätssicherung: Zweitzählung von Stellen der Periode NAWA SPEZ 2018 und NAWA TREND 2019

Angaben: Messstelle, Gewässer, Ort, Kanton, Probennahmedatum, Taxazahl, Diversität H (log mit Basis 2), Dominanzsumme, Teratologie, DI-CH-Wert 2019

C1: Bericht der ID-Gene (2020) zum DI-CH_{molekular}

Elektronische Beilagen: Sämtliche stellenspezifischen Laborprotokolle (Zähllisten) und die Kurzkomentare Kieselalgen des Projektes NAWA TREND 2019 wurde dem BAFU in elektronischer Version übergeben. Die Stellendokumentation ist sehr umfangreich und steht daher nicht als gedruckter Anhang zur Verfügung. Die Abgabe der stellenspezifischen Feldprotokolle und Fotos der Probenahmestellen erfolgt durch das Fachlos 2 im Rahmen des Fachberichtes Makrozoobenthos.

Tabelle A1: Liste der Messstellen NAWA TREND der Periode 2019. Es sind diejenigen 104 Stellen aufgeführt, welche mittels Kieselalgen, Makroinvertebraten und Äusserem Aspekt untersucht wurden. Des Weiteren sind die beiden Stellen Salmsacher Aach (ID 073, TG) und Ron (ID 116, LU) aufgeführt, welche im Rahmen eines Zusatzauftrages (Abklärung Auswirkungen Stellenverschiebung) im Jahr 2019 das letzte Mal beprobt wurden (Kieselalgen und Äusserer Aspekt).

Bisherige Stellen: CH_002_BS bis CH_135_AR; Neue Stellen: CH_136_AG bis CH_154_LU; Zusatzauftrag: CH_073_TG, CH_116_LU. Stellen in roter Schrift wurden in der Lage gegenüber der Untersuchung des Jahres 2015 grösstenteils leicht verschoben. Stellenverschiebungen werden im Fachbericht Makrozoobenthos abgehandelt.

Messstelle	Gewässer, Ort	KT	Koordinate X	Koordinate Y	m ü. M.	ProbenehmerIn
CH_002_BS	Birs, Birskopf	BS	613496	267409	250	M. Haberthür
CH_007_BE	Emme, Gerlafingen, Steg	BE	609445	225330	444	M. Haberthür
CH_009_SO	Limpach, Kyburg	SO	605997	220876	464	M. Haberthür
CH_011_SO	Lüssel, Breitenbach	SO	607744	250786	390	M. Haberthür
CH_012_OW	Sarner Aa, Sarnen, Kägiswil	OW	662647	195819	460	S. Schmidlin
CH_014_LU	Reuss, Luzern, Bahnhof	LU	664315	212930	430	M. Haberthür
CH_015_VS	Rhône, Brig	VS	639626	128790	659	R. Bernard
CH_016_VS	Vispa, Visp	VS	634030	125900	650	R. Bernard
CH_017_VS	Rhône, Sion	VS	593300	118455	489	R. Bernard
CH_018_VS	Drance, Martigny	VS	570614	104466	495	R. Bernard
CH_020_VD	Venoge, Ecublens, Les Bois	VD	532024	154048	384	C. Imesch
CH_021_VD	Thielle, Yverdon, Les Parties	VD	538389	180827	432	N. Remund
CH_022_VD	Broye, Domdidier	VD	566183	191947	440	C. Imesch
CH_023_SG	Steinach, Vor Mündung, Mattenhof	SG	750755	262628	409	A. Carlevaro
CH_025_SG	Sitter, Leebrugg	SG	745537	258250	535	A. Carlevaro
CH_026_SG	Thur, Niederbüren, Golfplatz	SG	732383	259206	475	R. Wenger
CH_027_SG	Necker, Ob Thur, Lütisburg	SG	724298	250473	560	R. Wenger
CH_028_SG	Glatt, Niederuzwil, Buechental	SG	729400	256250	495	R. Wenger
CH_032_AG	Pfaffnern, Rothrist	AG	634429	239712	405	S. Knispel
CH_033_AG	Wyna, Suhr	AG	649071	246917	400	S. Knispel
CH_034_AG	Bünz, Möriken	AG	656434	251249	380	S. Knispel
CH_035_AG	Surb, Döttingen, bei Pegel ALG	AG	662285	268508	335	E. Birnstiel
CH_036_AG	Sissle, Eiken	AG	641500	265545	310	E. Birnstiel
CH_039_AG	Suhre, Suhr, bei Zentrum Bärenmatte	AG	648700	247570	380	S. Knispel
CH_040_ZH	Limmat, Hönggersteg	ZH	679330	250317	397	P. Steinmann
CH_041_ZH	Töss, Freienstein	ZH	685998	264982	358	P. Steinmann
CH_042_ZH	Sihl, Sihlhölzli	ZH	682105	246843	410	P. Steinmann
CH_043_ZH	Glatt, Rheinsfelden	ZH	678123	269619	339	P. Steinmann
CH_044_ZH	Glatt, Abfluss Greifensee	ZH	691163	248330	436	P. Steinmann
CH_045_ZH	Aabach, Mönchaltorf	ZH	696928	240805	440	P. Steinmann
CH_046_ZH	Aa, Niederuster	ZH	694950	244939	441	P. Steinmann
CH_047_ZH	Reppisch, Dietikon	ZH	672809	252051	385	P. Steinmann
CH_048_ZH	Jona, Nach Rüti	ZH	705817	232990	428	P. Steinmann
CH_049_ZH	Furtbach, Otelfingen	ZH	671505	255848	420	P. Steinmann
CH_050_ZH	Thur, Andelfingen, Brücke	ZH	693065	272893	359	P. Steinmann
CH_054_FR	Sionge, Vuippens	FR	572353	167639	684	S. Keller
CH_056_BE	Engstlige, Frutigen	BE	615246	158704	810	C. Imesch
CH_058_BE	Chise, Oberdiessbach	BE	613807	188906	616	C. Imesch
CH_059_BE	Gürbe, Vor Mündung, Bodenacher Fähre	BE	603555	196625	511	N. Remund
CH_060_BE	Sense, Thörishaus	BE	593370	193000	549	N. Remund
CH_062_BE	Urtenen, Schalunen	BE	606960	217380	486	M. Haberthür
CH_063_BE	Langete, Mangen	BE	628600	232897	449	M. Haberthür
CH_065_ZH	Sihl, Hütten	ZH	693293	225364	687	P. Steinmann
CH_066_ZH	Töss, Rämismühle, Zell	ZH	703828	255510	530	P. Steinmann
CH_067_BL	Ergolz, Augst, Autobahn	BL	620950	264930	261	M. Haberthür
CH_068_JU	Sorne, Delémont	JU	593577	246286	410	M. Haberthür
CH_069_JU	Scheulte, Vicques	JU	599461	244150	465	M. Haberthür
CH_070_TG	Murg, Frauenfeld	TG	709510	269793	391	M. Freiburghaus
CH_071_TG	Lauche, Bei Mühle Matzingen	TG	712330	264343	445	R. Wenger
CH_072_TG	Chemibach, Märstetten	TG	721604	273121	419	M. Freiburghaus

Tabelle A1: Fortsetzung

Messstelle	Gewässer, Ort	KT	Koordinate X	Koordinate Y	m ü. M.	ProbenehmerIn
CH_074_NW	Engelberger Aa, Oberdorf Ennerberg	NW	672138	201829	455	S. Schmidlin
CH_075_ZG	Lorze, Frauenthal	ZG	674516	230487	390	M. Haberthür
CH_076_ZG	Lorze, Letzi	ZG	680595	226069	421	M. Haberthür
CH_079_AG	Aabach, Niederlenz	AG	655159	251068	365	S. Knispel
CH_084_JU	Allaine, Boncourt	JU	567887	261272	365	M. Haberthür
CH_085_NE	Areuse, Boudry, Brücke	NE	554430	199950	445	F. Straub
CH_086_GE	Arve, Passerelle, E. de Médecine	GE	499460	116790	375	A. Cordonier
CH_087_JU	Birs, Les Riedes-Dessus	JU	597753	249364	386	M. Haberthür
CH_088_JU	Doubs, Ocourt, Pesses des Vernes	JU	572066	243841	420	M. Haberthür
CH_089_SO	Dünnern, Olten, Hammer	SO	634000	244025	404	M. Haberthür
CH_091_GR	Inn, S-chanf	GR	795320	165548	1650	M. Freiburghaus
CH_092_BE	Kander, Hondrich	BE	616905	170230	620	C. Imesch
CH_093_LU	Kleine Emme, Littau-Reussbühl	LU	664207	213233	432	M. Haberthür
CH_094_BE	La Suze, Biel, Mitte vor Mündung	BE	584763	220291	430	M. Haberthür
CH_095_GR	Landquart, Felsenbach	GR	765245	204813	560	A. Carlevaro
CH_098_TI	Maggia, Locarno, Solduno	TI	703084	113851	200	A. Carlevaro
CH_099_TI	Moesa, Lumino	TI	724346	120161	235	A. Carlevaro
CH_100_SZ	Muota, Wilerbrugg	SZ	688257	206189	436	E. Birnstiel
CH_101_UR	Reuss, Attinghausen, Allmeinigärtli	UR	690654	191880	445	S. Schmidlin
CH_106_BE	Saane, Marfeldingen	BE	585905	203017	463	C. Imesch
CH_107_FR	Sarine, Broc, Halte des Marches	FR	573540	161640	685	S. Keller
CH_111_AG	Wigger, Zofingen	AG	637194	238503	420	E. Birnstiel
CH_114_BE	Emme, Emmenmatt, Mitte	BE	623712	199785	640	M. Haberthür
CH_115_AI	Sitter, Appenzell	AI	750019	243282	790	A. Carlevaro
CH_119_NE	Seyon, Valangin	NE	559534	207117	635	F. Straub
CH_123_TI	Maggia, Brontallo	TI	692818	134910	622	M. Freiburghaus
CH_126_VD	Mentue, La Mauguettaz	VD	545390	180900	448	N. Remund
CH_127_VD	Talent, Chavornay	VD	532670	173050	439	C. Imesch
CH_128_VD	Promenthouse, Le Rancho	VD	510084	140075	394	C. Imesch
CH_129_VD	Boiron de Morges, Lac	VD	526273	149580	375	C. Imesch
CH_130_VD	Aubonne, Allaman, Le Coulet	VD	520715	147440	395	C. Imesch
CH_131_VD	Veveyse, Vevey	VD	553755	145728	376	N. Remund
CH_132_VD	Grande Eau, Aigle, Autoroute	VD	561082	130535	386	C. Imesch
CH_133_BE	Simme, Latterbach	BE	612505	168441	640	N. Remund
CH_134_BE	La Birse, Choindez-Aval de la Roche St. Jean	BE	596389	240411	475	M. Haberthür
CH_135_AR	Urnäsch, Kubel, ob Sitter	AR	742503	251590	593	A. Carlevaro
CH_136_AG	Küntenerbach, Künten	AG	666969	248640	388	E. Birnstiel
CH_137_AG	Möhlinbach, Zeiningen	AG	632608	265780	337	E. Birnstiel
CH_138_BE	Chrümlisbach, Chüechumatt	BE	606133	218489	470	I. Hegglin
CH_139_BE	Ballmoosbach, Mettle, Waldrand	BE	603217	210481	547	I. Hegglin
CH_140_FR	Bainoz, La Vounaise	FR	552620	184072	570	C. Imesch
CH_141_JU	Erveratte, La Pran	JU	580325	251633	490	M. Haberthür
CH_143_SG	Zapfenbach, OB RBK, Bernecker Riet	SG	764793	250889	400	A. Carlevaro
CH_144_SG	Mittlerer Seegraben, Balgacher Riet	SG	764600	251002	400	A. Carlevaro
CH_145_SH	Landgrabe, Trasadingen	SH	674870	279824	404	M. Freiburghaus
CH_146_SH	Beggingerbach, Beggingen, vor ARA	SH	681330	291094	526	M. Haberthür
CH_147_TG	Eschelisbach, Moosburg	TG	740300	274478	400	A. Carlevaro
CH_148_TG	Salmsacher Aach, Amriswil, vor ARA	TG	741757	268559	418	M. Haberthür
CH_149_TI	Vedeggio, Agno, Muzzano	TI	714110	95680	274	A. Carlevaro
CH_150_VD	Ruisseau Gi, Amont Mauguettaz	VD	545151	181272	452	C. Imesch
CH_151_VD	Le Combagnou, Pampigny, Le Selier	VD	522923	158664	620	S. Keller
CH_152_VS	Canal D'Uvrier, Aval STEP Uvrier	VS	597057	121811	491	R. Bernard
CH_153_NE	Doubs, Saut du Doubs	NE	544983	215320	736	F. Straub
CH_154_LU	Ron, Hochdorf, Sempachstrasse	LU	664050	224110	469	M. Haberthür
CH_073_TG	Salmsacher Aach, Amriswil	TG	744157	268389	410	M. Freiburghaus
CH_116_LU	Ron, Hochdorf	LU	663861	224838	466	M. Haberthür

Tabelle A2: Charakterisierung der Messstellen NAWA TREND der Periode 2019. Es sind diejenigen 104 Stellen aufgeführt, welche mittels Kieselalgen, Makroinvertebraten und Äusserem Aspekt untersucht wurden. Des Weiteren sind die beiden Stellen Salsmacher Aach (ID 073, TG) und Ron (ID 116, LU) aufgeführt, welche im Rahmen eines Zusatzauftrages (Abklärung Auswirkungen Stellenverschiebung) im Jahr 2019 das letzte Mal beprobt wurden (Kieselalgen und Äusserer Aspekt).

Bisherige Stellen: CH_002_BS bis CH_135_AR; Neue Stellen CH_136_AG bis CH_154_LU; Zusatzauftrag: CH_073_TG, CH_116_LU. Angaben gemäss BAFU.

Fläche: Flächenanteil des Einzugsgebietes EZG in der Schweiz (sofern Auslandanteil Angabe in Klammer)
 MQ: Jährlicher mittlerer Abfluss
 FLOZ: Flussordnungszahl nach Strahler (1952)
 AbwKat: Prozentualer Anteil des Abwassers bei Niederwasser (Q₃₄₇)
 k. A.: keine Angabe

Messstelle	Gewässer, Ort	KT	Fläche [km ²]	Abflussregimetyp	MQ [m ³ /s]	FLOZ [≥1..9]	AbwKat. [%]
CH_002_BS	Birs, Birskopf	BS	878	pluvial jurassien	18.9	6	20-50
CH_007_BE	Emme, Gerlafingen, Steg	BE	925	pluvial supérieur	22.7	7	10-20
CH_009_SO	Limpach, Kyburg	SO	73	pluvial inférieur	1.7	5	10-20
CH_011_SO	Lüssel, Breitenbach	SO	44	pluvial jurassien	0.6	4	0
CH_012_OW	Sarner Aa, Sarnen, Kägiswil	OW	284	nivo-pluvial préalpin	11.3	5	0-10
CH_014_LU	Reuss, Luzern, Bahnhof	LU	2243	nival de transition	111.5	7	0-10
CH_015_VS	Rhône, Brig	VS	906	a-glacio-nival	44.4	6	0-10
CH_016_VS	Vispa, Visp	VS	778	b-glaciaire	24.9	6	0-10
CH_017_VS	Rhône, Sion	VS	3372	a-glacio-nival	120.3	7	0-10
CH_018_VS	Drance, Martigny	VS	676	a-glacio-nival	24.1	6	0-10
CH_020_VD	Venoge, Ecublens, Les Bois	VD	228	nivo-pluvial jurassien	3.9	4	20-50
CH_021_VD	Thielle, Yverdon, Les Parties	VD	415	nivo-pluvial jurassien	11	5	0-10
CH_022_VD	Broye, Domdidier	VD	429	pluvial inférieur	8.2	6	10-20
CH_023_SG	Steinach, Vor Mündung, Mattenhof	SG	25	pluvial supérieur	0.7	4	>50
CH_025_SG	Sitter, Leebrugg	SG	288	nivo-pluvial préalpin	11.2	6	20-50
CH_026_SG	Thur, Niederbüren, Golfplatz	SG	691	nivo-pluvial préalpin	24.9	7	10-20
CH_027_SG	Necker, Ob Thur, Lütisburg	SG	125	nivo-pluvial préalpin	4.6	6	0-10
CH_028_SG	Glatt, Niederuzwil, Buechental	SG	91	pluvial supérieur	2.3	6	20-50
CH_032_AG	Pfaffnern, Rothrist	AG	47	pluvial inférieur	0.9	4	0
CH_033_AG	Wyna, Suhr	AG	120	pluvial inférieur	2.2	4	20-50
CH_034_AG	Bünz, Möriken	AG	123	pluvial inférieur	2.2	5	10-20
CH_035_AG	Surb, Döttingen, bei Pegel ALG	AG	65	pluvial inférieur	1	4	20-50
CH_036_AG	Sissle, Eiken	AG	123	pluvial jurassien	1.9	5	20-50
CH_039_AG	Suhre, Suhr, bei Zentrum Bärenmatte	AG	247	pluvial inférieur	4.8	5	20-50
CH_040_ZH	Limmat, Hönggersteg	ZH	2186	nivo-pluvial préalpin	96.5	8	0-10
CH_041_ZH	Töss, Freienstein	ZH	405	pluvial inférieur	9.2	6	20-50
CH_042_ZH	Sihl, Sihlhölzli	ZH	343	nivo-pluvial préalpin	13.5	7	10-20
CH_043_ZH	Glatt, Rheinsfelden	ZH	417	pluvial inférieur	8.8	6	>50
CH_044_ZH	Glatt, Abfluss Greifensee	ZH	166	pluvial inférieur	4.3	6	20-50
CH_045_ZH	Aabach, Mönchaltorf	ZH	45	pluvial inférieur	1.2	4	>50
CH_046_ZH	Aa, Niederuster	ZH	63	pluvial inférieur	1.8	5	20-50
CH_047_ZH	Reppisch, Dietikon	ZH	69	pluvial inférieur	1.4	4	>50
CH_048_ZH	Jona, Nach Rüti	ZH	58	pluvial supérieur	2.4	5	20-50
CH_049_ZH	Furtbach, Otelfingen	ZH	38	pluvial inférieur	0.8	4	>50
CH_050_ZH	Thur, Andelfingen, Brücke	ZH	1706	pluvial supérieur	47.5	7	20-50
CH_054_FR	Sionge, Vuippens	FR	43	nivo-pluvial préalpin	0.9	4	0
CH_056_BE	Engstlige, Frutigen	BE	136	nival alpin	5.4	5	0-10
CH_058_BE	Chise, Oberdiessbach	BE	49	pluvial supérieur	1.5	4	10-20
CH_059_BE	Gürbe, Vor Mündung, Bodenacher Fähre	BE	129	pluvial supérieur	2.8	5	10-20
CH_060_BE	Sense, Thörishaus	BE	351	nivo-pluvial préalpin	8.5	7	0-10
CH_062_BE	Urtenen, Schalunen	BE	94	pluvial inférieur	2	4	10-20
CH_063_BE	Langete, Mangen	BE	131	pluvial inférieur	2.5	5	0-10
CH_065_ZH	Sihl, Hütten	ZH	259	nivo-pluvial préalpin	10.8	7	0-10
CH_066_ZH	Töss, Rämismühle, Zell	ZH	129	pluvial supérieur	3.4	6	0-10
CH_067_BL	Ergolz, Augst, Autobahn	BL	285	pluvial jurassien	4.2	6	>50
CH_068_JU	Sorne, Delémont	JU	214	nivo-pluvial jurassien	5.7	5	0
CH_069_JU	Scheulte, Vicques	JU	73	nivo-pluvial jurassien	2.1	5	0-10
CH_070_TG	Murg, Frauenfeld	TG	213	pluvial inférieur	4.1	6	20-50
CH_071_TG	Lauche, Bei Mühle Matzingen	TG	62	pluvial inférieur	1	5	0
CH_072_TG	Chemibach, Märstetten	TG	33	pluvial inférieur	0.4	4	0-10

Tabelle A2: Fortsetzung.

Fläche: Flächenanteil des Einzugsgebietes EZG in der Schweiz (sofern Auslandanteil Angabe in Klammer)
 MQ: Jährlicher mittlerer Abfluss
 FLOZ: Flussordnungszahl nach Strahler (1952)
 AbwKat: Prozentualer Anteil des Abwassers bei Niederwasser (Q₃₄₇)
 k. A.: keine Angabe

Messstelle	Gewässer, Ort	KT	Fläche [km ²]	Abflussregimetyp	MQ [m ³ /s]	FLOZ [≥1..9]	AbwKat. [%]
CH_074_NW	Engelberger Aa, Oberdorf Ennerberg	NW	226	b-glacio-nival	12.4	5	0-10
CH_075_ZG	Lorze, Frauenthal	ZG	262	pluvial inférieur	7.8	6	10-20
CH_076_ZG	Lorze, Letzi	ZG	100	pluvial supérieur	3.1	6	0
CH_079_AG	Aabach, Niederlenz	AG	180	pluvial inférieur	3.5	4	10-20
CH_084_JU	Allaine, Boncourt	JU	203	pluvial jurassien	4.1	5	10-20
CH_085_NE	Areuse, Boudry, Brücke	NE	351	nivo-pluvial jurassien	11.1	4	0-10
CH_086_GE	Arve, Passerelle, E. de Médecine	GE	51 (1979)	nival de transition	0.7	4	0-10
CH_087_JU	Birs, Les Riedes-Dessus	JU	573	nivo-pluvial jurassien	14.7	6	10-20
CH_088_JU	Doubs, Ocourt, Pesses des Vernes	JU	393 (1280)	nivo-pluvial jurassien	8.7	5	0-10
CH_089_SO	Dünnern, Olten, Hammer	SO	234	pluvial jurassien	4.3	5	20-50
CH_091_GR	Inn, S-chanf	GR	616	b-glacio-nival	21.3	6	0-10
CH_092_BE	Kander, Hondrich	BE	492	nivo glaciaire	21.5	6	0
CH_093_LU	Kleine Emme, Littau-Reussbühl	LU	478	nivo-pluvial préalpin	15	7	0-10
CH_094_BE	La Suze, Biel, Mitte vor Mündung	BE	216	nivo-pluvial jurassien	6.1	3	0-10
CH_095_GR	Landquart, Felsenbach	GR	614	nival alpin	23.3	6	0-10
CH_098_TI	Maggia, Locarno, Solduno	TI	753	nival pluvial méridional	39.4	7	0-10
CH_099_TI	Moesa, Lumino	TI	469	nivo-pluvial méridional	19.7	5	0-10
CH_100_SZ	Muota, Wilerbrugg	SZ	317	nival de transition	18.7	6	0-10
CH_101_UR	Reuss, Attinghausen, Allmeinigärtli	UR	819	b-glacio-nival	43.8	6	0-10
CH_106_BE	Saane, Marfeldingen	BE	1893	nivo-pluvial préalpin	56.6	8	0-10
CH_107_FR	Sarine, Broc, Halte des Marches	FR	636	nival de transition	25.3	7	0-10
CH_111_AG	Wigger, Zofingen	AG	368	pluvial inférieur	7.1	6	10-20
CH_114_BE	Emme, Emmenmatt, Mitte	BE	231	nivo-pluvial préalpin	6.4	6	0-10
CH_115_AI	Sitter, Appenzell	AI	67	nival de transition	3.4	5	0
CH_119_NE	Seyon, Valangin	NE	112	nivo-pluvial jurassien	2.7	4	>50
CH_123_TI	Maggia, Brontallo	TI	171	nival méridional	9	5	0
CH_126_VD	Mentue, La Mauguettaz	VD	105	pluvial jurassien	1.6	4	10-20
CH_127_VD	Talent, Chavornay	VD	67	pluvial jurassien	1	4	20-50
CH_128_VD	Promenthouse, Le Rancho	VD	120	nivo-pluvial jurassien	4.1	4	0-10
CH_129_VD	Boiron de Morges, Lac	VD	34	nivo-pluvial jurassien	0.4	3	10-20
CH_130_VD	Aubonne, Allaman, Le Coulet	VD	105	nivo-pluvial jurassien	2.2	4	0-10
CH_131_VD	Veveyse, Vevey	VD	65	nivo-pluvial préalpin	2.3	5	0
CH_132_VD	Grande Eau, Aigle, Autoroute	VD	144	nival de transition	4.1	5	0-10
CH_133_BE	Simme, Latterbach	BE	569	nival de transition	18.8	6	0-10
CH_134_BE	La Birse, Choindex-Aval de la Roche St. Jean	BE	199	nivo-pluvial jurassien	5.6	5	10-20
CH_135_AR	Urnäsch, Kubel, ob Sitter	AR	94	nivo-pluvial préalpin	3.9	5	0-10
CH_136_AG	Küntenerbach, Künten	AG	4	pluvial inférieur	0.1	3	0
CH_137_AG	Möhlinbach, Zeiningen	AG	27	pluvial jurassien	0.5	3	0-10
CH_138_BE	Chrümlißbach, Chüechumatt	BE	4	pluvial inférieur	0.1	2	0
CH_139_BE	Ballmoosbach, Mettle, Waldrand	BE	3	pluvial inférieur	0	2	0
CH_140_FR	Bainoz, La Vounaise	FR	7	pluvial jurassien	0.1	3	0
CH_141_JU	Erveratte, La Pran	JU	8	pluvial jurassien	0.2	3	0
CH_143_SG	Zapfenbach, OB RBK, Bernecker Riet	SG	4	k. A.	0.1	2	0
CH_144_SG	Mittlerer Seegraben, Balgacher Riet	SG	10	pluvial inférieur	0.2	2	0
CH_145_SH	Landgrabe, Trasadingen	SH	75	pluvial inférieur	1	4	k. A.
CH_146_SH	Beggingerbach, Beggingen, vor ARA	SH	10	pluvial inférieur	0.2	3	0
CH_147_TG	Eschelisbach, Moosburg	TG	2	k. A.	0	2	0
CH_148_TG	Salmsacher Aach, Amriswil, vor ARA	TG	43	pluvial inférieur	0.7	4	0
CH_149_TI	Vedeggio, Agno, Muzzano	TI	100	pluvio-nival méridional	4.1	5	>50
CH_150_VD	Ruisseau Gi, Amont Mauguettaz	VD	6	pluvial jurassien	0.1	2	0
CH_151_VD	Le Combagnou, Pampigny, Le Selier	VD	6	nivo-pluvial jurassien	0.1	3	0
CH_152_VS	Canal D'Uvrier, Aval STEP Uvrier	VS	7	pluvial inférieur	0	2	0
CH_153_NE	Doubs, Saut du Doubs	NE	65 (867)	k. A.	2.4	5	0-10
CH_154_LU	Ron, Hochdorf, Sempachstrasse	LU	22	pluvial inférieur	0.5	3	0
CH_073_TG	Salmsacher Aach, Amriswil	TG	47	pluvial inférieur	0.7	4	>50
CH_116_LU	Ron, Hochdorf	LU	28	pluvial inférieur	0.6	3	0

Tabelle B1: Resultate der Messstellen NAWA TREND der Periode 2019.

Taxazahl: Zahl der Taxa (Arten, Variationen)
 Diversität H: Diversität H nach Shannon & Weaver (1949), Berechnung als log mit Basis 2
 DS [%]: Dominanzsumme der relativen Häufigkeit der drei Taxa mit den höchsten Anteilen
 Teratologie [%]: Prozentualer Anteil an Teratologien (missbildete Schalen, 100 % = Anzahl total gezählte Schalen)
 DI-CH-Wert: Indexwert Kieselalgen gemäss BAFU Modul Kieselalgen Stufe F (BAFU 2007a) der Jahre 2012
 2015 und 2019. Farben = Zustandsklassen gemäss BAFU Modul-Stufen-Konzept in BAFU (2007a)

Messstelle	Gewässer, Ort	KT	Datum	Taxa- zahl 2019	Diver- sität H 2019	DS [%] 2019	Teratolo- gie [%] 2019	DI-CH 2019	DI-CH 2015	DI-CH 2012
CH_002_BS	Birs, Birskopf	BS	12.3.2019	26	3.5	59	0.0	3.7	3.7	3.9
CH_007_BE	Emme, Gerlafingen, Steg	BE	13.3.2019	25	3.6	48	0.0	2.7	2.8	3.0
CH_009_SO	Limpach, Kyburg	SO	13.3.2019	26	3.0	65	0.0	3.8	4.5	5.1
CH_011_SO	Lüssel, Breitenbach	SO	12.3.2019	21	3.1	63	0.0	2.6	2.8	2.5
CH_012_OW	Sarner Aa, Sarnen, Kägiswil	OW	19.2.2019	27	3.6	53	0.0	2.2	1.8	2.1
CH_014_LU	Reuss, Luzern, Bahnhof	LU	26.2.2019	25	2.2	83	0.0	2.9	1.8	2.1
CH_015_VS	Rhône, Brig	VS	22.3.2019	25	3.0	66	0.4	1.6	1.5	2.8
CH_016_VS	Vispa, Visp	VS	10.4.2019	29	3.1	65	0.2	1.9	1.5	2.4
CH_017_VS	Rhône, Sion	VS	12.3.2019	28	2.7	74	0.0	1.9	1.3	2.4
CH_018_VS	Drance, Martigny	VS	6.3.2019	25	3.1	65	0.2	1.5	1.1	2.1
CH_020_VD	Venoge, Ecublens, Les Bois	VD	20.3.2019	22	3.4	56	0.0	4.0	3.6	5.0
CH_021_VD	Thielle, Yverdon, Les Parties	VD	20.3.2019	34	2.8	77	0.0	3.3	3.0	2.6
CH_022_VD	Broye, Domdidier	VD	24.3.2019	26	2.5	81	0.0	4.2	4.1	4.5
CH_023_SG	Steinach, Vor Mündung, Mattenhof	SG	21.3.2019	19	2.5	80	0.0	3.9	3.9	5.1
CH_025_SG	Sitter, Leebrugg	SG	24.3.2019	16	2.8	68	0.0	2.4	3.7	3.9
CH_026_SG	Thur, Niederbüren, Golfplatz	SG	6.3.2019	27	3.2	61	0.0	3.5	4.0	3.4
CH_027_SG	Necker, Ob Thur, Lütisburg	SG	7.3.2019	30	3.8	49	0.6	3.6	4.1	3.6
CH_028_SG	Glatt, Niederuzwil, Buechental	SG	6.3.2019	23	3.2	65	0.0	4.1	4.4	3.9
CH_032_AG	Pfaffnern, Rothrist	AG	6.3.2019	26	3.3	63	0.0	4.4	4.0	3.9
CH_033_AG	Wyna, Suhr	AG	6.3.2019	34	3.7	52	0.0	4.0	4.1	3.7
CH_034_AG	Bünz, Möriken	AG	5.3.2019	29	3.6	57	0.0	4.2	3.9	4.1
CH_035_AG	Surb, Döttingen, bei Pegel ALG	AG	5.3.2019	23	3.5	58	0.0	3.9	3.8	4.3
CH_036_AG	Sissle, Eiken	AG	5.3.2019	31	3.9	50	0.0	3.3	3.7	3.8
CH_039_AG	Suhre, Suhr, bei Zentrum Bärenmatt	AG	6.3.2019	28	3.8	45	0.0	4.2	3.9	4.2
CH_040_ZH	Limmat, Hönggersteg	ZH	6.3.2019	19	2.7	74	0.0	3.0	2.0	2.5
CH_041_ZH	Töss, Freienstein	ZH	18.3.2019	35	4.0	51	0.0	3.3	3.5	3.6
CH_042_ZH	Sihl, Sihlhölzli	ZH	6.3.2019	33	3.7	54	0.0	3.5	2.9	2.8
CH_043_ZH	Glatt, Rheinsfelden	ZH	18.3.2019	29	3.9	50	0.0	3.7	4.5	4.3
CH_044_ZH	Glatt, Abfluss Greifensee	ZH	13.3.2019	41	4.1	44	0.0	3.2	3.4	3.3
CH_045_ZH	Aabach, Mönchaltorf	ZH	13.3.2019	33	3.8	53	0.0	3.5	4.2	4.0
CH_046_ZH	Aa, Niederuster	ZH	13.3.2019	30	4.2	38	0.8	3.8	3.8	3.8
CH_047_ZH	Reppisch, Dietikon	ZH	6.3.2019	27	3.8	48	0.0	3.6	4.0	3.8
CH_048_ZH	Jona, Nach Rüti	ZH	27.3.2019	24	3.3	63	0.2	3.6	3.0	3.4
CH_049_ZH	Furtbach, Otelfingen	ZH	20.3.2019	43	4.5	36	0.0	4.5	4.4	3.8
CH_050_ZH	Thur, Andelfingen, Brücke	ZH	20.3.2019	27	3.0	70	0.0	3.9	4.1	3.8
CH_054_FR	Sionge, Vuippens	FR	10.4.2019	27	2.7	79	0.2	2.7	2.5	3.4
CH_056_BE	Engstlige, Frütigen	BE	8.4.2019	17	3.0	64	0.0	2.3	1.8	1.8
CH_058_BE	Chise, Oberdiessbach	BE	24.4.2019	23	3.4	63	0.0	3.9	4.4	4.1
CH_059_BE	Gürbe, Vor Mündung, Bodenacher F	BE	25.3.2019	14	2.3	82	0.0	2.5	3.7	3.2
CH_060_BE	Sense, Thörishaus	BE	25.3.2019	19	1.5	87	0.0	1.8	3.4	4.1
CH_062_BE	Urtenen, Schalunen	BE	13.3.2019	28	3.1	64	0.0	3.7	4.5	3.4
CH_063_BE	Langete, Mangen	BE	6.3.2019	24	3.3	63	0.0	2.8	2.7	4.0
CH_065_ZH	Sihl, Hütten	ZH	8.4.2019	16	2.0	88	0.0	2.2	2.9	2.9
CH_066_ZH	Töss, Rämismühle, Zell	ZH	18.3.2019	52	4.6	38	0.0	3.0	1.5	2.8
CH_067_BL	Ergolz, Augst, Autobahn	BL	12.3.2019	26	3.9	47	0.0	3.5	5.0	4.2
CH_068_JU	Sorne, Delémont	JU	20.3.2019	25	2.2	83	0.4	2.0	2.8	3.4
CH_069_JU	Scheulte, Vicques	JU	20.3.2019	20	2.1	86	0.0	2.1	2.0	2.6
CH_070_TG	Murg, Frauenfeld	TG	20.3.2019	17	2.7	70	0.0	4.2	3.9	4.0
CH_071_TG	Lauche, Bei Mühle Matzingen	TG	2.3.2019	38	4.3	36	0.0	3.5	3.4	3.7
CH_072_TG	Chemibach, Märstetten	TG	20.3.2019	22	2.9	65	0.0	4.1	4.0	3.7
CH_074_NW	Engelberger Aa, Oberdorf Ennerberg	NW	19.2.2019	23	3.5	52	0.0	1.2	1.7	2.2
CH_075_ZG	Lorze, Frauenthal	ZG	5.3.2019	36	4.1	46	1.2	4.2	3.6	4.8
CH_076_ZG	Lorze, Letzi	ZG	5.3.2019	14	1.3	89	0.0	3.5	2.1	2.9
CH_079_AG	Aabach, Niederlenz	AG	5.3.2019	28	3.9	46	0.2	3.7	3.3	3.8

Tabelle B1: Fortsetzung.

Taxazahl: Zahl der Taxa (Arten, Variationen)
 Diversität H: Diversität H nach Shannon & Weaver (1949), Berechnung als log mit Basis 2
 DS [%]: Dominanzsumme der relativen Häufigkeit der drei Taxa mit den höchsten Anteilen
 Teratologie [%]: Prozentualer Anteil an Teratologien (missbildete Schalen, 100 % = Anzahl total gezählte Schalen)
 DI-CH-Wert: Indexwert Kieselalgen gemäss BAFU Modul Kieselalgen Stufe F (BAFU 2007a) der Jahre 2012
 2015 und 2019. Farben = Zustandsklassen gemäss BAFU Modul-Stufen-Konzept in BAFU (2007a)

Messstelle	Gewässer, Ort	KT	Datum	Taxa- zahl 2019	Diver- sität H 2019	DS [%] 2019	Teratolo- gie [%] 2019	DI-CH 2019	DI-CH 2015	DI-CH 2012
CH_084_JU	Allaine, Boncourt	JU	21.3.2019	33	3.6	59	0.0	4.1	4.3	4.2
CH_085_NE	Areuse, Boudry, Brücke	NE	30.3.2019	21	2.1	86	0.2	1.3	1.6	3.1
CH_086_GE	Arve, Passerelle, E. de Médecine	GE	28.2.2019	35	3.9	52	0.4	4.5	3.8	2.8
CH_087_JU	Birs, Les Riedes-Dessus	JU	22.3.2019	35	3.6	60	0.2	2.5	3.5	3.2
CH_088_JU	Doubs, Ocourt, Pesses des Vernes	JU	1.4.2019	26	3.0	67	0.0	2.8	3.2	4.0
CH_089_SO	Dünnern, Olten, Hammer	SO	6.3.2019	23	2.8	66	0.0	3.3	3.3	4.1
CH_091_GR	Inn, S-chanf	GR	11.4.2019	21	3.4	49	0.0	1.5	1.9	1.7
CH_092_BE	Kander, Hondrich	BE	8.4.2019	10	1.4	95	0.0	3.5	1.6	2.9
CH_093_LU	Kleine Emme, Littau-Reussbühl	LU	23.3.2019	18	2.7	74	0.0	2.8	3.2	3.4
CH_094_BE	La Suze, Biel, Mitte vor Mündung	BE	1.4.2019	21	3.1	68	0.0	2.7	3.2	3.3
CH_095_GR	Landquart, Felsenbach	GR	21.2.2019	11	0.6	96	0.0	3.0	2.5	3.1
CH_098_TI	Maggia, Locarno, Solduno	TI	6.3.2019	27	3.7	58	0.0	1.3	1.1	1.4
CH_099_TI	Moesa, Lumino	TI	6.3.2019	31	3.2	66	0.0	1.6	1.2	2.8
CH_100_SZ	Muota, Wilerbrugg	SZ	25.2.2019	36	4.1	46	0.0	2.4	2.4	2.3
CH_101_UR	Reuss, Attinghausen, Allmeinigärtli	UR	23.2.2019	22	3.4	62	0.0	1.7	1.1	2.2
CH_106_BE	Saane, Marfeldingen	BE	24.3.2019	33	3.8	48	0.2	3.4	2.7	3.1
CH_107_FR	Sarine, Broc, Halte des Marches	FR	10.4.2019	27	2.2	80	0.2	2.0	1.8	1.8
CH_111_AG	Wigger, Zofingen	AG	6.3.2019	35	3.8	52	0.0	3.6	3.9	4.2
CH_114_BE	Emme, Emmenmatt, Mitte	BE	1.4.2019	18	1.8	86	0.0	1.8	2.3	3.0
CH_115_AI	Sitter, Appenzell	AI	24.4.2019	22	3.5	53	0.0	2.1	2.3	2.5
CH_119_NE	Seyon, Valangin	NE	2.4.2019	24	2.7	79	0.0	4.4	4.7	5.3
CH_123_TI	Maggia, Brontallo	TI	22.4.2019	20	1.7	91	0.0	1.2	1.1	1.6
CH_126_VD	Mentue, La Mauguettaz	VD	18.3.2019	28	3.2	65	0.0	3.8	4.3	4.6
CH_127_VD	Talent, Chavornay	VD	20.3.2019	25	2.8	80	0.0	3.4	5.3	5.7
CH_128_VD	Promenthouse, Le Rancho	VD	13.3.2019	20	2.6	82	0.0	1.5	2.1	3.1
CH_129_VD	Boiron de Morges, Lac	VD	13.3.2019	29	3.2	66	0.0	4.1	3.4	4.7
CH_130_VD	Aubonne, Allaman, Le Coulet	VD	13.3.2019	30	3.5	54	0.4	2.9	1.2	2.6
CH_131_VD	Veveyse, Vevey	VD	12.3.2019	23	3.2	61	0.0	2.3	2.0	3.5
CH_132_VD	Grande Eau, Aigle, Autoroute	VD	12.3.2019	25	3.6	45	0.0	1.7	1.6	2.2
CH_133_BE	Simme, Latterbach	BE	8.4.2019	17	2.9	68	0.0	1.7	1.2	1.5
CH_134_BE	La Birse, Choindez-Aval de la Roche	BE	20.3.2019	25	2.8	68	0.0	2.9	3.1	4.1
CH_135_AR	Urnäsch, Kubel, ob Sitter	AR	28.3.2019	16	2.8	67	0.0	2.5	2.9	2.8
CH_136_AG	Küntenerbach, Künten	AG	6.3.2019	24	3.6	53	0.0	3.6		
CH_137_AG	Möhlinbach, Zeiningen	AG	7.3.2019	19	3.3	58	0.0	3.5		
CH_138_BE	Chrümlißbach, Chüechumatt	BE	19.3.2019	38	3.9	55	0.0	3.5		
CH_139_BE	Ballmoosbach, Mettle, Waldrand	BE	19.3.2019	25	3.5	57	0.4	3.1		
CH_140_FR	Bainoz, La Vounaise	FR	18.3.2019	31	3.4	56	0.0	4.5		
CH_141_JU	Erveratte, La Pran	JU	21.3.2019	23	2.4	75	0.8	2.9		
CH_143_SG	Zapfenbach, OB RBK, Bernecker Riet	SG	27.3.2019	28	3.0	66	0.0	2.8		
CH_144_SG	Mittlerer Seegraben, Balgacher Riet	SG	27.3.2019	28	2.2	78	0.0	2.8		
CH_145_SH	Landgrabe, Trasadingen	SH	21.3.2019	32	3.6	54	0.0	4.7		
CH_146_SH	Beggingerbach, Beggingen, vor ARA	SH	6.3.2019	29	3.7	53	0.0	3.5	Keine Daten	
CH_147_TG	Eschelisbach, Moosburg	TG	24.3.2019	31	3.9	48	0.0	3.5		
CH_148_TG	Salmsacher Aach, Amriswil, vor ARA	TG	24.4.2019	20	2.2	82	0.0	3.4		
CH_149_TI	Vedeggio, Agno, Muzzano	TI	5.3.2019	38	3.7	61	0.0	2.7		
CH_150_VD	Ruisseau Gi, Amont Mauguettaz	VD	18.3.2019	32	3.1	71	0.2	4.3		
CH_151_VD	Le Combagnou, Pampigny, Le Selier	VD	10.4.2019	31	3.1	64	2.0	4.7		
CH_152_VS	Canal D'Uvrier, Aval STEP Uvrier	VS	22.3.2019	50	4.0	55	0.0	4.0		
CH_153_NE	Doubs, Saut du Doubs	NE	2.4.2019	33	3.3	61	0.0	3.7		
CH_154_LU	Ron, Hochdorf, Sempachstrasse	LU	24.4.2019	14	1.5	91	0.0	2.9		
Zusatzstellen										
CH_073_TG	Salmsacher Aach, S'sach	TG	19.3.2019	22	3.4	51	0.6	3.9	4.1	4.3
CH_116_LU	Ron, Hochdorf	LU	5.3.2019	30	3.9	43	0.0	4.0	4.3	4.8

Tabelle B2: Resultate der Qualitätssicherung: Zweitanzählung von NAWA SPEZ-Stellen der Periode 2018 und NAWA-TREND Stellen der Periode 2019.

Taxazahl: Zahl der Taxa (Arten, Variationen)
 Diversität H: Diversität H nach Shannon & Weaver (1949), Berechnung als log mit Basis 2
 DS [%]: Dominanzsumme der relativen Häufigkeit der drei Taxa mit den höchsten Anteilen
 Teratologie [%]: Prozentualer Anteil an Teratologien (missbildete Schalen, 100 % = Anzahl total gezählte Schalen)
 DI-CH-Wert: Indexwert Kieselalgen gemäss BAFU Modul Kieselalgen Stufe F (BAFU 2007a) der Jahre 2012 2015 und 2019. Farben = Zustandsklassen gemäss BAFU Modul-Stufen-Konzept in BAFU (2007a)

NAWA SPEZ 2018

Messstelle	Gewässer, Ort	KT	Datum	Taxa-zahl 2018	Diver-sität H 2018	DS [%] 2018	Teratolo-gie [%] 2018	DI-CH 2018
Spez_009_AI	Horstbach, Schwende	AI	18.7.2018	17	2.27	86	0.0	2.2
Spez_034_GE	Creuson, Collex-Bossy	GE	12.7.2018	24	2.65	69	0.0	4.6
Spez_077_TI	Laveggio, Mendrisio	TI	9.8.2018	37	2.84	71	0.2	4.2
Spez_087_VD	Petit Hongrin, Villeneuve	VD	15.7.2018	34	3.36	60	0.0	2.0
Spez_099_ZH	Lieburgerbach, Egg	ZH	12.7.2018	22	1.67	85	0.2	4.7

NAWA TREND 2019

Messstelle	Gewässer, Ort	KT	Datum	Taxa-zahl 2019	Diver-sität H 2019	DS [%] 2019	Teratolo-gie [%] 2019	DI-CH 2019
CH_060_BE	Sense, Thörishaus	BE	25.3.2019	22	2.25	81	0.0	2.1
CH_086_GE	Arve, Passerelle, E. de Médecine	GE	28.2.2019	32	3.96	45	0.0	4.3
CH_107_FR	Sarine, Broc, Halte des Marches	FR	10.4.2019	15	2.08	84	0.0	1.9
CH_127_VD	Talent, Chavornay	VD	20.3.2019	26	2.89	74	0.0	3.2
CH_145_SH	Landgrabe, Trasadingen	SH	21.3.2019	35	3.33	59	0.2	4.6

Anhang C1

Bericht der ID-Gene (2020) zum DI-CH_{molekular}

Autoren

Laure Apothéloz-Perret-Gentil and Jan Pawlowski (Université de Genève, ID-Gene ecodiagnosics).

Titel der Studie

Development of the Swiss Diatom Molecular Index with NAWA-TREND samples.

Bericht erstellt 7.2.2020 und im Auftrag des BAFU, Bern, 8 Seiten.

Genève, 07.02.20

Development of the Swiss Diatom Molecular Index with NAWA-TREND samples

Report prepared by
Laure Apothéloz-Perret-Gentil and Jan Pawlowski
(Université de Genève, ID-Gene ecodiagnosics),

The report commissioned by OFEV

Summary

Environmental DNA (eDNA) was extracted from 102 biofilm samples collected during the NAWA-TREND program during spring 2019. The eDNA samples were amplified using 18S diatom specific primers. The PCR amplicons were sequenced using Illumina high-throughput sequencing technology. In total, 9'884'619 good quality sequences were obtained and used to calculate the Swiss Diatom Molecular Index (DMI-CH). 510 Swiss samples were used as calibration dataset. Two molecular approaches (Taxonomy-free and Machine-learning) were used to predict DMI-CH and those results were compared to the morphological DI-CH obtained by AquaPlus AG. Machine-learning predictions of DMI-CH showed very strong correlation with the DI-CH. However, the present study also highlights the strong bias in the repartition of the sites in the Swiss dataset in favor of very good quality status samples.

Objectives

The aim of this project is to develop the Swiss Diatom Molecular Index (DMI-CH) based on DNA metabarcoding data. The index will be used to assess the ecological status of examined streams.

Material and Methodology

Sampling

Three replicates of 102 biofilm samples were collected by different companies during spring 2019 as part of the NAWA-TREND program (Tab. 1) and preserved in LifeGuard (Qiagen) preservation buffer.

NAWA-ID	BAFU-Mess-stellen-ID	Gewässer	Kanton
2	2885	Birs	BS
7	1876	Emme	BE
9	1291	Limpach	SO
11	1290	Lüssel	SO
12	5023	Sarner Aa	OW
14	1176	Reuss	LU
15	3938	Rhône	VS
16	4057	Vispa	VS
17	4070	Rhône	VS
18	3860	Drance	VS
20	1419	Venoge	VD
21	2129	Thielle	VD
22	1432	Broye	VD
23	1765	Steinach	SG
25	3006	Sitter	SG
26	2993	Thur	SG
27	2991	Necker	SG
28	3001	Glatt	SG
32	1357	Pfaffnern	AG
33	1388	Wyna	AG
34	1366	Bünz	AG
35	1373	Surb	AG
36	5309	Sissle	AG
39	2075	Suhre	AG
40	1053	Limmat	ZH
41	3627	Töss	ZH
42	1017	Sihl	ZH
43	1824	Glatt	ZH
44	1011	Glatt	ZH
45	1072	Aabach	ZH
46	1010	Aa	ZH
47	1020	Reppisch	ZH
48	3207	Jona	ZH
49	1064	Furtbach	ZH
50	1096	Thur	ZH
54	1779	Sionge	FR
56	1873	Engstlige	BE
58	2149	Chise	BE
59	1131	Gürbe	BE
60	1119	Sense	BE
62	1934	Urtenen	BE

63	1163	Langete	BE
65	1016	Sihl	ZH
66	1002	Töss	ZH
67	1307	Ergolz	BL
68	1504	Sorne	JU
69	6057	Scheulte	JU
70	4879	Murg	TG
71	3173	Lauche	TG
72	6059	Chemibach	TG
74	5045	Engelberger Aa	NW
75	1265	Lorze	ZG
76	1264	Lorze	ZG
79	1365	Aabach	AG
84	1514	Allaine	JU
85	1476	Areuse	NE
86	1556	Arve	GE
87	1497	Birs	JU
88	2032	Doubs	JU
89	1288	Dünnern	SO
91	2064	Inn	GR
92	2022	Kander	BE
93	1181	Kleine Emme	LU
94	1154	La Suze	BE
95	1988	Landquart	GR
98	2035	Maggia	TI
99	2033	Moesa	TI
100	6058	Muota	SZ
101	4922	Reuss	UR
106	1912	Saane	BE
107	2025	Sarine	FR
111	1387	Wigger	AG
114	1162	Emme	BE
115	4409	Sitter	AI
119	1458	Seyon	NE
123	6060	Maggia	TI
126	2119	Mentue	VD
127	2127	Talent	VD
128	2123	Promenthouse	VD
129	2103	Boiron de Morges	VD
130	1536	Aubonne	VD
131	1528	Veveyse	VD
132	2115	Grande Eau	VD
133	1919	Simme	BE
134	1494	La Birse	BE
135	2995	Urnäsch	AR
136	6257	Küntenerbach	AG
137	6258	Möhlinbach	AG
140	6261	Bainoz	FR
141	6262	Erveratte	JU
143	4331	Zapfenbach	SG
144	6263	Mittlerer Seegraben	SG
145	6264	Landgrabe	SH
146	6265	Beggingerbach	SH
147	6266	Eschelisbach	TG
148	6267	Salmsacher Aach	TG
149	3206	Vedeggio	TI

150	6268	Ruisseau Gi	VD
151	6269	Le Combagnou	VD
152	6270	Canal D'Uvrier	VS
153	6271	Saut du Doubs	NE
154	6272	Ron	LU

In the laboratory, eDNA was extracted from the biofilm using the DNeasy PowerBiofilm kit (Qiagen). DNA extracts were stored at -20°C.

All samples were amplified in triplicate using 18S primers specific to diatom. The PCR replicates were pooled and quantified. Then equimolar quantities of each sample were combined into two libraries and sequenced using Illumina high-throughput sequencing Miseq platform.

Detailed description of the conditions of PCR amplification and high-throughput sequencing are presented in Annex 1 at the end of the text.

Results and Discussion

In total, 9'884'619 high-quality 18S sequences were obtained for all the samples ranging from 1'195 (sample 76) to 243'042 (sample 150) with a median value of 100'342. Five samples count less than 5'000 reads (samples 72, 76, 101, 106, 134) due to technical issues. Due to the low sequencing depth, it may be interesting to redo those samples for further analysis to validate their prediction.

The biological qualities of the 102 samples were calculated based on the Swiss diatoms index (DI-CH) following two methodologies that were not dependent on reference taxonomic database. The first one is the **taxonomy-free** approach developed in Apothéloz-Perret-Gentil et al., 2017. This method calculates the ecological values D and G used in the DI-CH directly from the sequences according to their relative abundance in the different samples. The other method is based on **machine-learning** algorithms developed by Cordier et al., 2017. For both methods, we need a training dataset. The morphological DI-CH for the NAWA TREND 2019 samples were calculated by AquaPlus AG and added to our training dataset, increasing it to 508 samples (hereafter rounded 510) from Switzerland and cross-border area in France. Therefore two training dataset were tested: **Training 400** with NAWA SPEZ 2018 samples (cf report on NAWA SPEZ 2018 campaign) and **Training 510** including the NAWA TREND samples. The Figure 1 shows the repartition of the samples from the training set according to the five classes described in the Swiss Diatom Index (DI-CH) and the correlation of the calculated machine-learning index with the morphological DI-CH. The Figure 2 shows the geographic repartition of the samples in the training dataset. Finally both set of predictions were compared to the previous report with 300 samples in the training dataset.

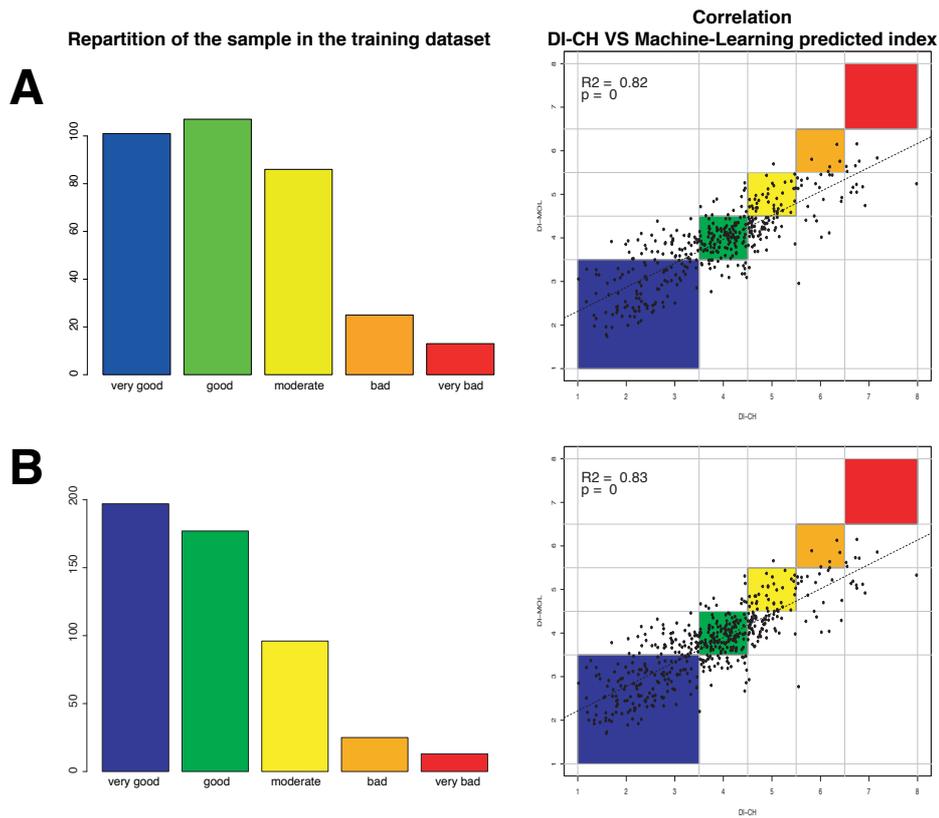


Fig. 1. Repartition of the samples in the training dataset and comparison with the morphological index for training dataset without (A - Training 400) or with (B - Training 510) NAWA TREND 2019 samples.

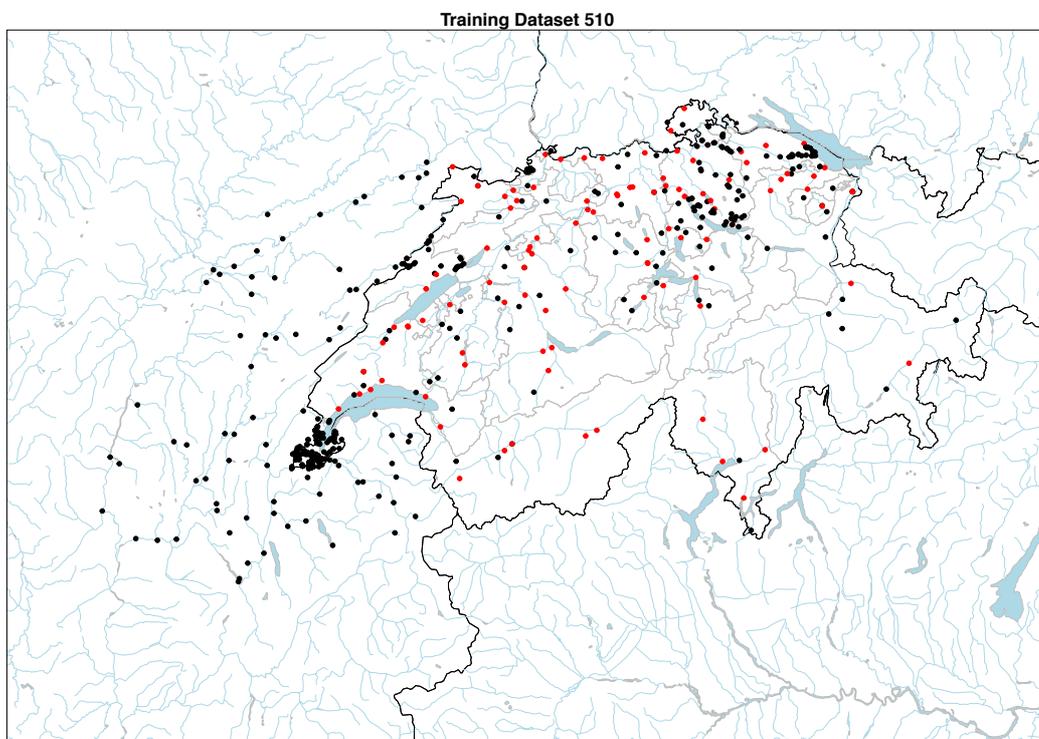


Fig. 2. Geographical repartition of the samples in the training dataset. NAWA TREND 2019 samples are shown in red.

As shown in the Figure 1, the NAWA TREND 2019 samples confirm a good correlation between the molecular and the morphological index. This campaign is a great improvement in term of geographical repartition and coverage of the samples used for calculation of DMI-CH (Figure 2). However, as most of NAWA TREND 2019 samples were of very good quality status, this reinforced the bias in the distribution of sites in the training dataset and limited the improvement in prediction of bad and very bad quality sites.

ID_NAWA	DICH (AquaPlus)	Machine Learning prediction Training510	Machine Learning Prediction Training400	Taxonomy-Free Training400	Taxonomy-Free Training300 (previous report)	ID_NAWA	DICH (AquaPlus)	Machine Learning prediction Training510	Machine Learning Prediction Training400	Taxonomy-Free Training400	Taxonomy-Free Training300 (previous report)
2	3.73	3.47	3.76	3.03	3.79	75	4.16	3.23	3.40	4.59	4.81
7	2.73	2.53	2.45	3.14	3.79	76	3.45	2.74	3.04	3.35	3.84
9	3.84	3.69	3.96	3.69	4.13	79	3.66	3.68	3.73	3.69	4.16
11		2.84	2.88	2.92	2.64	84	4.01	3.78	3.86	4.28	4.98
12	2.15	2.84	2.69	3.20	3.66	85	1.27	3.37	3.57	3.18	3.54
14		3.15	3.44	2.92	4.01	86	4.47	2.86	3.20	3.58	4.58
15	1.56	2.54	3.33	3.99	1.73	87	2.52	3.10	3.31	3.70	3.15
16	1.89	2.79	2.97	3.16	3.95	88	2.77	3.10	3.51	4.01	3.85
17		2.89	3.24	3.39	4.49	89	3.34	3.18	3.47	3.28	4.21
18	1.54	2.52	3.04	3.16	3.27	91	1.46	1.95	2.12	2.48	3.49
20		3.55	3.61	4.20	4.49	92	3.51	2.20	2.35	2.66	3.78
21	3.31	3.95	3.86	4.25	4.82	93	2.77	2.33	2.44	2.72	3.52
22	4.23	3.86	3.97	4.54	4.67	94	2.72	3.52	3.64	3.93	4.21
23	3.88	4.01	4.31	4.45	4.93	95	3.03	2.36	3.07	2.21	3.63
25	2.43	3.14	3.57	3.38	4.05	98		2.15	2.91	2.67	3.22
26	3.46	2.99	3.22	2.59	3.25	99	1.58	2.05	2.81	2.74	3.42
27	3.59	3.12	3.35	2.63	3.53	100	2.99	2.44	3.20	4.17	4.12
28		3.93	4.09	4.22	4.41	101	1.72	2.55	3.10	4.50	4.99
32	4.38	3.62	3.97	3.79	4.65	106	3.33	2.59	2.95	3.44	3.69
33	3.96	3.78	4.00	4.22	4.14	107	2.04	2.18	2.22	2.78	3.51
34	4.23	3.90	4.10	4.10	4.01	111	3.59	3.37	3.52	3.98	4.18
35	3.86	4.22	4.57	4.24	4.24	114	1.79	2.18	2.17	2.36	2.59
36	3.29	3.47	3.40	3.30	3.44	115	2.13	2.03	2.15	3.00	2.85
39	4.23	3.93	4.01	3.74	4.32	119	4.41	3.67	3.91	4.32	4.66
40	2.96	2.72	2.82	3.84	3.90	123	1.2	2.18	2.99	2.84	3.39
41	3.25	3.35	3.73	3.83	4.12	126	3.75	3.69	4.00	4.48	4.72
42	3.55	3.28	3.14	4.08	4.45	127	3.35	3.87	4.04	4.84	4.90
43		4.10	4.26	4.83	4.97	128	1.46	2.95	3.05	3.28	3.73
44	3.21	4.06	3.98	3.97	4.65	129	4.07	3.75	4.06	4.54	4.33
45	3.49	3.77	3.94	4.25	3.91	130	2.87	2.94	2.99	4.24	4.08
46	3.78	4.13	4.21	3.94	4.73	131	2.25	2.58	2.83	3.60	3.75
47	3.63	3.84	4.10	4.09	4.73	132	1.73	2.70	3.22	2.65	3.80
48	3.6	3.22	3.17	4.16	3.93	133	1.65	2.00	2.12	1.92	4.47
49		3.72	4.02	3.35	4.19	134	2.94	3.19	3.56	3.80	4.14
50	3.92	3.42	3.54	4.43	4.58	135	2.55	2.72	2.74	2.78	3.49
54	2.68	3.32	3.39	3.68	3.90	136	3.64	3.36	3.57	3.86	3.45
56		2.30	3.04	1.76	4.79	137	3.52	3.40	3.56	3.32	3.77
58	3.95	3.58	3.81	3.95	4.15	140	4.52	3.97	4.05	3.79	4.26
59	2.48	2.62	2.68	3.35	3.58	141	2.9	3.10	3.17	4.05	3.81
60	1.79	2.55	2.65	3.39	3.72	143	2.76	4.15	4.23	4.15	4.79
62	3.67	3.49	3.74	3.92	4.30	144	2.79	3.73	3.84	3.77	3.85
63	2.78	3.66	4.17	3.52	4.26	145	4.67	4.33	4.60	4.86	4.98
65	2.25	3.05	3.06	2.44	3.63	146	3.47	3.72	3.85	4.15	4.39
66	3.05	3.04	2.87	3.35	3.76	147	3.52	3.96	4.21	3.33	3.62
67	3.48	3.69	4.22	3.92	4.29	148	3.44	3.96	4.11	4.14	4.04
68	1.96	2.71	2.75	3.32	3.18	149	2.27	3.54	3.86	3.99	3.63
69	2.09	2.54	2.40	2.74	2.83	150	4.28	3.96	3.99	4.12	4.57
70	4.21	3.68	4.07	4.17	4.21	151		4.37	4.51	3.94	4.26
71	3.54	3.79	3.98	4.04	3.87	152	3.99	3.63	3.75	3.36	4.41
72	4.08	3.35	3.65	3.77	4.42	153	3.68	3.40	3.75	3.71	4.49
74	1.23	2.00	2.03	2.69	3.01	154	2.92	3.88	4.11	4.35	4.10

Fig. 2. Values of predicted index for the 102 samples calculated with the traditional morphology (DI-CH), the machine-learning algorithm (ML) and with the taxonomy-free molecular index (Tax-free). For each method, the training dataset used to calibrate the prediction is indicated (Training 300, 400 or 510). Colours correspond to classes from the morphological DI-CH index.

Predictions of the preliminary report (Taxonomy-free Training 300) were similar to the DI-CH for 37 samples, differed by one class in 50 samples and by two classes in 5 cases. Those results were improved when using more complete training datasets. The best correlation was given by the machine-learning method with the training dataset 400 (including NAWA SPEZ samples but not the NAWA TREND samples) for which 66 samples were similar to the DI-CH and 26 differed by one class only (Fig. 5B). Regardless of the training dataset, **no sample showed more than one class difference** with the morphology using the machine-learning approach. In total, 57

samples showed the same ecological status for morphology and both machine-learning methods (with 400 and 510 training dataset). 4 samples were the same for machine-learning 510 and morphology and 9 were retrieved with machine-learning 400. For 20 samples, no machine-learning prediction retrieved the same ecological status than morphology.

The Figure 5A showed the difference between the four predicted molecular indices and the morphological DI-CH in term of value and not quality classes. A global observation shows that taxonomy-free methods are shifted to the right of the plot, which means that the predicted values are often higher than the morphological DI-CH. Machine-learning predictions are more accurate, however the ones with the complete training dataset (510) tend to underestimate the index (slight shift to the left of the plot). For 10 samples, the morphological DI-CH value was kept hidden to test the molecular index. Both machine-learning predictions (training 400 and 510) gave the same ecological status for 9 out of 10 samples (5 very good and 4 good). For the last sample, even if the class change between the two training datasets, the values given by the prediction are very close to each other (4.37 and 4.51).

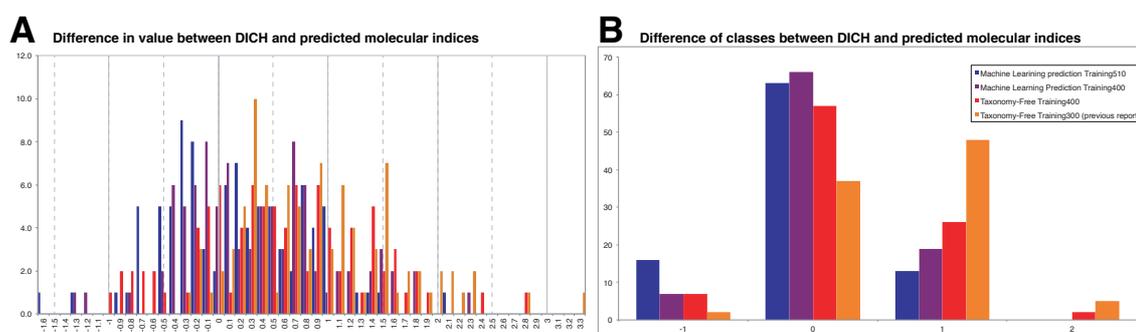


Fig. 3. Differences in value (A) and in class (B) between the morphological DI-CH and the predicted molecular index.

THE LEGEND IS DIFFICULT TO READ

Conclusions

Two innovative molecular approaches bypassing the taxonomic identification of the sequences were used in this study to calculate Diatom Molecular Index (DMI-CH). The taxonomy-free, already used in the preliminary report and the machine-learning. Both methods gave very good results compared to the morphological DI-CH. The majority of samples are assigned to the same ecological status, whatever molecular approach has been used. The machine-learning method showed better results than taxonomy-free approach for the training dataset 400 in all aspects. However, machine-learning predictions with the complete training dataset tend to underestimate the index value; this is probably due to the strong bias towards good and very good ecological quality sites in the training dataset. It would be necessary to add bad and very bad sites to the dataset to improve the predictions given by the diatom molecular index.

Annex 1. Methodology

DNA extraction, PCR amplification, high-throughput sequencing. Each replicate was extracted using the DNeasy PowerBiofilm kit (Qiagen) according to the manufacturer's instructions. DNA extracts were stored at -20°C until PCR amplifications. We used the 18S V4 primer specific for diatom and PCR condition from Visco et al., 2015.

For each sample, 3 PCR reactions were performed. A negative control was performed for each sample. Tagged primers bearing 8 nucleotides attached at each primer's 5'-extremity were used to enable multiplexing of all PCR products in a unique sequencing library (Esling et al. 2015).

All PCR replicates were pooled and quantified with capillary electrophoresis using QIAxcel instrument (Qiagen). Equimolar concentrations of PCR products were pooled for each library and purified using High Pure PCR Product Purification kit (Roche Applied Science). The library preparation was performed using Illumina TruSeq® DNA PCR-Free Library Preparation Kit. The libraries were then quantified with qPCR using KAPA Library Quantification Kit and sequenced on a MiSeq instrument using paired-end sequencing for 500 cycles with standard kit v2.

High-throughput sequencing (HTS) data analysis. Raw FASTQ reads were quality-filtered by removing any sequence with a mean quality score of 30, and also removing all sequences with ambiguous bases or any mismatch in the tagged primer. These extremely stringent parameters ensure that we keep only high-quality reads. Then, paired-end reads were assembled by aligning them into a contiguous sequence with highest similarity. Chimera removing, strict dereplication and the OTUs clustering at 98% were performed using vsearch. For assignation, a vsearch assignment on a local database was performed. Two local databases were used, one for the taxonomic assignment with curated 18S sequences from NCBI and R::syst databases and the second one with the molecular ecovalues calculated from our swiss molecular dataset for the taxonomy-free prediction according to the method developed in Apothéloz-Perret-Gentil et al., 2017.

Bibliography:

- Apothéloz-Perret-Gentil L, Cordonier A, Straub F, Iseli J, Esling P, Pawlowski J. (2017) Taxonomy-free molecular diatom index for high-throughput eDNA biomonitoring. *Mol Ecol Resour.* 17: 1231-1242.
- Esling P, Lejzerowicz F, Pawlowski J. (2015) Accurate multiplexing and filtering for high-throughput amplicon-sequencing. *Nucleic Acids Res.* 43(5):2513-2524.
- Visco JA, Apothéloz-Perret-Gentil L, Cordonier A, Esling P, Pillet L, Pawlowski J. (2015) Environmental Monitoring: Inferring the Diatom Index from Next-Generation Sequencing Data. *Environ Sci Technol.* 49(13):7597-605.