



ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT UNR

**MONITORING BELLACHER WEIHER - UNTERSUCHUNGEN DES NÄHRSTOFF-
HAUSHALTES UND DES BIOLOGISCHEN ZUSTANDES**

Bachelorarbeit

Florence Woodtli

Bachelorstudiengang 2013

Abgabedatum 06.04.2017

Umweltingenieurwesen

Fachkorrektoren:

ZFH Gufler, Christa

ZHAW LSFM IUNR Forschungsgruppe Ökohydrologie, Grüental Postfach, CH-8820 Wädenswil

ETH Gees, Cristian

ZHAW LSFM IUNR Forschungsgruppe Ökohydrologie, Grüental Postfach, CH-8820 Wädenswil

Impressum

Schlagworte: Bellacher Weiher, Chemisch-physikalische Wasserqualität, Biologische Qualität, Biodiversitätsindex, IBEM, CIEPT

Keywords: Bellacher Weiher, chemical-physical waterquality, biological quality, biodiversity index, IBEM, CIEPT

Zitiervorschlag:

Woodtli F., (2016). Monitoring Bellacher Weiher – Untersuchungen des Nährstoffhaushaltes und des biologischen Zustandes. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW, Wädenswil 41 S.

Kontakt:

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Life Sciences and Facility Management
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
Grüntal, Postfach CH-8820 Wädenswil

Telefon: +41 (0)58 934 50 00

Autorin:

Florence Woodtli
Grundstrasse 67
8712 Stäfa
Email: florence.woodtli@bluewin.ch

Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit wurde der chemisch-physikalische und biologische Ist-Zustand des Bellacher Weihers im Jahr 2016 ermittelt sowie der Zeitverlauf der chemisch-physikalischen Wasserqualität von 2009 bis 2016 untersucht und mit anderen Weihern in der Schweiz verglichen. Zur Beurteilung der chemisch-physikalischen Wasserqualität wurden verschiedene Referenzwerte aus der GSchV (1998), vom Zürcher AWEL (Niederhauser et al., 2006) und weiterer Literatur (LAWA, 1998, Oertli & Frossard, 2013, Vollenweider OECD, 1982, Menetrey, 2016) herbeigezogen. Der biologische Zustand wurde mit Hilfe der Biodiversitätsindizes IBEM (Indermühle et al., 2008) und CIEPT (Menetrey et al., 2011) bestimmt. Die Diversität der Organismengruppe Makrozoobenthos wurde mittels Shannon-Index (Shannon, 1948), Evenness (Pielou, 1966) und Simpson-Index (Simpson, 1949) charakterisiert.

Die Jahresmittel der Total-Phosphor-Konzentrationen (mg/l P) des Bellacher Weihers liegen in den Jahren 2010, 2012, 2013, 2014 und 2016 bei oder unterhalb und in den Jahren 2009, 2011 und 2015 über dem Zielwert von 0.040 mg/l P des AWEL (Niederhauser et al., 2006) für natürlicherweise eutrophe Seen und erfüllen die Qualitätsanforderungen in 5 von 8 Jahren. Die Sauerstoff-Konzentration des Bellacher Weihers lag während der Messreihe 2016 bei allen Standorten (Zufluss, Weihermitte, Abfluss) und allen Tiefenmessungen der Weihermitte (50 cm, 100 cm, 150 cm) immer über 4 mg/l O₂ und während der Messreihe 2009 bis 2016 immer bei oder über 4 mg/l O₂ und erfüllte somit die Anforderungen der GSchV (1998). Im Vergleich zu anderen Weihern in der Schweiz (Kanton Zürich und Bern) befindet sich der Bellacher Weiher hinsichtlich der Total-Phosphor-Konzentration (mg/l P) und der Sauerstoff-Konzentration (mg/l O₂) in einem guten chemisch-physikalischen Zustand. Der Bellacher Weiher weist jedoch immer noch sehr hohe Nitrat- und Total-Stickstoff-Konzentrationen auf.

Der Biodiversitätsindex IBEM (Indermühle et al., 2008) bewertet den biologischen Zustand des Bellacher Weihers im Jahr 2016 als gut für die Makrophyten, als unbefriedigend für die Gastropoda, als gut für die Coleoptera und als gut für die Odonata. Die Gesamtbewertung des Bellacher Weihers fällt in die Kategorie gut. Der Biodiversitätsindex CIEPT (Menetrey et al., 2011) bewertet den biologischen Zustand des Bellacher Weihers im Jahr 2016 als mässig. Insgesamt wurden im Bellacher Weiher 35 Taxa Makrozoobenthos (Bestimmungsniveau Familienebene ausgenommen Coleoptera bis Gattungsebene) und 2084 Individuen bestimmt. Der Shannon-Index beträgt 3.40, der Evenness 0.66 und der Simpson-Index 0.86. Der biologische Zustand fällt mit der Gesamtbewertung gut anhand der IBEM-Methode (Indermühle et al., 2008) in eine häufig vorkommende Kategorie in der Schweiz und weist hinsichtlich des Makrozoobenthos mehr Taxa als in vergleichbaren Kleinseen im Kanton Bern auf (Guthruf et al., 2015).

Abstract

In this bachelor thesis, the chemical-physical and biological condition of the pond 'Bellacher Weiher' has been examined for the year 2016. Additionally the chemical-physical water quality in progression of time has been determined for a series of measurements for the years 2009 until 2016. The water quality has been assessed by comparing different parameters to reference values of the GSchV (1998), the AWEL of Zurich (Niederhauser et al., 2006) and the literature (LAWA, 1998, Oertli & Frossard, 2013, Vollenweider OECD, 1982, Menetrey, 2016). The biological condition has been determined by the biodiversity indices IBEM (Indermühle et al., 2008) and CIEPT (Menetrey et al., 2011). The diversity for the group of macroinvertebrates has been characterized by the Shannon-index (Shannon, 1948), Evenness (Pielou, 1966) and Simpson-index (Simpson, 1949).

The annual mean of the total phosphorous concentration (mg/l P) of the Bellacher Weiher lays in 2010, 2012, 2013, 2014 and 2016 by or under and in 2009, 2011 and 2015 over the limit value of 0.040 mg/l P of the AWEL (Niederhauser et al., 2006) for naturally eutrophic lakes and meets the requirements in 5 out of 8 years (category good). The oxygen concentration of the Bellacher Weiher has been higher than 4 mg/l O₂ at all locations (inflow, middle, drain) and in all depths (50 cm, 100 cm, 150 cm) of the middle of the pond during the year 2016 and higher or equal than 4 mg/l O₂ during the series of measurements from 2009 to 2016 and so meets the requirements of the GSchV (1998) at any time. Compared to other ponds in Switzerland (canton Zurich, Bern), the Bellacher Weiher is in a good chemical-physical condition referred on the total phosphorous concentration (mg/l P) and oxygen concentration (mg/l O₂). Nevertheless, the nitrat and total nitrogen concentrations are still very high.

For 2016 the biodiversity index IBEM (Indermühle et al., 2008) rates the biological condition of the Bellacher Weiher good for macrophytes, insufficient for Gastropoda, good for Coleoptera and good for Odonata. The biological condition of the Bellacher Weiher is good in the total evaluation. The biodiversity index CIEPT (Menetrey et al., 2011) rates the biological condition as moderate. In total, 35 taxa of macroinvertebrates (level of determination family, Coleoptera genre) and 2084 individuals have been determined. The Shannon-index values 3.40, the Evenness 0.66 and the Simpson-index 0.86. The total evaluation of a good biological condition by the IBEM method (Indermühle et al., 2008) is a frequent case in Switzerland. Compared to other ponds in the canton Bern, in the Bellacher Weiher exist more different Taxa of macroinvertebrates (Guthruf et al., 2015).

Danksagung

Für die Unterstützung während der Erarbeitung meiner Bachelorarbeit im Rahmen des Studiums Umweltingenieurwesen möchte ich mich bei folgenden Personen und Institutionen herzlich bedanken:

- Christa Gufler für die ausserordentlich gute Betreuung und Unterstützung während der Erarbeitung meiner Bachelorarbeit sowie die motivierenden Worte und hilfreichen Anregungen.
- Cristian Gees für die Betreuung während den Probenahmen und den Laboranalysen sowie den hilfreichen Ratschlägen zum Statistik-Programm R.
- Adrian Nufer von NuferScience und dem Amt für Umwelt AFU Solothurn für die Bereitstellung der Daten zur Wasserqualität der Messreihe 2009 bis 2016.
- Thomas Stöckli für die Benutzung des Bootes und die wertvollen Anregungen bei Gesprächen.
- Sabine Schilling für die wertvollen Anregungen in der Statistikberatung und dem Statistik-Programm R.
- Konstantin Wullschleger für die treue Begleitung und Unterstützung bei den Probenahmen auf dem Bellacher Weiher.
- Felix Woodtli und Karin Oswald für die Bereitstellung eines Autos für die Probenahmen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Material und Methoden.....	3
2.1 Untersuchungsgebiet.....	3
2.2 Chemisch-physikalischer Zustand.....	5
2.3 Biologischer Zustand.....	11
3. Resultate.....	18
3.1 Chemisch-physikalischer Zustand 2016.....	18
3.2 Chemisch-physikalischer Zustand 2009 bis 2016.....	22
3.3 Biologischer Zustand.....	24
4. Diskussion.....	27
4.1 Chemisch-physikalischer Zustand.....	27
4.2 Chemisch-physikalischer Zustand im Vergleich zu anderen Gewässern.....	29
4.3 Biologischer Zustand.....	32
4.4 Biologischer Zustand im Vergleich zu anderen Gewässern.....	35
4.5 Ausblick.....	35
4.6 Fazit.....	36
5. Literaturverzeichnis.....	38
Anhangsverzeichnis.....	1

1. Einleitung

Die Belastung von Schweizer Gewässern durch Nährstoffe nahm nach 1945 aufgrund der intensivierten Landwirtschaft und dem Einsatz von Waschmitteln stark zu. Seit den siebziger Jahren bemüht sich die Schweiz die überdüngten Zustände zu minimieren (Liechti, 1994). Im Gewässerschutzgesetz GSchG (1991) und der Gewässerschutzverordnung GSchV (1998) ist der Schutz der Gewässer gesetzlich verankert (GSchV, 1998). Fliessgewässer sind heute hinsichtlich ihres chemisch-physikalischen Zustandes sehr gut untersucht und überwacht. Das Modulstufenkonzept zur standardisierten Untersuchung und Beurteilung der chemisch-physikalischen Wasserqualität von Fliessgewässern wird schweizweit angewendet (Liechti, 2010). Grosse Seen werden ebenfalls regelmässig untersucht und überwacht, standardisierte Vorgaben fehlen jedoch bisher weitgehend. Die aktuelle Ausarbeitung eines Modulstufenkonzepts zur standardisierten Untersuchung und Beurteilung von Seen soll dem entgegenwirken (Schlosser et al., 2013). Stehende Kleingewässer werden hingegen, wenn überhaupt, nur sporadisch beprobt. Standardisierte Vorgaben und Referenzwerte fehlen weitgehend (Guthruf et al., 2015).

Stillgewässer bieten in der Natur- und Kulturlandschaft wichtige Lebensräume und Trittsteine für verschiedenste Pflanzen- und Tierarten (Schlosser et al., 2013). Weiher oder Teiche beherbergen 88 % der einheimischen Wasserpflanzen, 66 % der einheimischen Wasserschnecken, 72 % der einheimischen Libellen und 84 % der einheimischen Wasserkäferarten (Oertli et al., 2005). Sie sind nach Flüssen der zweitwichtigste Lebensraum für Makroinvertebraten (Angelibert et al., 2007). Für den Menschen haben sie zusätzlich eine Bedeutung als Erholungsraum und Landschaftselement (Schlosser et al., 2013). Vielen Kleinseen und Weihern droht heute die Verlandung durch Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft oder der Siedlungsentwässerung. Trotz diverser Massnahmen konnten bei zehn untersuchten Kleinseen im Kanton Bern innerhalb von 20 Jahren keine Verbesserungen in der Wasserqualität nachgewiesen werden. Ein Grund dafür ist die Eigendüngung aus dem sedimentierten Material. Die Verlandung konnte bei einigen Kleinseen verlangsamt, jedoch nicht gestoppt werden (Guthruf et al., 2015). Auch im Kanton Zürich ist die Situation einiger Kleinseen unbefriedigend. Die Gewässer sind mit Nitrat aus der Landwirtschaft sowie Pestiziden und anderen Mikroverunreinigungen belastet (Knecht, 2010).

Der seit 1945 unter kantonalem Naturschutz stehende Bellacher Weiher im Kanton Solothurn ist das einzige stehende Gewässer in der Region und von grosser Bedeutung für die Artenvielfalt. Dem Weiher drohte ohne Sanierungsmassnahmen die Verlandung und damit zu einem Verlust eines wertvollen Biotops. Aus diesem Grund entschied sich die Familie Stöckli,

auf dessen Privatgrund sich der Weiher befindet, zu einer Sanierung des Weihers und startete das Pilotprojekt ‚Sanfte Sanierung‘. Anstatt der sonst üblichen Massnahmen wie das Absaugen oder Belüften des Weihers entschieden sich Laura und Thomas Stöckli für die Anwendung von Plocher-Produkten (Nufer, 2014). Seit 2004 wird regelmässig informiert Plocher-Quarzmehl auf der Seeoberfläche verteilt, welches biokatalytische Prozesse aktivieren soll (Stöckli, 2007). Im Jahr 2010 startete zusätzlich zur Weiherbehandlung ein Landwirtschaftsprogramm mit allen Landwirten des Einzugsgebietes, nachdem sich die Situation im Bellacher Weiher nicht massgeblich verbessert hatte. Die Bauern fügen ihrem Mist ebenfalls Plocher-Produkte bei, welches zu einer geringeren Auswaschung der Nährstoffe in Oberflächen- und Drainagegewässer führen soll (Nufer, 2014).

Der chemisch-physikalische Zustand des Bellacher Weihers wird seit 2009 mit regelmässigen Messungen der Wasserqualität durch das Amt für Umwelt AFU Solothurn ermittelt. Diese werden in den Jahren 2016 und 2017 von der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW ergänzt. Die ZHAW untersucht im Jahr 2016 zudem den biologischen Zustand des Weihers. Die Gemeinden Bellach, Lommiswil und Selzach, der Kanton Solothurn sowie der naturemade star Fonds und das Kraftwerk Ruppoldingen der Alpiq Hydro Aare AG unterstützen das Projekt finanziell (Nufer, 2015).

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, (i) den chemisch-physikalischen und (ii) biologischen Ist-Zustand des Bellacher Weihers im Jahr 2016 zu ermitteln sowie (iii) den Zeitverlauf der Wasserqualität von 2009 bis 2016 zu untersuchen. Zur Bewertung der chemisch-physikalischen Wasserqualität werden verschiedene Referenzwerte aus der GSchV (1998), dem Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich AWEL (Niederhauser et al., 2006) und weiterer Literatur (LAWA, 1998, Oertli & Frossard, 2013, Vollenweider OECD, 1982, Menetrey, 2016) herbeigezogen. Der biologische Zustand wird mit Hilfe der Biodiversitätsindizes IBEM (Indermühle et al., 2008) und CIEPT (Menetrey et al., 2011) bestimmt. Der Bellacher Weiher wird hinsichtlich des chemisch-physikalischen und biologischen Zustandes (iv) mit anderen Weihern in der Schweiz verglichen.

2. Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

Der Bellacher Weiher wurde im Jahr 1456 durch den Kanton Solothurn künstlich erschaffen. Durch den Bau eines massiven Erdwalls und die Aufstauung des Baches entstand ein Fischweiher (Imhof, 1987), der die Stadt Solothurn mit Fisch und frischem Eis versorgen sollte (Horisberger et al., 2004). Der Bellacher Weiher befindet sich in der Gemeinde Bellach im Kanton Solothurn und umfasst eine Fläche von rund 3.3 ha (Abbildung 1). Im Jahr 2004 betrug die Messung der tiefsten Stelle 2.2 m (Nufer, 2014), 1986 mass diese noch mindestens 2.6 m (Imhof, 1987). Das Einzugsgebiet umfasst 3.78 km², welches sich auf den Gemeinden Bellach, Selzach und Lommiswil befindet. Das Einzugsgebiet entfällt auf Landwirtschaftsland (1.85 km², 49 %), Wald (1.6 km², 42.5 %), Siedlungsfläche (0.27 km², 7.1 %), Gewässer (0.15 km², 1.1 %) und unproduktive Flächen (0.01 km², 0.3 %) (BAFU, 2016). Das Landwirtschaftsland wird von 18 Bauern bewirtschaftet (Nufer, 2014).

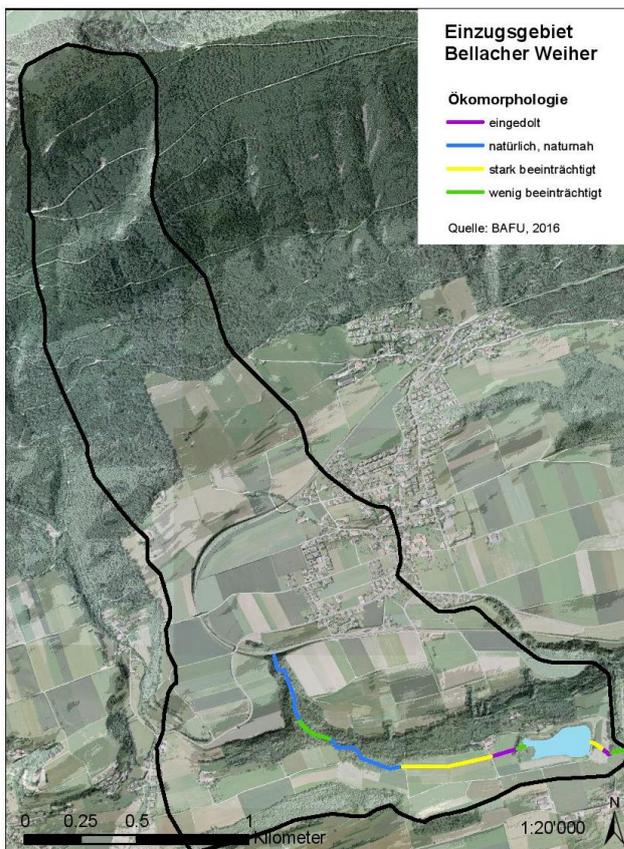


Abbildung 1: Einzugsgebiet Bellacher Weiher (schwarze ausgezogene Linie) und ökomorphologische Bewertung gemäss Modulstufenkonzept MSK Fliessgewässer (Hütte & Niederhauser, 1998) des Chalenbaches. Violett (eingedolt), blau (natürlich), grün (wenig beeinträchtigt), gelb (stark beeinträchtigt), rot (naturfremd, künstlich) (BAFU, 2016; Woodtli, 2016).

Das Einzugsgebiet des Bellacher Weihers befindet sich auf einer Moränenablagerung und wurde durch die Vergletscherung geprägt. Der Boden ist tiefgründig und hat ein gutes Nährstoff- und Wasserspeichervermögen sowie eine gute Wasserdurchlässigkeit (BAFU, 2016). Als Bodentypen dominieren Parabraunerde und pseudovergleyte Parabraunerde. Der Boden ist aufgrund der darunterliegenden Molasseschicht, die als Stauleiter funktioniert, stellenweise vernässt (Imhof, 1987). Der nördliche Uferbereich des Bellacher Weihers ist ein Kernfeuchtgebiet (BAFU, 2016).

Das Gebiet wird durch ein pluvial-jurassisches Abflussregime geprägt (BAFU, 2016). Dabei sind die Winter- und Frühjahrsmonate die abflussstärksten Monate, da der Niederschlag im Winter überwiegend in flüssiger Form fällt und der Abfluss nicht durch Schnee verzögert wird. Im Spätsommer hingegen herrscht aufgrund der hohen Verdunstung während der Vegetationsperiode oft Niedrigwasser (Aschwanden & Weingartner, 1985). Der Zufluss des Bellacher Weihers ist durch das kalkhaltige Grundgestein des Jura sowie die sand- und silt- bis tonhaltigen Moränenablagerung in der Ebene karbonatisch (BAFU, 2016).

Der Bellacher Weiher wird hauptsächlich durch den westlich liegenden Chalenbach, der auf Lommiswiler Gemeindeboden entspringt, gespeisen. Das umliegende Landwirtschaftsland wird seit dem 19. Jahrhundert drainiert. Auf der Ostseite des Weihers fließt der Abfluss nach circa 100 m in den Haltenbach. Neben dem Zufluss wird der Weiher zusätzlich durch die Restwassermenge des Grundwasserpumpwerks Weiher im Seuset und Sickerwasser gespeisen. Nach Regentagen ist dieser Sickerwassereintrag besonders hoch und teilweise von Auge erkennbar (Horisberger et al., 2004). An mehreren Stellen im und angrenzend ans Einzugsgebiet wird Grundwasser gefasst (BAFU, 2016).

Die Abflussmenge des Zuflusses variiert im Jahresverlauf stark, wird hauptsächlich durch Niederschlag beeinflusst und kann bei Trockenperioden gänzlich austrocknen. Aktuell liegen nur vereinzelte Messwerte zum Zu- und Abfluss vor. Eine Messung des Zuflusses Ende September 2004 ergab einen totalen Zufluss von circa 9.5 l/s und einen Abfluss von circa 5 l/s (Horisberger et al., 2004). Eine Schätzung des Abflusses Ende September 2016 durch Florence Woodtli ergab einen Abfluss von circa 5 bis 7 l/s. Die Differenz zwischen Zu- und Abfluss kann durch Verdunstung und Versickerung erklärt werden und sehr variabel sein.

2.2 Chemisch-physikalischer Zustand

Der chemisch-physikalische Zustand des Bellacher Weihers wurde seit Beginn der Sanierungsmassnahmen in den Jahren 2004 bis 2007 durch Messungen der Abwasserreinigungsanlage ARA Bellach und seit 2009 durch Messungen des Amt für Umwelt AFU Solothurn überwacht. Die ZHAW leistet im Jahr 2016 und 2017 ergänzende Messungen, um allfällige Schwankungen durch Wetterereignisse, Düngung oder andere Ereignisse besser erfassen zu können (Nufer, 2014). Daten der Messreihe 2009 bis 2016 werden von NUFERscience/AFU Solothurn für diese Untersuchung zur Verfügung gestellt.

Die Beprobungen zur Erfassung des chemisch-physikalischen Zustandes für das Jahr 2016 fanden zwischen Februar und Oktober statt und wurden von der ZHAW und NUFERscience durchgeführt (Tabelle 1). Die Analyse der Wasserproben der ZHAW erfolgte im Labor des Instituts für Umwelt und Natürliche Ressourcen IUNR in Wädenswil. Die Proben, welche von NUFERscience gezogen wurden, wurden unter der Leitung des AFU Solothurn im Labor für Lebensmittelkontrolle in Solothurn analysiert.

Tabelle 1: Probenahmedaten der chemisch-physikalischen Messungen der ZHAW und NUFERscience/AFU Solothurn im Jahr 2016. Probenahmen und Messungen durch NUFERscience/AFU Solothurn sind fettgedruckt.

FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT
8.02	3.03	6.04	2.05	6.06	12.07	11.08	5.09	12.10
				28.06	25.07		29.09	

Die Erfassung des chemisch-physikalischen Zustandes erfolgte an den vier Probenahmestandorten Zufluss, Weihermitte, tiefste Stelle des Weihers und Abfluss (Abbildung 2). Die Beprobung der tiefsten Stelle des Weihers war kein Bestandteil der Untersuchung der ZHAW und wird aus diesem Grund im Bericht nicht weiter ausgeführt. Die Messwerte der tiefsten Stelle von 2016 sind im Anhang A – Rohdaten 2016 zu finden. Die Analysemethoden des AFU Solothurn unterscheiden sich von den Methoden der ZHAW und sind im Anhang A - Laboranalyse beschrieben.

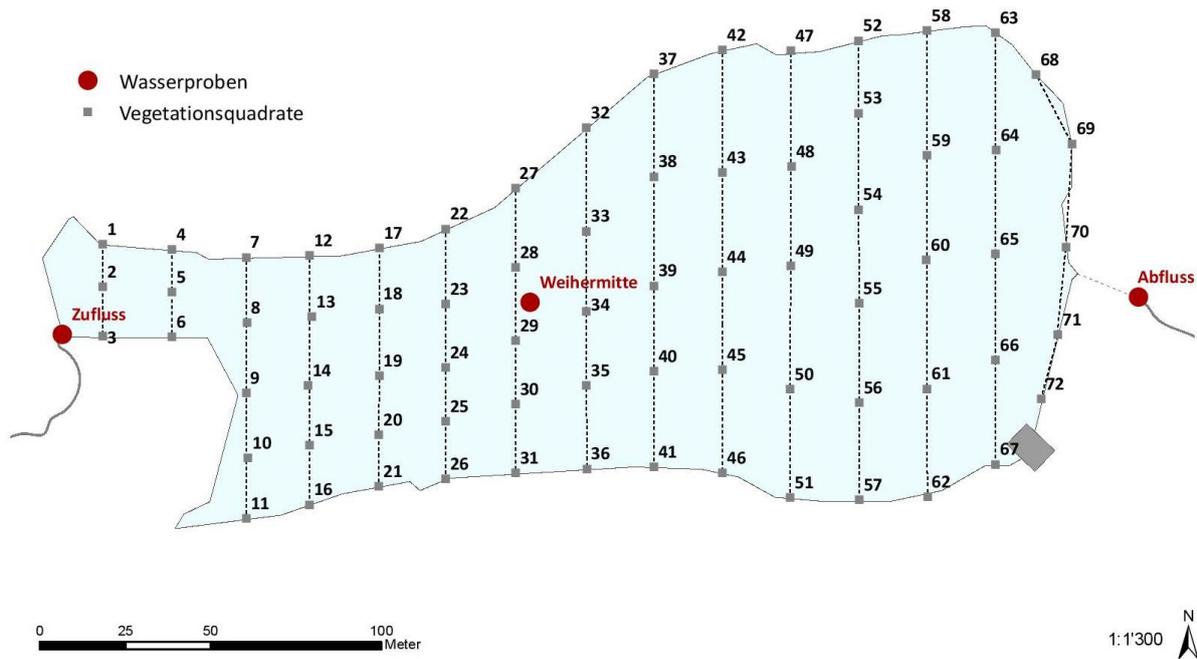


Abbildung 2: Situationsplan Bellacher Weiher inklusive eingezeichneter Probenahmestandorte (Zufluss, Weihermitte, Abfluss) der chemisch-physikalischen Zustandserfassung (Wasserproben) sowie Vegetations-Quadrate der Makrophyten-Untersuchung gemäss IBEM-Methode (Indermühle et al., 2008) (Woodtli, 2016).

Probenahme

Die chemisch-physikalische Untersuchung umfasste die Entnahme von Wasserproben (Analyse Nährstoffe und gesamte ungelöste Stoffe GUS) sowie die Erfassung diverser Vor-Ort-Parameter (Tabelle 11, Anhang A - Laboranalyse).

An den Probestandorten (Zufluss, Weihermitte, Abfluss) wurden jeweils zwei Probenahmeflaschen 1000 ml (Analyse GUS, nicht filtriert), eine Probenahmeflasche 500 ml (Analyse Nährstoffe, nicht filtriert) und eine Probenahmeflasche 100 ml (Analyse Nährstoffe, filtriert) gezogen und gekühlt gelagert. Die Probenahmeflaschen wurden vor der Probenahme gründlich mit Füllwasser ausgespült. Die Wasserproben wurden im Zu- und Abfluss auf mittlerer Tiefe, in der Weihermitte in 20 cm Tiefe gezogen und unter Wasser verschlossen. Für die Filtration der Wasserproben wurden die Filter (BGB, Nylon 66, 0.45 µm, 25 mm, P/N SF2503) vorgängig mit 15 ml Füllwasser vorgespült. Die Analyse (Nährstoffe und GUS) erfolgte jeweils am selben Tag der Probenahme.

Die Vor-Ort-Parameter wurden ebenfalls an den Probestandorten (Zufluss, Weihermitte, Abfluss) ermittelt. Die Temperatur (°C), Leitfähigkeit (µS/cm), pH-Wert, Sauerstoff-Konzentration (mg/l O₂) und -sättigung (%) wurden mit der Multisonde HQ40d (Hach) erfasst. Die Sauerstoff-Konzentration und -sättigung wurde beim Probenahmestandort Weihermitte in drei verschiedenen Tiefen (50 cm, 100 cm, 150 cm) gemessen. Die Trübung (NTU) wurde

mit dem Trübungsmessgerät 2100Qis (Hach) ermittelt. Die Sichttiefe (m) wurde mit der Secchi-Scheibe gemessen und nur beim Probenahmestandort Weihermitte erfasst. Der Pegelstand wurde am Bootshaus mittels eines Fixpunktes bis zur Wasseroberfläche gemessen.

Laboranalyse

Im Labor wurde für die Erfassung der GUS jeweils ein Volumen zwischen 1000 und 2000 ml Wasser (je nach Konzentration der Feststoffe) durch einen Rundfilter (Pall Corporation, Nylaflo™, 0.45µm, 90mm, 100/PK, P/N 66609), welcher vorgängig mindestens zwei Stunden im Trockenschrank bei 105 °C getrocknet und gewogen wurde, filtriert. Nach wiederholtem Trocknen des Rundfilters für mindestens zwei Stunden und erneutem Wiegen wurden im Anschluss die GUS berechnet (Tabelle 12, Anhang A – Rohdaten 2016). Die Parameter Total-Stickstoff (mg/l N) und Total-Phosphor (mg/l P) wurden aus den nicht filtrierten Wasserproben analysiert. Ammonium (mg/l N), Nitrat (mg/l N), Nitrit (mg/l N), Phosphat (mg/l P), Chlorid (mg/l Cl), Sulfat (mg/l SO₄) und DOC (mg/l C) wurden aus den filtrierten Wasserproben bestimmt. Die Messung erfolgte mit dem Photometer DR 3800 (Hach).

Aufgrund eines Fischsterbens, datiert auf den 22.09.16 (genaues Datum und Zeitpunkt des Ereignisses sind unbekannt), wurden durch die Polizei Solothurn Wasserproben an diversen Stellen gezogen. Die Wasserprobe der Weihermitte wurde auf Wunsch des Weiherbesitzers Thomas Stöckli am 12.10.16 von Christa Gufler im Labor des IUNR auf die Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit (µS/cm), Ammonium (mg/l N), Nitrat (mg/l N), Nitrit (mg/l N), Total-Stickstoff (mg/l N), Phosphat (mg/l P) und Total-Phosphor (mg/l P) analysiert (Abbildung 21, Anhang A - Feldprotokolle, Tabelle 14, Tabelle 15, Anhang A – Rohdaten 2016). Die Resultate dieser Analyse wurden nicht in die Datenanalyse miteinbezogen. Dies, da die gemessenen Werte aufgrund der grossen Zeitspanne zwischen Probenahme und Analyse mit Vorsicht zu behandeln sind.

Datenanalyse

Die Darstellung der Resultate der Messreihe 2016 erfolgte mit dem Programm R (Gentleman & Ihaka, 1997). Pro Plot wurden die Messwerte eines Parameters für alle Probestandorte (Zufluss, Weihermitte, Abfluss) über das Jahr 2016 als Liniendiagramm dargestellt. Sofern die Messgrenzen des AFU Solothurn tiefer lagen als jene der ZHAW, wurde die höhere Messgrenze der ZHAW als fixe Messgrenze gewählt (Tabelle 11, Anhang A - Laboranalyse). Messwerte, welche durch das AFU Solothurn genauer bestimmt wurden, wurden unterhalb der Messgrenze der ZHAW (ausgezogene Linie im Plot) dargestellt. Beim Parameter Sulfat

war die Messgrenze der ZHAW zu hoch, weshalb nur die vier Werte des AFU Solothurn dargestellt wurden. Für die Sauerstoff-Konzentration wurde ein zusätzlicher Plot mit den Werten der drei Tiefenmessungen (50 cm, 100 cm, 150 cm) der Weihermitte erstellt.

Die Resultate der Messreihe 2009 bis 2016 wurden mit R dargestellt und auf signifikante Veränderungen untersucht. Pro Probenahmestandort wurden die einzelnen Parameter in einem Liniendiagramm über den Zeitraum 2009 bis 2016 dargestellt. Werte unterhalb der Messgrenze der ZHAW wurden für die Analysen nicht verwendet, da R nicht mit Werten wie <0.01 umgehen kann. Für die statistische Auswertung wurde eine Regressionsanalyse für die lineare Regression durchgeführt (Signifikanzniveau $\alpha=0.05$). Die lineare Regression ist signifikant, wenn der P-Wert kleiner als 0.05 ausfällt. Die Residuen der linearen Regression müssen für eine aussagekräftige Analyse normalverteilt sein und wurden mit dem Shapiro Wilk- und Kolmogorow Smirnov-Test auf Normalverteilung getestet. Ist die Normalverteilung durch einen der beiden Tests gegeben, darf die lineare Regressionsanalyse angewendet werden. Wenn die Residuen eines Parameters mit Shapiro Wilk und Kolmogorow Smirnov keine Normalverteilung aufzeigen und die lineare Regression trotzdem signifikant ausfällt, muss das Resultat mit Vorsicht betrachtet werden (Mürset et al., 2016). Solche Fälle sind in den Resultaten mit der Farbe Orange speziell gekennzeichnet. Im R wurden die a- und b-Werte sowie deren p-Werte und das Vertrauensniveau (Signifikanzcodes), die Standardabweichung, das Bestimmtheitsmass R^2 und den p-Wert der linearen Regression berechnet. Falls der b-Wert negativ war, musste die Regressionslinie durch den Nullpunkt gezwungen werden ($b=0$), da in der Realität keine negativen Nährstoff- oder Vor-Ort-Parameter-Werte auftreten können und die Regressionsgerade verzerrt dargestellt würde. Das Bestimmtheitsmass R^2 sagt aus, wie viel Prozent der Variation in den Daten durch das vorliegende Modell erklärt werden können (0 % = kein linearer Zusammenhang, 100 % = perfekter linearer Zusammenhang). Negative R^2 -Werte können auftreten, wenn die lineare Regression eine schlechte Übereinstimmung mit den Daten aufweist. Aus dem Bestimmtheitsmass R^2 wurde in Excel der Korrelations-Koeffizient r ausgerechnet. Ein positives r bedeutet eine steigende Trendgerade, ein negatives r eine fallende Trendgerade. Aus dem Korrelations-Koeffizienten kann die Güte der Regressionsgerade abgelesen werden. Im Bereich von $|r| = 0.7$ bis 1.0 spricht man von einer „starken Korrelation“, im Bereich von $|r| = 0.4$ bis 0.7 von einer „schwachen Korrelation“ und $|r| < 0.4$ von einer „unbefriedigenden Korrelation“ (Mürset et al., 2016).

Beurteilung

Um den Bellacher Weiher zu beurteilen, muss der Trophiegrad des natürlichen und aktuellen Zustandes ermittelt werden. In der Literatur existieren verschiedene Methoden, einem Stillgewässer den natürlichen und aktuellen Trophiegrad zuzuweisen. Diese basieren auf verschiedenen messbaren Parametern. Bei der Festlegung von Klassengrenzen zwischen Trophieebenen und deren Referenzwerten ist eine gewisse Willkürlichkeit unvermeidbar und es wird deshalb empfohlen, immer mehrere Methoden zur Bestimmung des Trophiegrades anzuwenden (Knopf et al., 2000).

Der natürliche Trophiegrad wurde mit der LAWA-Methode (1998) berechnet. Diese Methode bestimmt den natürlichen Trophiegrad eines Stillgewässers anhand des natürlichen Phosphoreintrags respektive der Seebeckenmorphometrie. Der aktuelle Trophiegrad wurde anhand von Richtwerten aus Publikationen von Oertli & Frossard (2013) und Vollenweider (OECD, 1982) bestimmt. Die Richtwerte von Oertli & Frossard (2013) beziehen sich auf die aktuell herrschende Sichttiefe, gemessen mit der Secchi-Scheibe (mesotroph: 1.50 - 3.00 m, eutroph: 0.70 - 1.50 m, hypertroph: < 0.70 m) und der Total-Phosphor-Konzentration im Februar (mesotroph: 0.010 – 0.035 mg/l P, eutroph: 0.035 – 0.100 mg/l P, hypertroph: > 100 mg/l P). Vollenweider (OECD, 1982) bestimmt den aktuellen Trophiegrad mit Hilfe der minimalen Sichttiefe im Jahr (mesotroph: 3.0 - 1.5 m, eutroph: 1.5 - 0.7 m, hypertroph: ≤ 0.7 m). Eine Farbcodierung weist den Trophiegraden oligotroph (blau), mesotroph (grün), eutroph (gelb) und polytroph (orange) eine Farbe zu (Guthruf et al., 2015) (Tabelle 2).

Tabelle 2: Klassierung des Trophiegrades nach Guthruf et al. (2015).

Klassierung des Trophiegrades

oligotroph	wenig produktiv
mesotroph	mässig produktiv
eutroph	stark produktiv
polytroph	sehr stark produktiv

Die Nährstoff-Konzentrationen des Bellacher Weihers wurden mit Referenzwerten des Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL des Kantons Zürich (Niederhauser et al., 2006) (Weihermitte) und mit dem Modulstufenkonzept MSK zur Untersuchung und Beurteilung von Fliessgewässern (Liechti, 2010) (Zufluss, Abfluss) und weiterer Referenzwerte aus der Literatur (OECD, DCE-AERMC, CIPEL, Menetrey, 2016) (Weihermitte) verglichen und beurteilt.

Die Methode zur Bewertung von Stillgewässern nach AWEL (Niederhauser et al., 2006) stützt sich auf die Anforderungen an die Wasserqualität aus der GSchV (1998) und legt für

das Jahresmittel der Total-Phosphor-Konzentration Zielwerte für die Bewertung fest. Dabei wird je nach Trophiegrad auf unterschiedliche Zielwerte zurückgegriffen. Für natürlicherweise oligo- oder mesotrophe Seen wurde ein Zielwert von 0.025 mg/l P, für natürlicherweise eutrophe Seen ein Zielwert von 0.040 mg/l P festgelegt. Unter dieser Konzentration kommt es zu keiner übermässigen Algenproduktion und das Gewässer befindet sich in einem guten (grün) oder sehr guten (blau) Zustand. Höhere Konzentrationen resultieren in den Kategorien mässig (gelb), unbefriedigend (orange) oder schlecht (rot) (Tabelle 3). Der Bellacher Weiher befindet sich natürlicherweise in einem eutrophen Zustand, weshalb im weiteren Verlauf des Berichtes die Beurteilung für natürlicherweise eutrophe Seen herangezogen wurde. In der Auswertung der Total-Phosphor-Konzentrationen wurde der Zielwert des AWEL mit farbigen Balken im Hintergrund des Plots für natürlicherweise eutrophe Seen dargestellt. Die für Seen entwickelten Zielwerte wurden nur für den Probenahmestandort Weihermitte als Beurteilungskriterien herangezogen.

Die Jahresmittel der Total-Phosphor-Konzentration (mg/l P) können anhand von weiteren Methoden (OECD, DCE-AERMC, CIPEL, Menetrey, 2016) in die Qualitätsklassen sehr gut (blau), gut (grün), mässig (gelb), unbefriedigend (orange) und schlecht (rot) eingeteilt werden. Bei diesen Methoden sind die Schwellwerte zwischen den Klassen anders gesetzt (Tabelle 3). Die Beurteilung des Bellacher Weihers anhand dieser Methoden ist in der Diskussion aufgeführt.

Tabelle 3: Beurteilung der Total-Phosphor-Konzentration (mg/l P) und Einteilung in Qualitätsklassen sehr gut (blau), gut (grün), mässig (gelb), unbefriedigend (orange) und schlecht (rot) von natürlicherweise eutrophen Seen nach AWEL (Niederhauser et al., 2006), OECD (Menetrey, 2016), DCE-AERMC (Menetrey, 2016) und CIPEL (Menetrey, 2016).

Jahresmittel Total-Phosphor-Konzentration (mg/l P)				
Qualitätsklasse	AWEL	OECD	DCE - AERMC	CIPEL
sehr gut	< 0.020	≤ 0.010	< 0.015	< 0.010
gut	0.020 bis < 0.040	0.010 - 0.035	< 0.03	0.010 - 0.015
mässig	0.040 bis < 0.060	0.035 - 0.1	< 0.06	0.016 - 0.030
unbefriedigend	0.060 bis < 0.080	≥ 0.1	< 0.1	0.030 - 0.050
schlecht	≥ 0.080		> 0.1	> 0.050

Die chemisch-physikalischen Parameter des Zu- und Abflusses des Bellacher Weihers wurden anhand des Modulstufenkonzepts zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer (Liechti, 2010) in Qualitätsklassen eingeteilt. Die Bewertungskriterien basieren auf den Anforderungen der GSchV (1998) für Fliessgewässer. Eine Bewertung erfolgt anhand der Konzentration der Parameter Ammonium (mg/l N), Nitrat (mg/l N), Nitrit (mg/l N), Total-Stickstoff (mg/l N), Phosphat (mg/l P), Total-Phosphor (mg/l P) und DOC (mg/l C). Die

Messwerte wurden anhand der Beurteilungskriterien in die Qualitätsklassen sehr gut (blau), gut (grün), mässig (gelb), unbefriedigend (orange) und schlecht (rot) eingeteilt.

Ein Gewässer darf laut GSchV (1998) zu keiner Zeit und auf keiner Tiefe eine tiefere Sauerstoff-Konzentration als 4 mg O₂/l aufweisen. Natürlicherweise eutrophe Seen können zeitweise eine hohe Sauerstoffzehrung aufgrund der erhöhten Algenproduktion vorweisen. Der Zielwert von 4 mg/l O₂ nach GSchV (1998) ist in den Plots mit einer roten Linie eingezeichnet.

2.3 Biologischer Zustand

Der biologische Zustand wurde mit zwei verschiedenen Biodiversitätsindizes für stehende Kleingewässer erfasst, dem IBEM (Indermühle et al., 2008) und dem CIEPT (Menetrey et al., 2011). Die Methoden bewerten Weiher und Kleinseen qualitativ anhand verschiedenen Indikatorgruppen (Tabelle 27, Anhang B – Probenahme). Des Weiteren wurde die Diversität des Bellacher Weihers mit den Biodiversitätsindizes Shannon (Shannon, 1948), Simpson (Simpson, 1949) und Evenness (Pielou, 1966) ermittelt.

IBEM

Der Biodiversitätsindex IBEM erfasst fünf verschiedene Organismengruppen, die verschiedene ökologische Nischen und Lebensraumanforderungen repräsentieren und berechnet daraus einen Qualitätswert für stehende Kleingewässer. Der IBEM berücksichtigt die Organismengruppen Makrophyten (Wasserpflanzen), Coleoptera (Wasserkäfer), Gastropoda (Wasserschnecken), adulte Odonata (Libellen) und Amphibien. Die Bestimmung der Amphibien erfolgt auf Artniveau, alle anderen Organismengruppen werden auf Gattungsniveau bestimmt. Die Amphibien wurden in dieser Untersuchung nicht erfasst.

Die Erfassung erfolgte nach der Methode aus dem Handbuch von Indermühle et al. (2008) und basiert auf der Erhebungsmethode PLOCH (Oertli et al., 2005). Bei der IBEM-Methode interessiert die Information 'Taxa vorhanden' respektive 'nicht vorhanden'. Die Häufigkeit oder der Flächenanteil eines Taxon wird nicht benötigt.

Neben den Informationen über die anwesenden Taxa der zu erfassenden Organismengruppen waren für die Berechnung weitere Umweltvariablen respektive Begleitparameter wie die Wasserfläche (m²), die mittlere Tiefe (ohne Wasser-Land-Schnittstelle, cm), der Waldanteil in der Umgebung (%), der Uferverlauf (dimensionslos), die Beschattung des Gewässers (Klas-

se), die Höhe über Meer (m ü. M.) sowie die biogeographische Zone von Bedeutung. Diese Informationen wurden über diverse Bezugsquellen (BAFU, 2016; Imhof, 1987) bezogen, mit Hilfe der Geoinformationsplattform des BAFU (2016) berechnet oder im Feld gemessen respektive geschätzt.

Makrophyten

Die Erfassung der Makrophyten erfolgte am 21.07.16. Die Zahl zu untersuchender Probenahmestandorte ist abhängig von der Grösse des Weihers. Bei einer Wasserfläche von 33000 m² ergab dies für den Bellacher Weiher 72 zu untersuchende Probenahmestandorte (Tabelle 29, Anhang B - Probenahme). Diese wurden homogen entlang von regelmässigen Transekten über den Weiher verteilt. Der erste und der letzte Probenahmestandort eines Transektes befand sich jeweils an der Wasser-Land-Schnittstelle (Abbildung 2). Für die Erfassung der Makrophyten wurde an jedem Probenahmestandort ein Vegetationsquadrat (50 x 50 cm) über die Vegetation gelegt und die darin vorhandenen Gattungen bestimmt. Jedes Vegetationsquadrat wurde als Einzelprobe behandelt. Die Bestimmung der Makrophyten erfolgte anhand des Farbatlas Wasser- und Uferpflanzen (Krausch, 1996). Die Verifizierung der Gattungen erfolgte durch die Fachperson Gabriele Gottschalk. Bei jedem Probenahmestandort wurde die Wassertiefe (m) erfasst, aus welcher die mittlere Tiefe (mit und ohne Wasser-Land-Schnittstelle, cm) berechnet wurde.

Coleoptera und Gastropoda

Die Erfassung der Organismengruppen Coleoptera und Gastropoda erfolgte im Rahmen der Makrozoobenthos-Aufnahmen am 27.06.16. Die Zahl zu untersuchender Probenahmestandorte ist abhängig von der Grösse des Weihers. Bei einer Wasserfläche von 33000 m² ergab dies für den Bellacher Weiher 23 zu untersuchende Probenahmestandorte (Tabelle 30, Anhang B - Probenahme). Um die Probenahmestandorte zu definieren wurde zu Beginn des Probenahmetages ein Situationsplan erstellt (Abbildung 3). Darauf wurden die wichtigsten Habitat-Typen des Makrozoobenthos (Tabelle 31, Anhang B – Probenahme) für den Uferbereich (Wassertiefe bis zu 2 m) kartiert. Erfasst wurden nur Habitat-Typen, welche mehr als 1 % der Gesamtfläche der zu erfassenden Habitate bedeckten. Zwei Drittel (n=15) der Probenahmestandorte wurden an der Wasser-Land-Schnittstelle, ein Drittel (n=8) in den übrigen Habitaten gelegt (Tabelle 31, Anhang B – Probenahme). Die 23 Probenahmestandorte wurden regelmässig über den Weiher verteilt (Abbildung 4). Die Probenahme erfolgte mit einem standardisierten IBEM-Kescher, wobei die Probenahmestandorte mit kraftvollen und schnell-

len hin- und her Bewegungen jeweils während 30 Sekunden beprobt wurden. Die Makrozoobenthos Proben wurden im Feld sortiert und in 80 % Ethanol konserviert. Pro Probe wurden maximal 20 Minuten Sortierzeit aufgewendet. Jede Probe wurde als Einzelprobe behandelt. Im Labor wurde das Makrozoobenthos bis auf Familienebene, Coleoptera und Gastropoda bis auf Gattungsebene mit Hilfe einer Stereolupe (Leica M80, 60-fache Vergrößerung) und dem Bestimmungsbuch von Tachet et al. (2000) bestimmt. Die Bestimmungsarbeiten wurden regelmässig durch die Fachpersonen Christa Gufler und Cristian Gees kontrolliert.

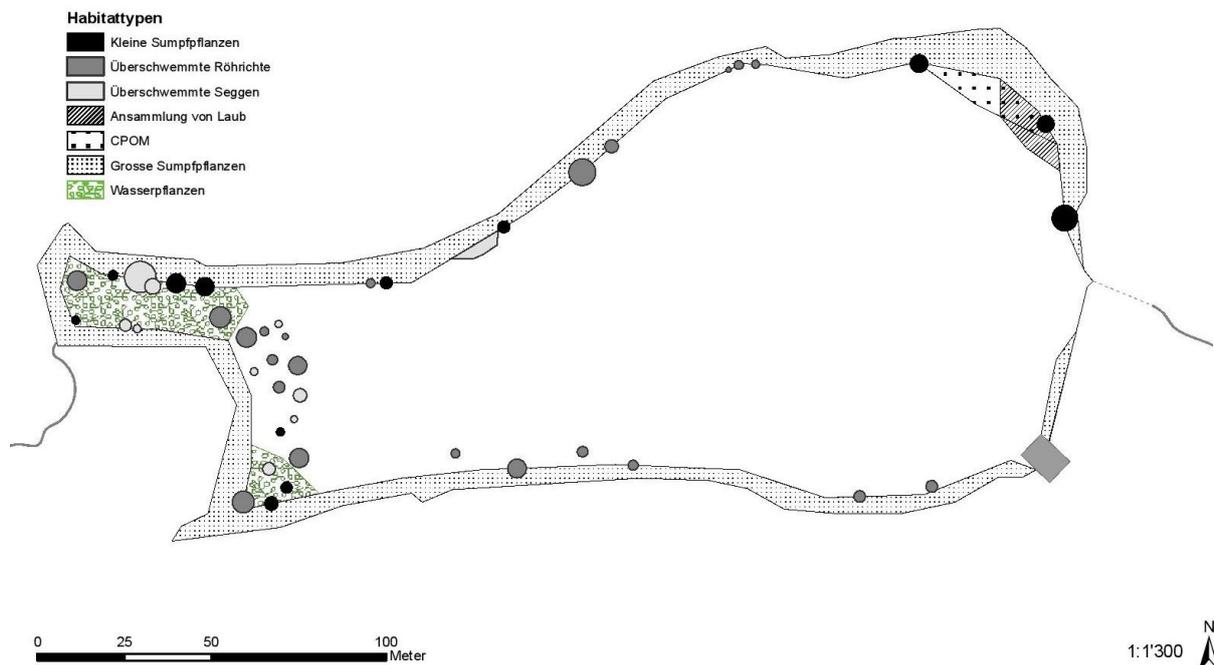


Abbildung 3: Situationsplan Bellacher Weiher inklusive eingezeichneter Habitat-Typen des Makrozoobenthos als Grundlage für die Festlegung der Probenahmestandorte der Makrozoobenthos-Untersuchung gemäss IBEM-Methode (Indermühle et al., 2008) und CIEPT-Methode (Menetrey et al., 2011) (Woodtli, 2016).

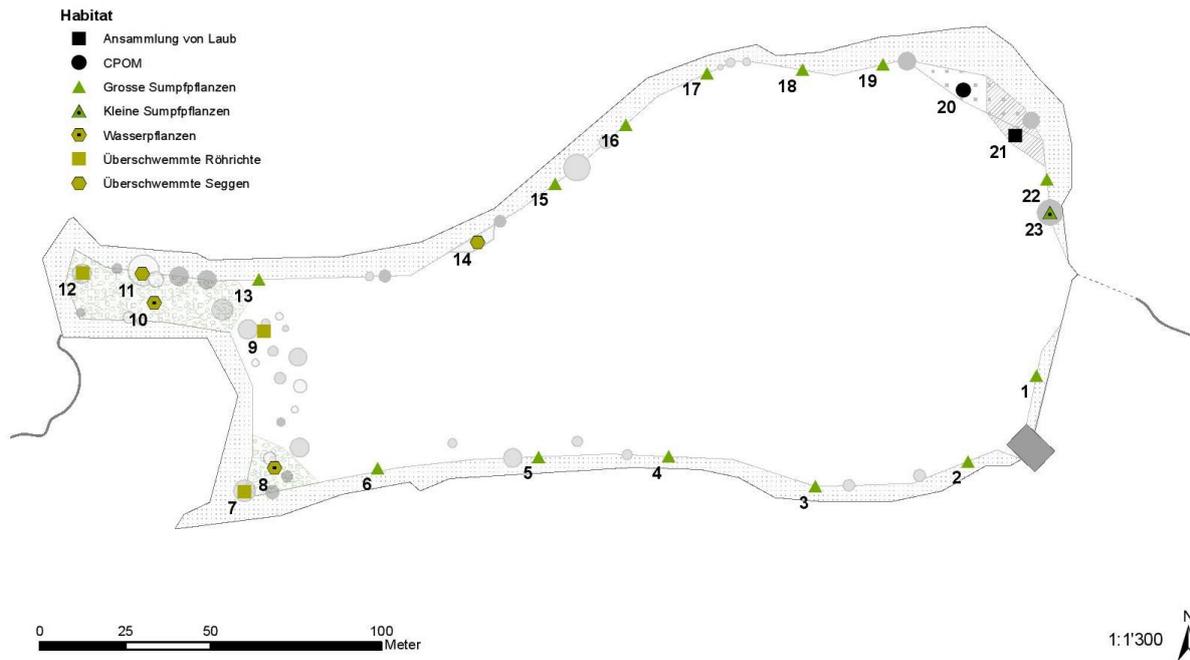


Abbildung 4: Situationsplan Bellacher Weiher inklusive eingezeichneter Probenahmeortste Makrozoobenthos (n=1-23) für die Erfassung des biologischen Zustandes gemäss IBEM-Methode (Indermühle et al., 2008) und CIEPT-Methode (Menetrey et al., 2011) unterschieden nach Habitat-Typ (Woodtli, 2016).

Odonata

Die Erfassung der adulten Odonata erfolgte am 21.07.16 sowie am 13.08.16. Die Probenahmeortste wurden als Sektoren (10 x 30 m) auf mindestens einem Drittel des Uferbereichs verteilt (Abbildung 5). Die Zahl zu untersuchender Sektoren ist abhängig von der Grösse und der Uferlänge des Weiher. Bei einer Wasserfläche von 33000 m² und einer Uferlänge von 830 m ergab dies beim Bellacher Weiher insgesamt 7 Untersuchungs-Sektoren. Sie deckten die wichtigsten Lebensräume der Odonata und die verschiedenen Habitat-Typen des Bellacher Weiher ab. Die Erfassung erfolgte bei sonnigem und windstillem Wetter mit Hilfe eines Feldstechers vom Boot aus. Während der 10-Minütigen Beobachtungszeit wurde der Sektor langsam in einer Zickzackbewegung abgefahren. Die Gattungen wurden mit Hilfe des Kosmos Libellenführers (Bellmann, 2013) bestimmt.

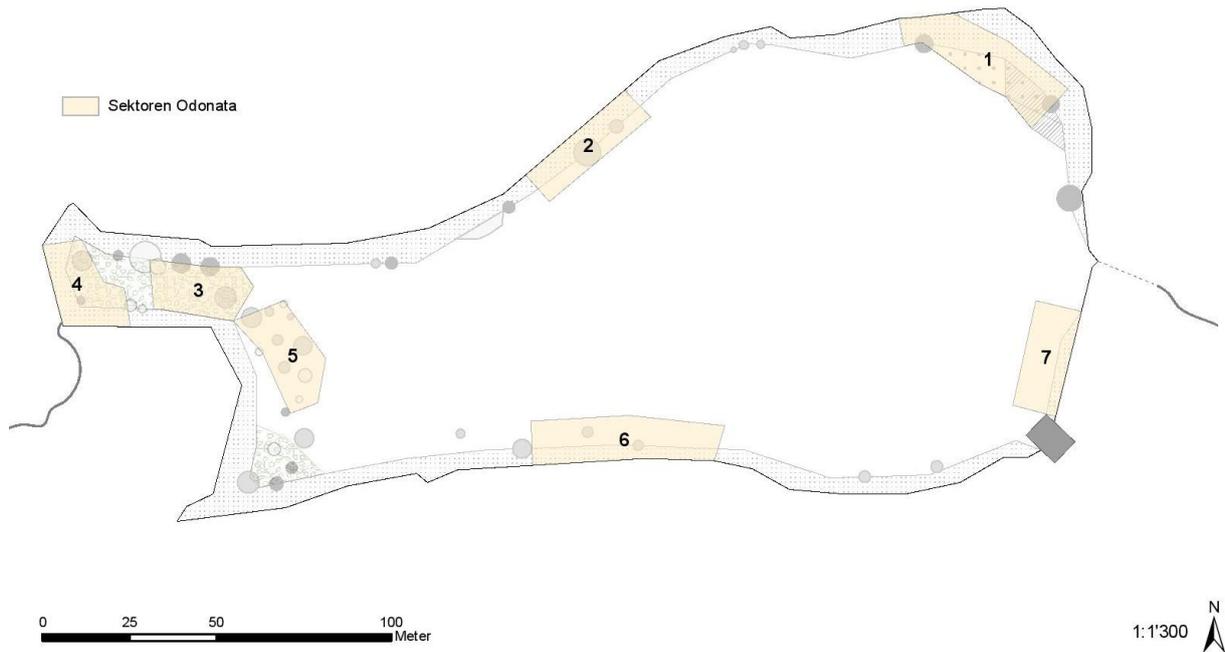


Abbildung 5: Situationsplan Bellacher Weiher inklusive eingezeichneter Untersuchungs-Sektoren Odonata (n=1-7) für die Erfassung des biologischen Zustandes gemäss IBEM-Methode (Indermühle et al., 2008) (Woodtli, 2016).

Beurteilung

Nach der Erfassung der vier Organismengruppen Makrophyten, Coleoptera, Gastropoda und Odonata wurde pro Organismengruppe die beobachtete (n_1 , Anzahl Gattungen) und die tatsächliche Vielfalt (n_2 , Anzahl Gattungen) nach Jackknife (Smith & Pontius, 2006) bestimmt. Mit Hilfe einer Matrix auf der Webseite der Ecole d'ingénieur de Lullier (EIL) wurde der IBEM online berechnet (Indermühle et al., 2010). Dabei wurden die benötigten Umweltvariablen respektive Begleitparameter sowie die berechnete tatsächliche Vielfalt (n_2 , Anzahl Gattungen) der vier Organismengruppen in die Benutzeroberfläche eingetragen. Die Umweltvariablen respektive Begleitparameter dienen dazu, die Daten des untersuchten Gewässers mit vorhandenen Referenzdaten von diversen Weihern in der Schweiz abzugleichen. Basierend darauf wird die maximal mögliche Vielfalt (n_3 , Anzahl Gattungen) einer Organismengruppe und der Qualitätswert berechnet. Der IBEM (0 bis 1) wurde pro Organismengruppe sowie für das gesamte Gewässer (Durchschnitt der IBEM der einzelnen Organismengruppen) bestimmt und in die Qualitätsklassen sehr gut, gut, mässig, unbefriedigend oder schlecht nach entsprechender Farbcodierung eingeteilt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Beurteilung des IBEM und Einteilung in Qualitätsklassen nach Indermühle et al. (2008).

Qualitätsklasse	IBEM
Sehr gut	> 0.8
Gut	> 0.6 - 0.8
Mässig	> 0.4 - 0.6
Unbefriedigend	> 0.2 - 0.4
Schlecht	0 - 0.2

CIEPT

Der Biodiversitätsindex CIEPT (Menetrey et al., 2011) basiert auf der Erfassung des Makrozoobenthos, welche in die Organismengruppen Coleoptera (C, Wasserkäfer), Invertebraten (I, Wirbellose, ohne Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera) sowie Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera (EPT, Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen) unterteilt werden und berechnet daraus die biologische Qualität eines Kleingewässers. Die Erfassung des Makrozoobenthos für die Ermittlung des CIEPT erfolgte nach derselben Methode wie für die Coleoptera und Gastropoda im Rahmen des IBEM. Die Bestimmung der Organismengruppen erfolgte auf Familienniveau, ausgenommen jene der Coleoptera, welche auf Gattungsniveau bestimmt wurde. Abweichend zur IBEM-Methode wird für die Ermittlung des CIEPT nicht nur die Information Taxa vorhanden respektive nicht vorhanden, sondern auch die Häufigkeit jedes Taxon benötigt.

Beurteilung

Für jede Organismengruppe wurde die Anzahl Taxa bestimmt und mit der Schätzungs-methode Jackknife (Smith & Pontius, 2006) die tatsächliche Vielfalt berechnet. Die tatsächliche Vielfalt wurde mit der Sjk-Matrix abgeglichen. Die erreichten Punkte wurden in die Taxa-Matrix eingetragen. Die Sjk-Matrix und die Taxa-Matrix zur Bewertung des biologischen Zu-standes anhand der CIEPT Methode (Menetrey et al., 2011) sind in Tabelle 37 und Tabelle 38 (Anhang B - Beurteilung) aufgeführt. Das Punktetotal dividiert durch 15 ergab den CIEPT (0 bis 1) und die dazugehörige Qualitätsklasse sehr gut, mässig oder schlecht. Den Quali-tätsklassen wurden zur besseren Veranschaulichung im Rahmen dieser Arbeit entsprechen-de Farben zugewiesen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Beurteilung des CIEPT und Einteilung in Qualitätsklassen nach Menetrey et al. (2011) inklusive Zuteilung eines Farbcodes durch Woodtli (2016).

CIEPT	
Güteklassen	Punkte
Sehr gut	> 0.85
Mässig	0.6-0.85
Schlecht	< 0.6

Diversität

Um die Diversität des Makrozoobenthos im Bellacher Weiher abzuschätzen und mit anderen Weihern vergleichen zu können, wurden die Biodiversitätsindizes Shannon (Shannon, 1948), Simpson (Simpson, 1949) sowie Evenness (Pielou 1966) berechnet. Mit dem Shannon-Index und dem Evenness, berechnet auf Basis \log_2 , wurde für das Makrozoobenthos das Mass der Diversität und die Gleichmässigkeit der Populationsstruktur berechnet. Zusätzlich wurde der Simpson-Index als weiterer Diversitäts-Index für die Auswertung des Makrozoobenthos herangezogen. Die Berechnung erfolgte bei den Coleoptera auf Gattungsebene, bei den Invertebraten und EPT auf Familienebene. Die Diversitätsindizes Shannon, Simpson und Evenness werden grundsätzlich auf Stufe Art berechnet, in dieser Arbeit werden sie auf Gattungs- respektive Familienebene angewendet.

3. Resultate

3.1 Chemisch-physikalischer Zustand 2016

Der natürliche Trophiegrad des Referenzzustandes des Bellacher Weihers wurde anhand der LAWA-Methode (1998) als polytroph (natürlicher Phosphoreintrag) respektive eutroph (Seebeckenmorphometrie) eingestuft (Tabelle 25, Tabelle 26, Anhang A - Beurteilung). Gemäss der Methode von Oertli & Frossard (2013) befand sich der aktuelle Trophiegrad des Bellacher Weiher im Jahr 2016 auf der Grenze von eutroph zu mesotroph (Sichttiefe) respektive in einem mesotrophen Zustand (Total-Phosphor-Konzentration im Februar). Die Bestimmung des aktuellen Trophiegrades anhand der Methode von Vollenweider (OECD, 1982) mit der minimalen Sichttiefe im Jahr 2016 ergab einen eutrophen Zustand (Tabelle 6).

Tabelle 6: Natürlicher Trophiegrad des Bellacher Weihers berechnet anhand der LAWA-Methode (1998) mit Hilfe der zwei Verfahren ‚natürlicher Phosphoreintrag‘ sowie ‚Seebeckenmorphometrie‘. Weiter dargestellt ist der aktuelle Trophiegrad des Bellacher Weihers im Jahr 2016 bestimmt mit den Methoden von Oertli & Frossard (2013) anhand der Sichttiefe und der Total-Phosphor-Konzentration im Februar sowie anhand der minimalen Sichttiefe nach Vollenweider (OECD, 1982). Farbcodierung gemäss Guthruf et al. (2015): oligotroph (blau), mesotroph (grün), eutroph (gelb), polytroph (orange). Die LAWA-Methode (1998) unterscheidet zusätzlich zwischen eutroph 1 und eutroph 2, wobei eutroph 2 einem produktionsstärkeren Trophiegrad entspricht.

Natürlicher Trophiegrad

Natürlicher Phosphoreintrag (LAWA, 1998)	polytroph
Seebeckenmorphometrie (LAWA, 1998)	eutroph 2

Aktueller Trophiegrad

Sichttiefe (Oertli & Frossard, 2013)	eutroph/mesotroph
Total-Phosphor im Februar (Oertli & Frossard, 2013)	mesotroph
Minimale Sichttiefe (Vollenweider OECD, 1982)	eutroph

Die Total-Phosphor-Konzentrationen der Weihermitte lag 2016 zwischen 0.014 mg/l P (03.03.16) und 0.031 mg/l P (29.09.16). Der Zufluss erreichte am 25.07.16 eine Total-Phosphor-Konzentration von 0.041 mg/l P und am 05.09.16 die höchste gemessene Konzentration mit 0.117 mg/l P aller Standorte sowie Messzeitpunkte. Die Total-Phosphor-Konzentration des Standorts Abfluss erreichte ebenfalls am 05.09.16 ihren Höchstwert mit 0.065 mg/l P (Abbildung 6).

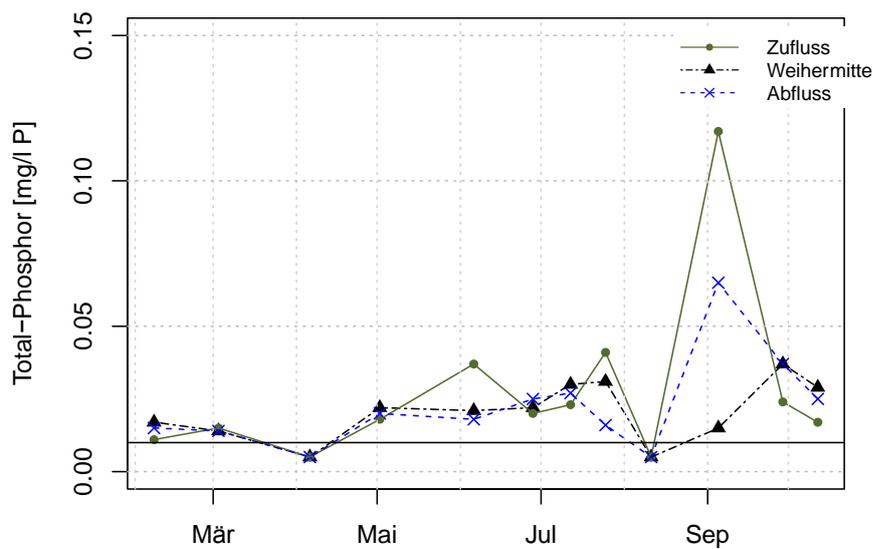


Abbildung 6: Jahresverlauf der Total-Phosphor-Konzentration [mg/l P] im Bellacher Weiher im Jahr 2016 (Februar bis Oktober, 12 Messungen) gemessen an drei Standorten Zufluss, Weihermitte und Abfluss. Die Messgrenze von 0.010 mg/l P der ZHAW ist als schwarz ausgezogene Linie dargestellt (Woodtli, 2016).

Die Total-Phosphor-Konzentration des Bellacher Weihers lag am Standort Weihermitte während der Messreihe 2016 zu jedem Zeitpunkt unter 0.040 mg/l P. Im Jahresmittel lag die Total-Phosphor-Konzentration bei 0.022 mg/l P (Tabelle 19, Anhang A – Rohdaten 2009 bis 2016) und erfüllte somit die Qualitätsanforderungen des AWEL (Niederhauser et al., 2006) für natürlicherweise eutrophe Seen (Zielwert < 0.040 mg/l P) (Abbildung 7).

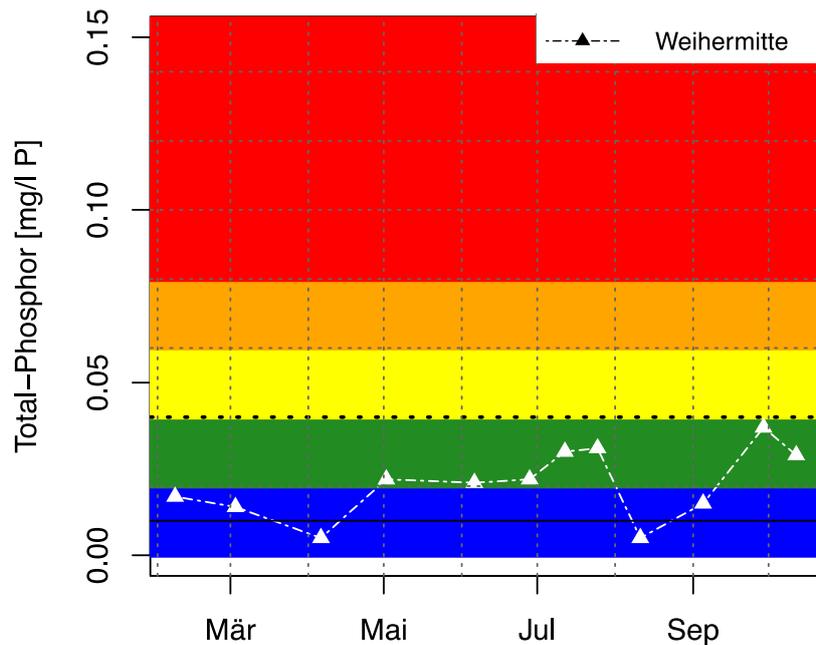


Abbildung 7: Jahresverlauf der Total-Phosphor-Konzentration [mg/l P] im Bellacher Weiher im Jahr 2016 (Februar bis Oktober, 12 Messungen) gemessen am Standort Weihermitte. Der Zielwert des Jahresmittels der Total-Phosphor-Konzentration von natürlicherweise eutrophen Seen des AWEL (Niederhauser et al., 2006) und deren Qualitätsklassen sehr gut (blau, <0.02 mg/l P), gut (grün, 0.02 – 0.04 mg/l P), mässig (gelb, 0.04 – 0.06 mg/l P), unbefriedigend (orange, 0.06 – 0.08 mg/l P) und schlecht (rot, >0.08 mg/l P) sind mit entsprechender Farbcodierung dargestellt. Der Zielwert des Jahresmittels für natürlicherweise eutrophe Seen liegt bei 0.04 mg/l P und ist als schwarze punktierte Linie vermerkt. Die Messgrenze liegt bei 0.01 mg/l P und ist als ausgezogene schwarze Linie gekennzeichnet (Woodtli, 2016).

Die Sauerstoff-Konzentration des Bellacher Weihers lag während der Messreihe 2016 bei allen Standorten (Zufluss, Weihermitte (Mittel der drei Tiefenmessungen 50 cm, 100 cm, 150 cm), Abfluss) (Abbildung 8) und allen gemessenen Tiefen der Weihermitte (50 cm, 100 cm, 150 cm) (Abbildung 9) immer über 4 mg/l O₂ und erfüllte somit die Anforderungen der GSchV (1998). Tendenziell nahm die Sauerstoff-Konzentration im Jahresverlauf bei den untersuchten Standorten Zufluss, Weihermitte und Abfluss leicht ab. Die grössten Schwankungen bei der Sauerstoff-Konzentration waren in der Weihermitte zu verzeichnen. Diese variierte zwischen 5.44 mg/l O₂ (25.07.16) und 22.48 mg/l O₂ (06.04.16). Die Werte des Zu- und Abflusses wiesen geringere Schwankungen auf und bewegten sich zwischen 7.91 mg/l O₂ (27.07.16) und 10.16 mg/l O₂ (02.05.16) respektive zwischen 7.08 mg/l O₂ (25.07.16) und 13.65 mg/l O₂ (06.04.16). Im Frühjahr (03.03.16 – 06.06.16) sowie an zwei Messungen im Spätsommer (11.08.16) und Herbst (29.09.16) wies die Weihermitte höhere Sauerstoff-Konzentrationen auf als die anderen beiden Standorte. Im Sommer (28.06.16 – 25.07.16) und am 05.09.16 wurden in der Weihermitte tiefere Werte als im Zu- und Abfluss gemessen (Abbildung 8).

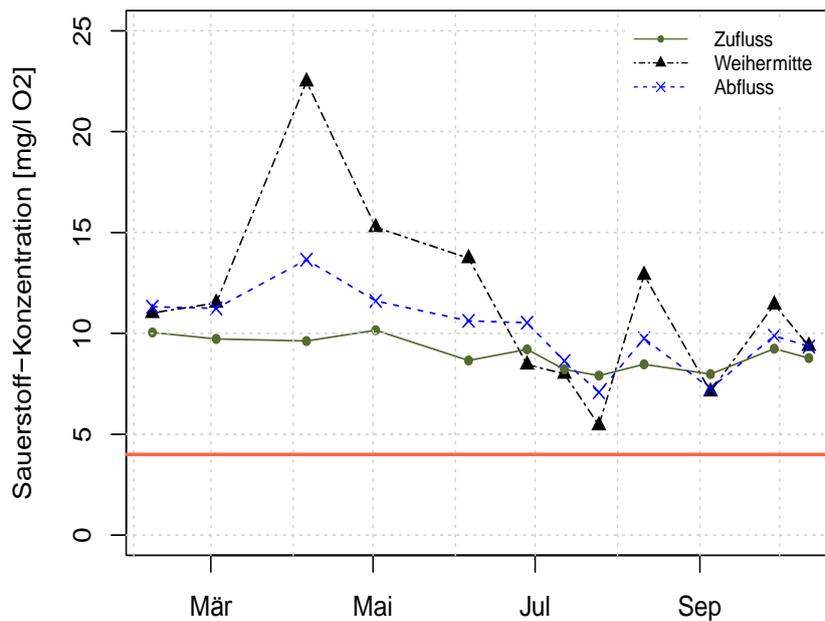


Abbildung 8: Jahresverlauf der Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂] im Bellacher Weiher im Jahr 2016 (Februar bis Oktober, 12 Messungen) gemessen an drei Standorten Zufluss, Weihermitte (Mittel der drei Tiefenmessungen 50 cm, 100 cm, 150 cm) und Abfluss. Die von der Gewässerschutzverordnung (GSchV, 1998) geforderte ganzjährige Mindest-Sauerstoff-Konzentration von 4 mg/l O₂ ist mit der rot ausgezogenen Linie dargestellt (Woodtli, 2016).

Die Jahresverläufe der Sauerstoff-Konzentrationen der drei Tiefenmessungen (50 cm, 100 cm, 150 cm) der Weihermitte zeigten ein ähnliches Muster wie das Mittel der drei Tiefenmessungen der Weihermitte. Die Sauerstoff-Konzentration in 150 cm Tiefe wies ausser im Juni (06.06.16) und im Juli (25.07.16) jeweils die geringsten Werte der drei Tiefenmessungen auf. Die höchsten gemessenen Sauerstoff-Konzentrationen wurden in allen Tiefen im April (06.04.16) gemessen (Abbildung 9).

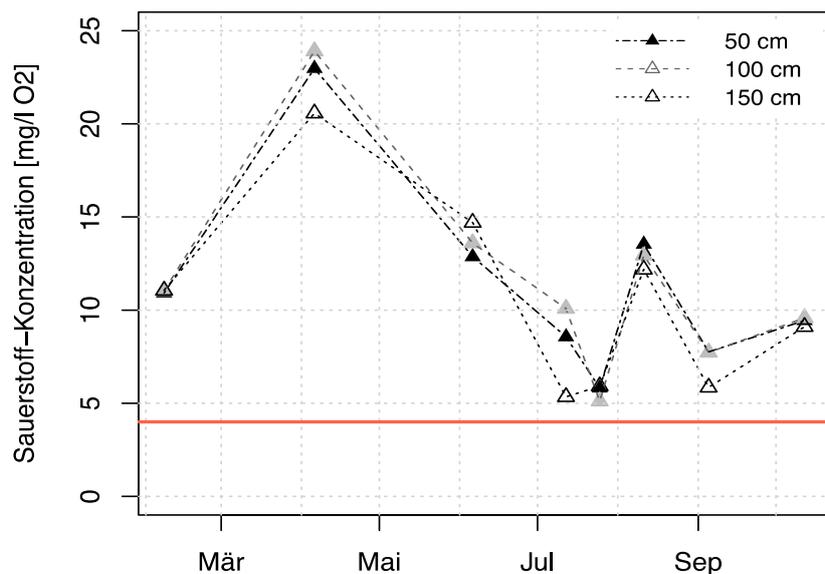


Abbildung 9: Jahresverlauf der Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂] im Bellacher Weiher im Jahr 2016 (Februar bis Oktober, 8 Messungen ZHAW) gemessen am Standort Weihermitte in den drei Tiefen 50 cm, 100 cm und 150 cm. Die von der Gewässerschutzverordnung (GSchV, 1998) geforderte ganzjährige Mindest-Sauerstoff-Konzentration von 4mg/l O₂ ist mit der rot ausgezogenen Linie dargestellt (Woodtli, 2016).

3.2 Chemisch-physikalischer Zustand 2009 bis 2016

Die Jahresmittel der Total-Phosphor-Konzentration des Bellacher Weihers lagen während der Messreihe 2009 bis 2016 in den Jahren 2009, 2011 und 2015 über, im Jahr 2014 bei und in den Jahren 2010, 2012, 2013 und 2016 unter dem Zielwert von 0.040 mg/l P für natürlicherweise eutrophe Seen des AWEL (Niederhauser et al., 2006) (Tabelle 19, Anhang A – Rohdaten 2009 bis 2016) und erfüllten somit die Qualitätsanforderungen in 5 von 8 Jahren. Die Jahresmittel der Jahre 2009, 2011 und 2015 wurden als mässig, diejenigen der Jahre 2010, 2012, 2013, 2014 und 2016 als gut bewertet (Abbildung 10).

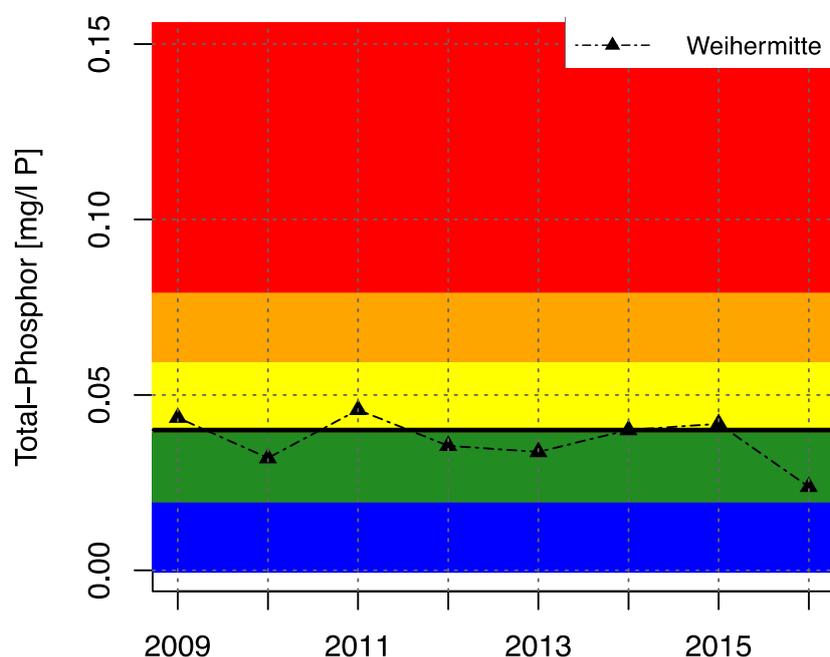


Abbildung 10: Verlauf der Jahresmittel der Total-Phosphor-Konzentration [mg/l P] im Bellacher Weiher während der Messreihe 2009 bis 2016 gemessen am Standort Weihermitte. Der Zielwert der Total-Phosphor-Konzentration von natürlicherweise eutrophen Seen des AWEL (Niederhauser et al., 2006) und deren Qualitätsklassen sehr gut (blau, <0.02 mg/l P), gut (grün, 0.02 – 0.04 mg/l P), mässig (gelb, 0.04 – 0.06 mg/l P), unbefriedigend (orange, 0.06 – 0.08 mg/l P) und schlecht (rot, >0.08 mg/l P) sind mit entsprechender Farbcodierung dargestellt. Der Zielwert für natürlicherweise eutrophe Seen liegt bei 0.04 mg/l P und ist als schwarze ausgezogene Linie vermerkt (Woodtli, 2016).

Die Sauerstoff-Konzentration des Bellacher Weihers lag während der Messreihe 2009 bis 2016 beim Standort Weihermitte (2009 bis 2015 Messung in 20 cm Tiefe, im Jahr 2016 Mittel der drei Tiefenmessungen (50 cm, 100 cm, 150 cm) immer bei oder über 4 mg/l O₂ und erfüllte somit die Anforderungen der GSchV (1998) (Abbildung 11). Die Standorte Zufluss und Abfluss erfüllten die Anforderungen ebenfalls (Abbildung 26, Abbildung 28, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 16, Tabelle 18, Anhang A – Rohdaten 2009 bis 2016). Der Tiefstwert der Sauerstoff-Konzentration in der Weihermitte wurde im Herbst 2010

(06.10.10) mit 4 mg/l O₂, der Höchstwert im April 2016 (06.04.16) mit 22.48 mg/l O₂ gemessen. Die Daten zeigten ein jahreszeitliches Muster. Zu Beginn des Jahres war die Sauerstoff-Konzentration jeweils hoch, fiel im Sommer und Herbst stark ab und erholte sich im Winterhalbjahr wieder (Abbildung 11).

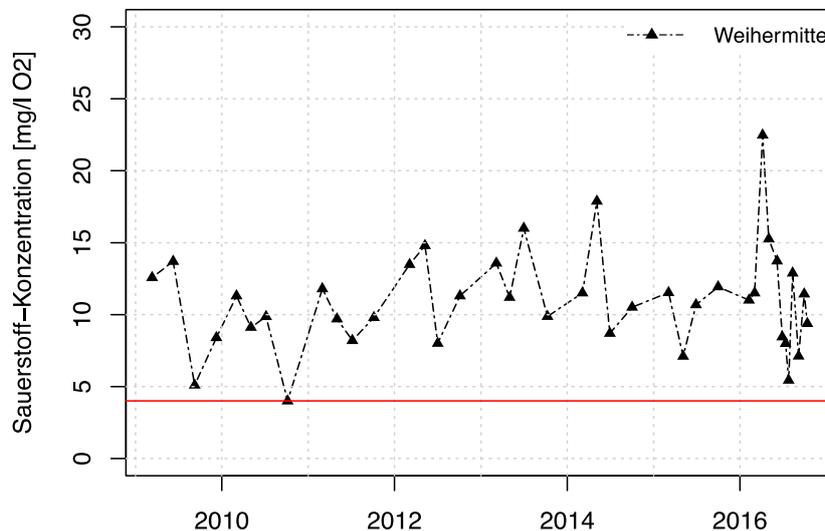


Abbildung 11: Verlauf der Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂] im Bellacher Weiher von 2009 bis 2016 gemessen am Standort Weihermitte (2009 bis 2015 Messung in 20 cm Tiefe, im Jahr 2016 Mittel der drei Tiefenmessungen (50 cm, 100 cm, 150 cm)). Die von der Gewässerschutzverordnung (GSchV, 1998) geforderte ganzjährige Mindest-Sauerstoff-Konzentration von 4mg/l O₂ ist mit der rot ausgezogenen Linie dargestellt (Woodtli, 2016).

Die Feldprotokolle (Abbildung 12, Abbildung 13, Abbildung 14, Abbildung 15, Abbildung 16, Abbildung 17, Abbildung 18, Abbildung 19, Abbildung 20, Abbildung 21, Abbildung 22, Abbildung 23) und Rohdaten sämtlicher chemisch-physikalischer Parameter der Messreihe 2016 (Zufluss, Weihermitte, tiefste Stelle, Abfluss; Tabelle 12, Tabelle 13, Tabelle 14, Tabelle 15) sowie die Darstellungen sämtlicher chemisch-physikalischer Parameter im Jahresverlauf (Abbildung 24, Abbildung 25) und die Bewertung des Zu- und Abflusses im Jahr 2016 anhand des Modulstufenkonzepts zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer (Liechti, 2010) (Tabelle 23, Tabelle 24) befinden sich im Anhang A – Feldprotokolle, Anhang A – Rohdaten 2016, Anhang A – Jahresverläufe 2016 sowie Anhang A - Beurteilung. Des Weiteren sind die Rohdaten sämtlicher chemisch-physikalischer Parameter der Messreihe 2009 bis 2016 (Zufluss, Weihermitte, Abfluss; Tabelle 16, Tabelle 17, Tabelle 18, Tabelle 19) sowie die Darstellungen sämtlicher chemisch-physikalischer Parameter im Zeitverlauf (Abbildung 26, Abbildung 27, Abbildung 28, Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 31) und die statistischen Auswertungen der drei Standorte Zufluss, Weihermitte und Abfluss (Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22) in Anhang A – Rohdaten 2009 bis 2016, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016 und Anhang A – Statistische Auswertungen zu finden.

3.3 Biologischer Zustand

IBEM

Die Wasserfläche des Bellacher Weihers beträgt 33000 m², die mittlere Tiefe (ohne Wasser-Land-Schnittstelle) 166.6 cm. Für den Uferverlauf wurde ein Wert von 1.28 berechnet. Die Beschattung des Gewässers beträgt zwischen 0 und 5 % (Klasse 2). Der Wald-Anteil beträgt im Weiher-Umkreis von 50 m circa 15 %. Der Bellacher Weiher befindet sich auf einer Meereshöhe von 455 m ü. M. Die biogeografische Grenze zwischen Jura und Mittelland verläuft westlich des Bellacher Weihers durch das Einzugsgebiet (Tabelle 7).

Tabelle 7: Umweltvariablen und Begleitparameter des Bellacher Weihers als Grundlage für die Berechnung des IBEM gemäss der Indermühle et al. (2008).

Umweltvariablen und Begleitparameter Bellacher Weiher	
Wasserfläche (m ²)	33000 (Woodtli, 2016)
Mittlere Tiefe (cm)	166.6 (Woodtli, 2016)*
Uferverlauf	1.28 (Woodtli, 2016)
Beschattung des Gewässers (%)	2, (Klasse 2) (Woodtli, 2016)
Wald in Umgebung (%)	15 (Woodtli, 2016)
Höhenlage des Gewässers (m ü. M.)	455 (BAFU, 2016)
Biogeografische Zone	Grenze Jura / Mittelland (BAFU, 2016)

* ohne Einbezug Wasser-Land-Schnittstelle

Der Biodiversitätsindex IBEM bewertet den biologischen Zustand des Bellacher Weihers im Jahr 2016 als gut für die Makrophyten ($n=14$, $n_2=19.92$, $n_3=24.9$, IBEM=0.8), als unbefriedigend für die Gastropoda ($n=5$, $n_2=5$, $n_3=13.4$, IBEM=0.37), als gut für die Coleoptera ($n=8$, $n_2=11.83$, $n_3=16.9$, IBEM=0.7) und als gut für die Odonata ($n=10$, $n_2=10$, $n_3=14.6$, IBEM=0.68). Die Gesamtbewertung des Bellacher Weihers fällt in die Kategorie gut (IBEM=0.64) (Tabelle 8).

Insgesamt konnten über die vier Organismengruppen hinweg im Bellacher Weiher 37 Gattungen nachgewiesen werden, wobei die Makrophyten mit 14 gefundenen Gattungen vor den Odonata ($n=10$), den Coleoptera ($n=8$) und den Gastropoda ($n=5$) liegen (Tabelle 8).

Tabelle 8: Bewertungsmatrix des Biodiversitätsindex IBEM (Indermühle et al., 2008) für die vier Organismengruppen Makrophyten, Gastropoda, Coleoptera und Odonata sowie für den Bellacher Weiher im Jahr 2016. Die tatsächliche Vielfalt (n_2 , Anzahl Gattungen) nach Jackknife (Smith & Pontius, 2006) wurde aus der beobachteten Vielfalt (n , Anzahl Gattungen) berechnet. Die tatsächliche Vielfalt nach Jackknife sowie die Umweltvariablen respektive Begleitparameter Wasserfläche (m^2), mittlere Tiefe (ohne Wasser-Land-Schnittstelle, cm), Wald in Umgebung (%), Uferverlauf (dimensionslos), Beschattung des Gewässers (Klasse), Meereshöhe (m ü. M.) und biogeografischen Region wurden in der Benutzeroberfläche der Ecole d'ingénieur de Lullier EIL (Indermühle et al., 2008) eingetragen und daraus die maximale Vielfalt (n_3 , Anzahl Gattungen) und der IBEM berechnet. Das Resultat wurde einer Qualitätsklasse zugeteilt. Sehr gut (blau, >0.8), gut (grün, 0.8 - 0.6), mässig (gelb, 0.6 - 0.4), unbefriedigend (orange, 0.4 - 0.2), schlecht (rot, <0.2). Der Gesamtbiodiversitätsindex für das Gewässer ergibt sich aus dem Durchschnitt der IBEM-Werte der vier untersuchten Organismengruppen.

	Makrophyten	Gastropoda	Coleoptera	Odonata	Bellacher Weiher
Beobachtete Vielfalt (n)	14	5	8	10	-
Tatsächliche Vielfalt (n_2)	19.92	5	11.83	10	-
Maximale Vielfalt (n_3)	24.9	13.4	16.9	14.6	-
IBEM	0.80	0.37	0.70	0.68	0.64
Qualitätsklasse	Gut	Unbefriedigend	Gut	Gut	Gut

CIEPT

Der Biodiversitätsindex CIEPT bewertet den biologischen Zustand des Bellacher Weihers im Jahr 2016 als mässig (CIEPT=0.6). Insgesamt wurden 8 Gattungen Coleoptera, 22 Familien Makroinvertebraten (ohne Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera EPT) und 5 Familien EPT nachgewiesen. Die berechnete tatsächliche Vielfalt liegt bei 11.83 Coleoptera, 23.91 Makroinvertebraten ohne EPT und 5.00 EPT (Tabelle 36, Anhang B – Rohdaten, Tabelle 9).

Tabelle 9: Bewertungsmatrix des Biodiversitätsindex CIEPT (Menetrey et al., 2011) für die drei Organismengruppen Coleoptera (C), Makroinvertebraten (I, ohne Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera) und Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera (EPT) für den Bellacher Weiher im Jahr 2016. Pro Organismengruppe ist die tatsächliche Vielfalt (n_2 , Bestimmungsniveau Familienebene ausgenommen Coleoptera bis Gattungsebene) mit Hilfe der Schätzungsmethode Jackknife (Smith & Pontius, 2006) aus der beobachteten Vielfalt (n) berechnet. In der Sjk-Matrix ist pro Organismengruppe die Anzahl tatsächlicher Taxa (n_2) in der entsprechenden Kategorie markiert (fettgedruckt). Das Punktetotal dividiert durch 15 ergibt den CIEPT sowie die Qualitätsklasse. Sehr gut (blau, >0.85), mässig (gelb, 0.6 - 0.85), schlecht (rot, <0.6) zugeteilt. Farbcodierung gemäss Woodtli (2016).

Sjk-Matrix	Punkte		
	5	3	1
Sjk Coleoptera (C)	≥ 13.2	9 – 13.19	< 9
Sjk Makroinvertebraten (I)	≥ 32.2	32.19 – 26	< 26
Sjk EPT	≥ 4.3	3 – 4.29	< 3
		Punktetotal	9
		CIEPT	0.6
		Qualitätsklasse	Mässig

Diversität

Insgesamt wurden im Bellacher Weiher 35 Taxa Makrozoobenthos (Bestimmungsniveau Familienebene ausgenommen Coleoptera bis Gattungsebene) und 2084 Individuen bestimmt. Der Shannon-Index beträgt 3.40, der Evenness 0.66 und der Simpson-Index 0.86.

Die Rohdaten der biologischen Zustandsaufnahme des Bellacher Weihers und weitere Umweltvariablen befinden sich in Anhang B - Rohdaten (Tabelle 32, Tabelle 33, Tabelle 34, Tabelle 35, Tabelle 36) und Anhang B – Probenahme (Tabelle 28).

4. Diskussion

4.1 Chemisch-physikalischer Zustand

Gemäss der LAWA-Methode befände sich der Bellacher Weiher natürlicherweise in einem polytrophen (natürlicher Phosphoreintrag) respektive stark eutrophen Zustand (Seebeckenmorphometrie). Da das Einzugsgebiet im Verhältnis zur Grösse des Weihers relativ gross ist (Weiherfläche entspricht 0.09 % des Einzugsgebietes, vergleichbare Weiherflächen im Kanton Zürich liegen bei mindestens 2.24 % des Einzugsgebietes (beispielsweise Lützelsee) (AWEL, 2016), wurde bei dieser Methode natürlicherweise ein sehr hoher mittlerer Total-Phosphor-Eintrag im Zufluss von 0.7 mg/l P berechnet. Bei keiner Messung am Zufluss des Bellacher Weihers von 2009 bis 2016 wurden solch hohe Total-Phosphor-Konzentrationen gemessen. Der Höchstwert lag bei 0.12 mg/l P (09.12.09) (Abbildung 29, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016). Die heutigen Einträge an Phosphor, die zusätzlich durch die Land- und Siedlungswirtschaft entstehen, müssten deutlich höher liegen, als die natürlichen Auswaschungen aus dem Boden. Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass die Berechnung des Trophiegrades anhand des natürlichen Phosphoreintrags nicht dem wahren Referenzzustand des Bellacher Weihers entspricht. Die anhand der Seebeckenmorphometrie (LAWA, 1998) berechnete Referenzsichttiefe von 0.95 m, welche einem stark eutrophen Zustand (eutroph 2) entspricht, wurde im Jahr 2016 nie erreicht. Sie war im Bellacher Weiher immer grösser als die Referenzsichttiefe (1 bis 1.83 m). Dies lässt darauf schliessen, dass sich der Bellacher Weiher aktuell in einem weniger nährstoffreichen Zustand befindet.

Mit einem Jahresminimum von 1 m Sichttiefe befand sich der Bellacher Weiher im Jahr 2016 in einem eutrophen Zustand (Vollenweider OECD, 1982). Gemäss der Methode von Oertli & Frossard (2013) befand sich der Bellacher Weiher 2016 auf der Schwelle zwischen eutroph zu mesotroph (Sichttiefe) respektive in einem mesotrophen Zustand (Total-Phosphor-Konzentration im Februar). In den Jahren 2009 bis 2015 sind keine Messwerte der Total-Phosphor-Konzentration im Februar vorhanden, weshalb für die Bestimmung des Trophiegrades in diesen Jahren anhand der Methode von Oertli & Frossard (2013) die Messwerte der Total-Phosphor-Konzentration anfangs März verwendet wurden. Diese bewegten sich in allen untersuchten Jahren zwischen 0.026 und 0.037 mg/l P und befanden sich unterhalb oder leicht oberhalb der Schwelle zwischen mesotroph und eutroph (Referenzwert 0.035 mg/l P, Oertli & Frossard, 2013). Der Bellacher Weiher befand sich in den Jahren 2009 bis 2015 vermutlich in einem meso- bis eutrophen Zustand und somit in einer produktionsschwäche-

ren Trophieebene als anhand der Seebeckenmorphometrie (LAWA, 1998) natürlicherweise zu erwarten wäre.

Die Jahresmittel der Total-Phosphor-Konzentrationen (mg/l P) des Bellacher Weihers während der Messreihe 2009 bis 2016 werden anhand der Qualitätsanforderungen des AWEL (Niederhauser et al., 2006) in 5 von 8 Jahren (2010, 2012, 2013, 2014, 2016) als gut und in 3 von 8 Jahren (2009, 2011, 2015) als mässig bewertet. Werden die Kriterien der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung OECD (Menetrey, 2016) für das Jahresmittel der Total-Phosphor-Konzentration (mg/l P) verwendet, wird der Bellacher Weiher in den Jahren 2009, 2011, 2012, 2014, 2015 als mässig, in den Jahren 2010, 2013 und 2016 als gut beurteilt. Mit den Kriterien des Französischen Amt für Wasser (DCE – AERMC, Menetrey, 2016) wird die Total-Phosphor-Konzentration des Bellacher Weihers in den Jahren 2009 bis 2015 der Kategorie mässig, im Jahr 2016 der Kategorie gut zugewiesen. Anhand der Kriterien der internationalen Kommission für den Schutz der Gewässer um den Genfersee CIPEL (Menetrey, 2016) wird der Bellacher Weiher in den Jahren 2009 bis 2015 als unbefriedigend, im Jahr 2016 als mässig bewertet (Tabelle 10).

Tabelle 10: Bewertung der Jahresmittel der Total-Phosphor-Konzentrationen (mg/l P) des Bellacher Weihers während der Messreihe 2009 bis 2016 anhand von verschiedenen Methoden (AWEL, Niederhauser et al., 2006, OECD, DCE-AERMC, CIPEL, Menetrey, 2016) und dessen Einteilung in Qualitätsklassen sehr gut (blau), gut (grün), mässig (gelb), unbefriedigend (orange) und schlecht (rot).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
AWEL (Niederhauser et al., 2006)	gelb	grün	gelb	grün	grün	grün	gelb	grün
OECD (Menetrey, 2016)	gelb	grün	gelb	gelb	grün	gelb	gelb	grün
DCE-AERMC (Menetrey, 2016)	gelb	grün						
CIPEL (Menetrey, 2016)	orange	gelb						

Die Beurteilung der Sauerstoff-Konzentration (mg/l O₂) des Bellacher Weihers erfolgte anhand der Anforderungen der Gewässerschutzverordnung GschV (1998) für stehende, natürlicherweise oligo- bis mesotrophe Gewässer. Für eutrophe Seen und Weiher existieren keine gesetzlichen Vorgaben für die Sauerstoff-Konzentration (GSchV, 1998). Der Bellacher Weiher erfüllte bei allen Messungen von 2009 bis 2016 an allen Standorten (Zufluss, Weihermitte, Abfluss) und in jeder Tiefenmessung der Weihermitte (50 cm, 100 cm, 150 cm) die Qualitätsanforderungen der GSchV (1998). Das Sauerstoffdefizit zwischen Grundnähe und Oberfläche betrug 2016 69 % (Median Sauerstoff-Konzentration Grundnähe / Median Sauerstoff-Konzentration Oberfläche der Messungen während der Monate Juli bis Oktober). Mit einem Sauerstoffdefizit von 69 % zwischen Oberfläche und Grundnähe wird der Bellacher Weiher hinsichtlich der Sauerstoff-Konzentration in die Kategorie gut eingeteilt (Menetrey, 2016).

Bei den Beurteilungen nach GSchV (1998), LAWA (1998), AWEL (Niederhauser et al, 2006), Oertli & Frossard (2013), Vollenweider (OECD, 1982), OECD (Meneytre, 2016), DCE – AERMC (Meneytre, 2016) und CIPEL (Meneytre, 2016) ist festzuhalten, dass es sich um Kriterien zur Beurteilung von Seen handelt. Da es für Weiher und Kleinseen wenig Bewertungsmethoden gibt, wurden Kriterien für Seen herangezogen. Weiher und Kleinseen haben natürlicherweise eine höhere Produktion, höhere Nährstoff-Konzentrationen und einen höheren Trophiegrad als grössere Stillgewässer, weshalb die Beurteilung des Bellacher Weihers möglicherweise zu streng ausfällt. Im Kanton Zürich werden Kleinseen jedoch standardmässig anhand der Kriterien des AWEL (Niederhauser et al., 2006) beurteilt.

Am 06.04.16 betrug die Sauerstoff-Konzentration und -sättigung in der Weihermitte 22.97 mg/l respektive 223 %. Bei der Messung wurde eine auffällige Blasenbildung an der Sonde entdeckt, weshalb die Messung mehrmals wiederholt wurde. Bei einer Untersuchung von 80 Teichen der Schweiz wurden Sauerstoffmessungen mit Werten zwischen 0 und 158 % gemessen (Oertli & Frossard, 2013). Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass die Messung durch die Blasenbildung gestört wurde. Allerdings wurden im Bellacher Weiher schon früher (Frühling) sehr hohe Sauerstoff-Konzentrationen von mehr als 158 % gemessen. Möglicherweise ist dies durch die Sauerstoffproduktion der grossen Algenpopulation im Frühjahr zu erklären.

Die Diskussion weiterer relevanter chemisch-physikalischer Parameter des Bellacher Weihers befinden sich im Anhang A – Diskussion chemisch-physikalischer Zustand.

4.2 Chemisch-physikalischer Zustand im Vergleich zu anderen Gewässern

Die Total-Phosphor-Konzentrationen (mg/l P) in sechs durch das AWEL (2016) untersuchten Kleinseen im Kanton Zürich sind seit den Achtzigerjahren stark zurückgegangen. Die Kleinseen wurden mit den Methoden des AWEL (Niederhauser et al., 2006) bewertet. Der natürlicherweise mesotrophe Mettmenhaslisee erreichte seit 2003 und die natürlicherweise eutrophen Katzen- und Seeweidsee seit 1995 respektive 2008 die Kategorie gut. Der natürlicherweise mesotrophe Grosse Husemersee schwankt seit Mitte der Neunzigerjahre zwischen den Kategorien gut und mässig. Der natürlicherweise eutrophe Lützelsee schwankt seit einigen Jahren zwischen den Kategorien mässig und unbefriedigend, der ebenfalls natürlicherweise eutrophe Egelsee ist trotz abnehmenden Konzentrationen weiterhin in einem schlechten Zustand (AWEL, 2016). Der Bellacher Weiher schwankt während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen einem guten und mässigen Zustand.

Die untersuchten Zürcher Kleinseen weisen alle deutlich grössere Maximal- und Durchschnittstiefen als der Bellacher Weiher auf (Maximaltiefen zwischen 5.3 m und 14.3 m,

Durchschnittstiefen zwischen 3.3 m und 6.5 m) und leiden zeitweise aus unterschiedlichen Gründen wie Windschutz, Winterstagnation oder Abbau von Biomasse unter Sauerstoffmangel im Tiefenwasser (AWEL, 2016). Aufgrund der geringen Tiefe des Bellacher Weihers (mittlere Tiefe 1.1 m, maximale Tiefe 2.2 m) kann schon eine nächtliche Abkühlung für eine Zirkulation des Wassers reichen und Sauerstoff in die Tiefe verfrachtet werden (Niederhauer et al., 2006). In Grundnähe und im Sediment sind allerdings schlechte Sauerstoffverhältnisse zu erwarten und es können sich reduzierte Verbindungen bilden, welche aufgewirbelt werden können (Guthruf et al., 2015).

Die Total-Phosphor-Konzentrationen (mg/l P) des Bellacher Weihers und des vergleichbaren Seeweidsees im Kanton Zürich (Einzugsgebiet: 25.8 ha, prozentualer Anteil an Landwirtschaftsfläche: 40 %, Fläche: 1.2 ha, maximale Tiefe: 5.3 m, mittlere Tiefe: 3.3 m) bewegten sich in den letzten Jahren in einem ähnlichen Bereich. Allerdings sind die Jahresmittel der Stickstoff-Konzentrationen (mg/l N) des Bellacher Weihers massiv höher. Im Jahr 2014 ist das Jahresmittel der Stickstoff-Konzentration im Bellacher Weiher um das 13-fache grösser als im Seeweidsee (Bellacher Weiher 2.58 mg/l N, Seeweidsee 0.22 mg/l N) (AWEL, 2016). Der grösste Teil der Stickstoffeinträge in Gewässer wird durch die Landwirtschaft verursacht (BAFU, 2014). Das grosse Einzugsgebiet und das umliegende Landwirtschaftsland könnten Gründe für die hohen Stickstoffwerte im Bellacher Weiher sein. Im Seeweidsee sind in Bodennähe hohe Ammonium-Konzentrationen von bis zu 0.2 mg/l N gemessen worden (AWEL, 2016). Im Bellacher Weiher wird dieser Wert im Oberflächenwasser regelmässig überschritten.

Vergleichbare polymiktische Kleinseen (Seen mit mehrmaliger Vollzirkulation pro Jahr) im Kanton Bern respektive an der Kantongrenze zwischen Bern und Solothurn sind der Lobsigensee und der Inkwilersee. Der natürliche Trophiegrad der beiden Seen wurde mit der LAWA-Methode (1998) anhand der Seebeckenmorphometrie bestimmt, der aktuelle Zustand anhand verschiedener Kenngrössen (Phosphorgehalt, Biomasse des pflanzlichen und tierischen Planktons (Artenzusammensetzung), Sauerstoffgehalt, Sichttiefe, Schwermetalle im Sediment, Makrozoobenthos, organische Spurenstoffe) ermittelt (Guthruf et al., 2015).

Der natürlicherweise eutrophe Lobsigensee (Einzugsgebiet: 93 ha, prozentualer Anteil an Landwirtschaftsfläche: 84 %, Fläche: 2 ha, maximale Tiefe: 2.5 m) ist durch eine hohe Produktion, Eintrag von Drainagewasser sowie Rücklösung von Phosphor aus dem Sediment geprägt und wird in einer Untersuchung im Jahr 2013 als polytroph bewertet. Er weist keine Veränderung seit der ersten Untersuchung 1994 auf. Die Total-Phosphor-Konzentration auf 20 cm Wassertiefe bewegte sich im Lobsigensee im Jahr 2013 um 0.10 mg/l P. Der Bellacher Weiher wies im selben Jahr die Hälfte bis ein Drittel dieser Konzentration auf. Allerdings

waren die Total-Stickstoff-Konzentrationen im Jahr 2013 im Bellacher Weiher (2.5 bis 4.5 mg/l N) meist höher als im Lobsigensee (1 bis 2 mg/l N im Sommer und Herbst) (Guthruf et al., 2015). Die Sauerstoffwerte des Lobsigensees erfüllten 2013 die Qualitätsanforderungen der GSchV (1998) in Oberflächennähe, im Sommer jedoch nicht in Bodennähe. Schon in einer Tiefe von 1.5 m unterschritt die Sauerstoff-Konzentration den geforderten Mindestwert von 4 mg/l O₂ (17.06.13, 28.08.13) (Guthruf et al., 2015). Für den Bellacher Weiher existieren nur für das Jahr 2016 Sauerstoffdaten in einer Tiefe von 1.5 m. Der Bellacher Weiher wies im Sommer 2016 auf dieser Tiefe teilweise immer noch sehr hohe Werte von mehr als 14 mg/l O₂ (06.06.16) auf. Ein Grund könnte die geringe Tiefe sein, die schon bei einer nächtlichen Abkühlung zu einer Vollzirkulation führen und Sauerstoff in die Tiefe verfrachten kann (Guthruf et al., 2015). Dank der geringen Tiefe dringt Sonnenlicht bis auf den Seegrund vor. Dies begünstigt das Algenwachstum und somit die Sauerstoffproduktion in allen Tiefen, was ein weiterer Grund für die guten Sauerstoffwerte im Bellacher Weiher sein könnte.

Der natürlicherweise eutrophe Inkwilersee (Einzugsgebiet: 4.68 km², prozentualer Anteil an Landwirtschaftsfläche: 65 %, Fläche: 1 ha, maximale Tiefe: 5 m) wurde 2013 als polytroph bewertet und zeigte trotz Sanierungsmassnahmen keine Veränderung seit der ersten Untersuchung 1993. Die Total-Phosphor-Konzentrationen des Inkwilersees wiesen bei den Untersuchungen im Sommer 2003 sowie 2013 im Vergleich zum Bellacher Weiher (Sommer 2013) ungefähr eine sieben- bis zwölffache höhere Konzentration des Total-Phosphors auf (Inkwilersee 2003: 0.25 mg/l P, 2013: 0.20 - 0.33 mg/l P, Bellacher Weiher 2013: 0.027 - 0.033 mg/l P). Die Total-Stickstoff-Konzentrationen befanden sich auf einem ähnlichen Niveau wie die Jahresmittel des Bellacher Weihers. Die Sauerstoffwerte des Inkwilersees lagen bis auf einer Tiefe von circa 3 m über den Qualitätsanforderungen von 4 mg/l O₂ der GSchV (1998), darunter herrschte während den Sommermonaten Sauerstoffmangel. Im Sommer reicherten sich reduzierte Verbindungen wie Ammonium stark an. Die bodennahen Ammonium-Konzentrationen waren mit Werten zwischen 0.07 mg/l N (3 m) und 0.27 mg/l N (4 m) im Inkwilersee jedoch oft tiefer als die oberflächlichen Konzentrationen von bis zu 0.56 mg/l N im Bellacher Weiher (Guthruf et al., 2015).

Der Lobsigen- sowie der Inkwilersee befinden sich im sehr intensiv landwirtschaftlich genutzten Mittelland und Nährstoffe wie Phosphor und Stickstoff stehen im Überfluss zur Verfügung. Dies führt in den Flachseen zu Algenblüten und Sauerstoffmangel. Reduzierte Verbindungen gefährden den Lebensraum für viele Tiere und Pflanzen (Guthruf et al., 2015). Der Bellacher Weiher liegt ebenfalls in intensiv genutztem Gebiet. Er befindet sich im Vergleich zu diesen beiden Seen hinsichtlich der Total-Phosphor-Konzentration und der Sauerstoff-Konzentration jedoch in einem besseren Zustand. Hinsichtlich der Stickstoffparameter befindet sich der Bellacher Weiher immer noch in einem bedenklichen Zustand. Die Total-

Stickstoff- und Ammonium-Konzentrationen im Bellacher Weiher sind vergleichbar oder höher als diejenigen der Berner Flachseen Lobsigen- und Inkwilersee.

Die Verlandung von Kleinseen im Mittelland ist ein bekanntes Problem. Die Untersuchung des Amt für Wasser und Abfall AWA des Kantons Bern (Guthruf et al., 2015) hat trotz der Reduktion von Nährstoffeinträgen aus dem Seeinzugsgebiet keine positive Entwicklung in zehn untersuchten Gewässern seit 1993 festgestellt. Sanierungsmassnahmen wurden teilweise getroffen, zeigten aber geringe Wirkung. Aus gewässerökologischer Sicht und im Interesse der Förderung und Erhaltung der Biodiversität vertritt das AWA Bern den Standpunkt, beim Lobsigensee eine dynamische Entwicklung in Richtung Feuchtgebiet zuzulassen, diese aber nicht zusätzlich zu fördern. Die Lebensräume werden sich dabei sukzessiv verändern. Am Inkwilersee sind diverse Sanierungsmassnahmen getroffen worden. Dies beinhaltet unter anderem die Ausbaggerung von Sediment und die Ableitung von Tiefenwasser. Diese Massnahmen vergrössern den Lebensraum für aquatische Lebewesen, stoppen aber den Verlandungsprozess nur bedingt. Die Lebensdauer des Inkwilersees wird dadurch verlängert (Guthruf et al., 2015). Es ist unklar, ob der Verlandungsprozess im Bellacher Weiher gestoppt wurde respektive werden kann. Um mindestens eine Verlangsamung zu erreichen, müssen die Einträge an Nährstoffen insbesondere an Stickstoff weiter reduziert werden.

4.3 Biologischer Zustand

Der Weiherboden des Bellacher Weihers ist grossflächig mit Schlamm bedeckt. Im Sediment sind sauerstofflose und in Grundnähe schlechte Sauerstoffverhältnisse zu erwarten. Mit Schlamm bedeckte Bereiche und sauerstoffloses Tiefenwasser bieten wenig bis keinen Lebensraum für Makrophyten und Makrozoobenthos. Das Vorkommen von Makrozoobenthos ist bei schlammigen und sauerstoffarmen Bedingungen am Grund oft auf die sauerstoffreiche Uferzone beschränkt (Guthruf et al., 2015).

Makrophyten werden durch eine geringe Wassertiefe, einem geringem Anteil an Wald in der Umgebung des Weihers, einer geringer Leitfähigkeit, einer guter Sichttiefe im Sommer und einer grosser Seeoberfläche begünstigt (Indermühle et al., 2008). Der Bellacher Weiher bietet hinsichtlich der geringen Wassertiefe (durchschnittliche Tiefe 112.6 cm) und der geringen Bewaldung in der Umgebung (15 %) einen guten Lebensraum für Makrophyten und diese Indikatorgruppe wird gemäss der IBEM-Methode (Indermühle et al., 2008) als gut bewertet. Die Leitfähigkeit des Bellacher Weihers befand sich im Winter während der Messreihe 2009 bis 2016 mit durchschnittlich 554 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in einem Bereich, der das Wachstum von Makrophyten beeinträchtigen kann (Indermühle et al., 2008). Im Bellacher Weiher beschränkt sich der Makrophytenbewuchs auf die Uferzone sowie den westlichen Teil des Weihers. Der Grossteil

des Bewuchses wird durch Schilf *Phragmites australis* und Rohrkolben *Typha sp.* vertreten, Unterwasser- und Schwimmpflanzen fehlen weitgehend und sind nur im westlichen, seichten Teil des Weihers zu finden. Offene Wasserflächen mit Makrophytenbewuchs würden zusätzlichen Lebensraum für Makroinvertebraten schaffen (Indermühle et al., 2008).

Coleoptera werden durch einen guten Uferverlauf (> 1.5) und einem hohen Anteil an Unterwasserpflanzen begünstigt (Indermühle et al. 2008). Die Bewertung der Organismengruppe Coleoptera im Bellacher Weiher fällt trotz des schlechten Uferverlaufs (1.28) und dem weitgehenden Fehlen von Unterwasservegetation (circa 3%) gemäss der IBEM-Methode (Indermühle et al., 2008) gut aus. Gastropoda werden durch die Anwesenheit von Unterwasser- und Schwimmpflanzen, einer guten Sichttiefe, einer grossen Seeoberfläche und einer tiefen Höhenlage begünstigt. Der optimale Anteil an Schwimmpflanzen für Gastropoda liegt bei circa 60 %. Je höher der Anteil an Unterwasserpflanzen, desto mehr Gastropoda sind zu finden. Die Bewertung der Gastropoda anhand der IBEM-Methode (Indermühle et al., 2008) fällt in die Kategorie unbefriedigend. Dies ist mit grosser Wahrscheinlichkeit auf das weitgehende Fehlen von Unterwasservegetation (3 %) und das beinahe vollständige Fehlen von Schwimmvegetation sowie den schlammigen Untergrund zurückzuführen. Grössere, nicht mit Schlamm bedeckte Bereiche würden im Bellacher Weiher mit grosser Wahrscheinlichkeit zu einer grösseren Vielfalt an Makrophyten und Makrozoobenthos führen (Indermühle et al., 2008).

Odonata werden durch eine grosse Seeoberfläche, einem hohen Anteil an Unterwasserpflanzen und einer tiefen Höhenlage begünstigt. Die gute Bewertung der Organismengruppe Odonata (Adult-Tiere) gemäss der IBEM-Methode (Indermühle et al., 2008) ist vermutlich auf die guten und sonnigen Uferstrukturen und den flachen, mit Unterwasserpflanzen (3 % der Weiherfläche) bewachsenen westlichen Teil des Bellacher Weihers zurückzuführen. An dieser Stelle (Sektor 3) wurden die meisten Gattungen ($n=6$ respektive $n=7$) beobachtet. Die Unterwasserpflanzen und die gute Besonnung in diesem Sektor begünstigen das Vorkommen von Odonata. Die Grösse des Bellacher Weihers (3.3 ha) sowie die tiefe Lage (455 m ü. M.) sind für eine grosse Artenvielfalt der Odonata von Vorteil (Indermühle et al., 2008).

Die Gesamtbewertung des Bellacher Weihers anhand der IBEM-Methode (Indermühle et al., 2008) fällt in die Kategorie gut und setzt sich aus dem Durchschnitt der Einzelbewertungen der Indikatorgruppen zusammen. Die unbefriedigende Qualität der Gastropoda beeinflusst die Gesamtbewertung nicht negativ. Die Beurteilung des gesamten Makrozoobenthos anhand der CIEPT Methode (Menetrey et al., 2011) fällt in die Kategorie mässig. Gründe für diese Bewertung sind fehlende Lebensraumstrukturen wie Unterwasser- und Schwimmpflanzen und der schlammige Weihergrund (Indermühle et al., 2008).

Die Organismengruppen Amphibien und adulte Odonata korrelieren weniger stark mit der Qualität eines Weihers als das Makrozoobenthos und sind deshalb weniger gute Indikatoren für die biologische Güte eines Gewässers (Menetrey et al., 2011). Sie werden oftmals als Flaggschiffarten für naturschützerische Aktivitäten verwendet, um politischen Rückhalt, Sympathie und Unterstützung zu gewinnen (Semlitsch, 2003 & Oertli, 2008).

Der Bellacher Weiher liegt an der Grenze zwischen den biogeografischen Regionen Mittelland und Jura. Die Wahl der biogeografischen Region für die Berechnung des IBEM (Jura oder Mittelland) bewirkt keine Veränderungen der Gesamtbewertung des Bellacher Weihers.

Die bestimmten Gattungen der adulten Odonata im Jahr 2016 sind nicht vollständig deckungsgleich mit vorhandenen Daten des CSCF (Hoess, 2007). Demnach wurden die Gattungen *Crocothemis sp.*, *Orthretrum sp.*, *Somatochlora sp.* und *Sympetrum sp.* im Jahr 2007 nicht beobachtet. Die anderen Gattungen aus den Aufnahmen von 2016 sind im Jahr 2007 ebenfalls beobachtet worden (Hoess, 2007).

Der Shannon- und Simpson-Index sind zwei Diversitätsindizes, welche die Artenzahl und die Abundanz respektive die Regelmässigkeit der Verteilung einer Lebensgemeinschaft einer Untersuchung in Zahlen beschreiben. Der Evenness wird aus dem Shannon-Index berechnet und beschreibt die Regelmässigkeit respektive die Dominanz einer Art in einer Untersuchung. Der Shannon-Index, berechnet auf Basis 2 (\log_2) liegt bei Untersuchungen in unseren Breitengraden in den meisten Fällen zwischen > 0 und 4.5 und ist selten > 5 . Ein Shannon-Index nahe bei 0 bedeutet, dass sämtliche Individuen einer Untersuchung einer Art angehören. Je näher der Shannon-Index bei 5 liegt, desto mehr Arten mit regelmässiger Verteilung sind zu finden. Ein Simpson-Index von 0 bedeutet 'keine Diversität', ein Simpson-Index von 1 bedeutet eine 'grosse Diversität'. Je näher der Evenness bei 1 ist, desto gleichmässiger sind die einzelnen Taxa vertreten. Ein Evenness nahe von 0 bedeutet eine starke Dominanz einer Art (Gufler et al., 2016). Der Shannon-Index der Lebensgemeinschaft Makrozoobenthos des Bellacher Weihers von 3.40 ergibt sich aus einer hohen Anzahl Taxa, welche durch eine leicht unregelmässige Verteilung gekennzeichnet ist. Der Evenness von 0.66 bedeutet, dass die Individuen leicht unregelmässig verteilt sind und einzelne Taxa dominieren. Im Bellacher Weiher sind die dominierenden Familien des Makrozoobenthos die Baetidae (440 Individuen), die Chironomidae (496 Individuen), die Corixidae (341 Individuen) und die Asselidae (188 Individuen). Der Simpson-Index von 0.86 lässt auf eine recht gute Diversität schliessen.

Die Diskussion zum Fischsterben vom September 2016 ist im Anhang B – Diskussion Fischsterben zu finden.

4.4 Biologischer Zustand im Vergleich zu anderen Gewässern

Von 63 mit der IBEM Methode untersuchten Weihern im Schweizer Mittelland wiesen 13 % eine sehr gute, 38 % eine gute, 38 % eine mässige und 11 % eine schlechte Qualität auf (Indermühle et al., 2010). Der Bellacher Weiher befindet sich mit einer Gesamtbewertung des biologischen Zustandes von gut in einer in der Schweiz häufig vorkommenden Kategorie. Einer von zwei der in der Studie von Indermühle et al. (2010) untersuchten Weiher weist einen degradierten ökologischen Zustand (mässig, schlecht) auf, was auf ökologische Mängel hinsichtlich der strukturellen und funktionellen Vielfalt zurückzuführen ist.

Eine Untersuchung des Makrozoobenthos im Lobsigen- und Inkwilersee widerspiegeln einen schlechten Zustand der ökologischen und biologischen Qualität dieser Stillgewässer. Der Seegrund dieser Kleinseen ist nur spärlich mit Makrozoobenthos besiedelt. Im Lobsigensee wurden ausser Fadenwürmer (Nematoden) keine anderen Benthosorganismen gefunden. Die Besiedelung des Grundes durch Invertebraten wird durch die wechselnden sauerstoffarmen und -reichen Bedingungen und die Bildung von toxischem Schwefelwasserstoff verhindert. Das Makrozoobenthos im Inkwilersee wird hauptsächlich durch Schlammröhrenwürmer (Tubificidae) vertreten. Diese Organismengruppe ist gut an nährstoffreiche Bedingungen und kurzfristigen Sauerstoffmangel angepasst. Die genauen Erhebungsmethoden und Taxa-Listen des Inkwiler- und Lobsigensees sind nur bedingt vorhanden (Guthruf et al., 2015). Im Bellacher Weiher wurde eine grosse Vielfalt von 35 Taxa gefunden. Dies ist wahrscheinlich auf die guten Sauerstoffverhältnisse in Ufernähe zurückzuführen. In allen zehn untersuchten Kleinseen im Kanton Bern können rund 50 bis 70 % des Seegrundes aufgrund von toxischen Verbindungen, Sauerstoffmangel am Seegrund und der schlechten Beschaffenheit des Sedimentes nicht von Benthosorganismen bewohnt werden. Die Uferbereiche weisen durch bessere Sauerstoffverhältnisse eine grössere Artenvielfalt und grössere Individuendichten auf (Guthruf et al., 2015).

4.5 Ausblick

In Europa sind Bemühungen im Gange, Stillgewässer besser zu schützen. Allerdings beschränken sich diese oftmals nur auf Gewässer mit einer Wasserfläche grösser als 50 ha. Kleingewässer und Weiher sind davon ausgeschlossen (Indermühle et al., 2010). In der Schweiz forscht die Ecole d'Ingénieurs de Lullier (EIL) intensiv an Weihern und Kleinseen und entwickelt Methoden für die Beurteilung (Menetrey et al., 2005, Menetrey et al., 2011, Oertli et al., 2002). Ein standardisiertes Bewertungsverfahren des Bundes (Modulstufenkonzept MSK) für Seen ist in Ausarbeitung (Schlosser et al., 2013).

Der Bellacher Weiher ist im Vergleich zu anderen Kleinseen und Weihern hinsichtlich der Total-Phosphor-Konzentration in einem guten Zustand. Während der Messreihe 2009 bis 2016 war eine signifikante Abnahme der Total-Phosphor-Konzentration in der Weihermitte zu verzeichnen. Ebenfalls wurde eine signifikante Abnahme der Nitrat- und Total-Stickstoff-Einträge festgestellt. Die hohen Konzentrationen der Stickstoffparameter sind jedoch immer noch bedenklich. Möglicherweise konnte die Abnahme der Stickstoff- und Phosphoreinträge mit dem Landwirtschaftsprogramm erreicht werden. Um den Eintrag von Nährstoffen weiter zu vermindern, muss das Wissen über die Problematik und die Zusammenarbeit mit den umliegenden Landwirten gepflegt werden. Das AWEL empfiehlt durch Erosionsschutz und Extensivierung der Landwirtschaft ein besseres Fernhalten von Phosphor- und Stickstoffeinträgen in Weihern und Kleinseen zu erreichen (AWEL, 2016).

Ob und inwiefern die Sanierungsmassnahmen am Bellacher Weiher Wirkung zeigen, ist in den nächsten Jahren weiter zu untersuchen. In der Schweiz werden auch andere Seen wie beispielsweise der Heidsee in der Lenzerheide mit Plocher-Produkten behandelt. Dort ist eine Verbesserung der Wasserqualität und Abnahme der Makrophyten-Bewuchs festzustellen. Es ist allerdings nicht wissenschaftlich untersucht, ob die Plocher-Produkte oder der gestoppte Nährstoffeintrag durch ein Düngeverbot als Hauptgrund für die Verbesserung der Wasserqualität verantwortlich sind (Plocher, 2003).

Die chemisch-physikalischen Untersuchungen im Jahr 2017 werden weiteren Aufschluss über Einzelereignisse und die Jahresverläufe der Parameter geben. Zusätzliche Untersuchungen des Tiefenprofils, des Tiefenwassers, des Sediments, des Phytoplanktons und/oder des Chlorophyll-Gehalts könnten weitere Erkenntnisse über die Verhältnisse am Weihergrund, vergangene Ereignisse, die Taxa-Zusammensetzung sowie den biologischen Zustand ergeben. Um die Biodiversität des Bellacher Weihers besser abzuschätzen, ist eine Untersuchung auf Artniveau verschiedener Indikatorgruppen anzustreben. Nur so ist es möglich festzustellen, ob der Bellacher Weiher auch Lebensraum für Rote-Liste-Arten oder national prioritäre Arten darstellt. Für wandernde Arten ist eine gute Vernetzung und Durchlässigkeit zu anderen Gewässern essentiell.

4.6 Fazit

Die Jahresmittel der Total-Phosphor-Konzentrationen (mg/l P) des Bellacher Weihers liegen in den Jahren 2010, 2012, 2013, 2014 und 2016 unterhalb und in den Jahren 2009, 2011 und 2015 über dem Zielwert von 0.040 mg/l P des AWEL (Niederhauser et al., 2006) für natürlicherweise eutrophe Seen und erfüllen die Qualitätsanforderungen in 5 von 8 Jahren (Kategorie gut).

Die Sauerstoff-Konzentration des Bellacher Weihers lag während der Messreihe 2016 bei allen Standorten (Zufluss, Weihermitte, Abfluss) und allen Tiefenmessungen der Weihermitte (50 cm, 100 cm, 150 cm) immer über 4 mg/l O₂ und während der Messreihe 2009 bis 2016 immer bei oder über 4 mg/l O₂ und erfüllte somit die Anforderungen der GSchV (1998).

Im Vergleich zu anderen Weihern in der Schweiz befindet sich der Bellacher Weiher hinsichtlich der Total-Phosphor-Konzentration (mg/l P) und der Sauerstoff-Konzentration (mg/l O₂) in einem guten chemisch-physikalischen Zustand. Der Bellacher Weiher weist jedoch immer noch sehr hohe Nitrat- und Total-Stickstoff-Konzentrationen auf.

Der Biodiversitätsindex IBEM (Indermühle et al., 2008) bewertet den biologischen Zustand des Bellacher Weihers im Jahr 2016 als gut für die Makrophyten, als unbefriedigend für die Gastropoda, als gut für die Coleoptera und als gut für die Odonata. Die Gesamtbewertung des Bellacher Weihers fällt in die Kategorie gut. Der Biodiversitätsindex CIEPT (Menetrey et al., 2011) bewertet den biologischen Zustand des Bellacher Weihers im Jahr 2016 als mässig. Insgesamt wurden im Bellacher Weiher 35 Taxa Makrozoobenthos (Bestimmungsniveau Familienebene ausgenommen Coleoptera bis Gattungsebene) und 2084 Individuen bestimmt. Der Shannon-Index beträgt 3.40, der Evenness 0.66 und der Simpson-Index 0.86.

Der biologische Zustand fällt mit der Gesamtbewertung gut anhand der IBEM-Methode (Indermühle et al., 2008) in eine häufig vorkommende Kategorie in der Schweiz und weist hinsichtlich des Makrozoobenthos deutlich mehr Taxa auf, als in vergleichbaren Kleinseen im Kanton Bern (Guthruf et al., 2015).

5. Literaturverzeichnis

Angelibert S., Indermühle N., Luchier D., Oertli B., Perfetta J. (2007). Where hides the aquatic biodiversity of macroinvertebrates in the Canton of Geneva (Switzerland)? *Archives des Sciences*, 59, 225-234.

Aschwanden H., Weingartner R. (1985). Die Abflussregimes der Schweiz. *Publikation Gewässerkunde*, 65.

AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Kanton Zürich. (2016). Qualität der Zürcher Seen.

http://www.awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/wasser/messdaten/see_qualitaet.html
abgerufen am 02.01.17

AWEL. (2014). Für Trinkwasser gültige Toleranz-, Grenz- und Erfahrungswerte. Zürich. *Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Kanton Zürich*.

BAFU. (11.2016). Geodaten. Bern. www.map.geo.admin.ch

Bellmann, H. (2013). Der Kosmos Libellenführer. Stuttgart. *Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG*.

Bundesamt für Umwelt BAFU. (02 2014). Stickstoff - Segen und Problem. *Umwelt - Natürliche Ressourcen in der Schweiz*.

Gentleman R., Ihaka R. (1997). R. The R Project for Statistical Computing. Auckland. *Statistics Department of the University of Auckland*.

Gewässerschutzverordnung (GschV). (28. Oktober 1998). *SR 814.201*. Bern. (Stand 2. Februar 2016).

Gufler C., Grimmer A., Antenen N., Egloff S., Refhardt D. (2016). Skript Bioindikation: Modul Gewässerökologie und Revitalisierung. ZHAW IUNR Wädenswil.

Guthruf K., Maurer V., Ryser R., Zeh M., Zweifel N. (2015). Zustand der Kleinseen. *Bau-, Verkehrs- und energiedirektion des Kantons Bern, Amt für Wasser und Abfall AWA, Gewässer- und Bodenschuttlabor GBL*. Bern.

Hoess R. (2016). Datenbank. *CSCF, Karch, CCO-KOF*.

Horisberger D., Stöckli L., Stöckli T. (2004). Bellacher Weiher - Der Natur auf der Spur. Bellach.

- Hütte M., Niederhauser P. (1998). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz. Ökomorphologie Stufe F (flächendeckend). *Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Vollzug Umwelt*. Bern.
- Imhof, T. (1987). Bellacher Weiher. Ökologische Diagnose. Sanierungsvorschläge. *Kanton Solothurn, Gemeinde Bellach, AONL Büro für angewandte Ökologie, Naturschutz und Landschaftspflege*. Biel.
- Indermühle N., Angélibert S., Oertli B. (2008). IBEM: Biodiversitätsindex für stehende Kleingewässer. Eine Methode zur Bewertung der Biodiversität stehender Kleingewässer. Handbuch. *Fachhochschule Ecole d'Ingénieurs de Lullier*. Genf.
- Indermühle N., Angélibert S., Rosset V., Oertli B. (2010). The pond biodiversity index IBEM: a new tool for the rapid assessment of biodiversity in ponds from switzerland. *Limnetica* 29 (1), 16. Link online-Tool: http://campus.hesge.ch/ibem/calcul_de_l_indice/initialisation.asp
- Kauf P. (2016). *tests_and_visuals_mac.R. R-Skript für Statistikanalysen*. ZHAW IAS Wädenswil.
- Knecht P. (2010). Umweltbericht Kanton Zürich: Zwischenbericht 2010. *Regierungsrat Kanton Zürich*. Baudirektion Zürich.
- Knopf K., Hoehn E., Mischke U. Nixdorf B. (2000). Klassifizierungsverfahren für Seen anhand des Phytoplanktons. *Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei*.
- Krausch, H.-D. (1996). *Farbatlas Wasser- und Uferpflanzen*.
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA. (1998). Gewässerbewertung stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien 1998. *Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern*.
- Liechti P. (1994). Der Zustand der Seen in der Schweiz. *Schriftenreihe Umwelt Nr. 237*.
- Liechti, P. (2010). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe. *Umwelt-Vollzug Nr. 1005., Bundesamt für Umwelt*, Bern. 44 S.
- Mürset U., Schilling S., Ott T. (2016). Schliessende Statistik für Umweltingenieure. ZHAW Wädenswil.
- Meier, R. (10.10.16). Aargauer Zeitung. Abgerufen am 30.12.16 von <http://www.aargauerzeitung.ch/solothurn/lebern-bucheggberg-wasseramt/trotz-toter-fische-im-inkwilersee-massnahmen-beginnen-zu-greifen-130628937>

Menetrey N., Oertli B., Lachavanne J. (2011). The CIEPT: A macroinvertebrate-based multimetric index for assessing the ecological quality of Swiss lowland ponds. *University of Geneva, Laboratory of Ecology and Aquatic Biology*.

Menetrey N., Sager L., Oertli B., Lachavanne J.B. (2005). Looking for metrics to assess the trophic state of ponds. Macroinvertebrates and amphibians. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15, 653–664.

Menetrey, N. (2016). Indicateurs qualite lacs resume2. Excel-file.

Niederer C. (2014). Relevanz von Ammonium und Nitrit im Abfall- und Altlastenbereich. *BMG Engineering im Auftrag vom BAFU*. Bern.

Niederhauser P., Känel B., Meier W. (2006). Wasserqualität *Statusbericht 2006* der Seen, Fließgewässer und des Grundwassers im Kanton Zürich. Zürich.

Nufer, A. (2014). Nachhaltige Sanierung des Bellacher-Weiher und seines Einzugsgebietes. *NUFERscience*. Zürich.

Nufer, A. (2015). Nachhaltige Sanierung des Bellacher-Weiher und seines Einzugsgebietes. Zwischenbericht zum Pilotprojekt Bellacher-Weiher 2015. *NUFERscience*. Zürich.

Oertli B., (2008). The use of dragonflies in the assessment and monitoring of aquatic habitats. *Dragonflies and Damselflies: Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research*, Oxford University Press, 79–95.

Oertli B., Auderset Joye D., Castella E., Juge R., Cambin D., Lachavanne J.B. (2002). Does size matter? The relationship between pond area and biodiversity. *Biological Conservation* 104, 59-70.

Oertli B., Auderset Joye D., Castella E., Juge R., Lehmann A., Lachavanne J.B. (2005). PLOCH: A standardized method for sampling and assessing biodiversity in ponds. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* , 15, 665-679.

Oertli B., Frossard P.-A. (2013). Mares et étangs. *Presses polytechniques et universitaires romandes*.

Pielou, E. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.* 1966, 13, 131-144.

PLOCHER Energiesysteme. (2003). Sanierung des Heidsees in der schweizerischen Lenzerheide. Gemeinde Vaz/Obervaz, Meersburg.

- Schlosser J.A., Haertel-Borer S., Liechti P., Reichert P. (2013). Konzept für die Untersuchung und Beurteilung der Seen in der Schweiz: Anleitung zur Entwicklung und Anwendung von Beurteilungsmethoden. *Umwelt-Wissen Nr. 1326*, 38.
- Semlitsch R.D. (2003). Amphibian Conservation. Washington. *Smithsonian Institution*.
- Shannon, E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379-423 & 623-656.
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of Diversity. *Nature*, Vol. 136, 688.
- Smith Christina D., Pontius Jeffrey S. (Januar 2006). Jackknife Estimator of Species Richness with S-PLUS. *Journal of Statistical Software*, 15.
- Stöckli, T. (2007). Der Natur auf der Spur - Ein Unterrichtsprojekt am Bellacher Weiher. Norderstedt. *Books on Demand GmbH*.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio-Polatera P. (2000). Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie. Paris. *CNRS Editions*.
- Vollenweider R.A., OECD. (1982). Eutrophication of Waters - Monitoring, assessment and control. *Organization for Economic Cooperation and development*, 154 .
- wetter.com GmbH Konstanz. (2016). Abgerufen am 30.12.16 von http://www.wetter.com/wetter_aktuell/rueckblick/?id=CH0CH0288
- Wuhrmann K., Zehender F., Woker H. (1992). Über die fischereibiologische Bedeutung des Ammonium- und Ammoniakgehaltes fließender Gewässer. *Eidgenössische Technische Hochschule ETH, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz*. Zürich.

Anhangsverzeichnis

Anhang A: Chemisch-physikalischer Zustand

- Feldprotokolle
- Laboranalyse
- Rohdaten 2016
- Rohdaten 2009 bis 2016
- Statistische Auswertungen
- Jahresverläufe 2016
- Jahresverläufe 2009 bis 2016
- Beurteilung
- Diskussion chemisch-physikalischer Zustand
- R-Skripte

Anhang B: Biologischer Zustand

- Probenahme
 - Rohdaten
 - Beurteilung
 - Diskussion Fischsterben
-

Anhang A: Chemisch-physikalischer Zustand

Feldprotokoll

Die Feldprotokolle der chemisch-physikalischen Messungen des Bellacher Weihers im Jahr 2016 inklusive Analysen aufgrund des Fischsterbens datiert auf den 22.09.16 sind in den Abbildung 12, Abbildung 13, Abbildung 14, Abbildung 15, Abbildung 16, Abbildung 17, Abbildung 18, Abbildung 19, Abbildung 20, Abbildung 21, Abbildung 22, Abbildung 23 dargestellt. Das Feldprotokoll vom 28.06.16 erhoben durch NUFERscience/AFU Solothurn fehlt.

ZHAW - Forschungsgruppe Ökohydrologie

Auftragsblatt: Bellacher-Weier
Datum: 08.02.2016
Wetter heute: bedeckt, kühl, windig
Wetter vorherige Tage: kühl, windig
Bearbeiter: C. Gees, C. Gufler, A. Nufer

Probestelle		Zulauf	Auslauf	Standort 4			Bemerkung
Probe Nr.		Z	A	M			
Zeit		11:15	10:45	09:15			
pH-Wert	-	8.13	8.60	8.64			
Temperatur	° C	8,0	6,1	6,1			
Leitfähigkeit	µS/cm	568	539	534			
Sauerstoff	mg/l	10.05	11.32	10.92	11.04	11.06	Messung Standort 4 (Tiefe: 50 cm, 100 cm, 150 cm)
Sauerstoff	%	89,3	96,1	92,9	93,8	94,0	Messung Standort 4 (Tiefe: 50 cm, 100 cm, 150 cm)
Trübung	NTU	2,27	3,74	1,98			
Sichttiefe	m	-	-	1,83			Grundsicht
Pegelstand	cm	-	-	58			Gemessen ab Null-Punkt Bootshaus
GUS	mg/l	2,0	2,0	1,8			Volumen (2 Liter)
Ammonium	mg/l N	0,025	0,080	0,083			
Nitrit	mg/l N	<0,015	<0,015	0,015			
Nitrat	mg/l N	4,43	3,48	3,43			
N-tot	mg/l N	*4,14	*3,47	*3,71			
P-ortho	mg/l P	<0,010	<0,010	<0,010			Spur-Test
P-tot	mg/l P	0,011	0,015	0,017			Spur-Test
Chlorid	mg/l Cl	5,9	7,2	5,9			
Sulfat	mg/l SO4	<40	<40	<40			
DOC	mg/l C	5,5	6,2	4,9			

Bemerkungen: * N-tot tiefer als die Summe von NO₃, NO₂ und NH₄. Differenz innerhalb Messfehler von 10 %.

Abbildung 12: Feldprotokoll chemisch-physikalische Parameter des Bellacher Weihers vom 08.02.16 erhoben durch Christa Gufler, Cristian Gees und Adrian Nufer von der ZHAW und NUFERscience, analysiert im Labor des Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen der ZHAW Wädenswil. Standort 4 (Weihermitte).

Amt für Umwelt Kanton Solothurn					Erhoben durch: A. Nufer	
Auftragsblatt Bellacher-Weiher						
Datum: 03.03.2016						
Wetter heute : Schneefall						
Wetter vorherige Tage: winterlich						
					Auftr.Nr.AfU: 16/38	
Probestelle	Zulauf	Auslauf	Standort 4	Standort 5		Datum/ Visum
Probe Nr.	1	2	3	4		
Zeit :	11:00	10:30	09:15	10:00		Probennehmer
pH:	7.7	8.0	8.0	8.0		
Temp. C° :	6.5	5.2	5.4	5.4		Probennehmer
Leitfähigkeit :						
T.ref 25° µS/cm	566	548	558	556		
Sauerstoff Sätt.in %	84.5	94.4	97.1	94.3		Probennehmer
mg O₂/L :	9.73	11.24	11.51	11.28		
GUS Einmass						
 mg/l	0.7	1.0	1.0	1.0		
NH₄ Einmass						
 mg N/L :	0.024	0.051	0.051	0.053		
Nitrit Einmass						
 mg N/L :	0.003	0.010	0.010	0.010		
Nitrat mg N/L :	3.97	3.33	3.33	3.32		
N-tot mg N/L :	4.6	3.8	3.9	3.9		
P-ortho Einmass						
 mg P/L :	0.008	<0.005	<0.005	<0.005		
P-tot Einmass						
 mg P/L :	0.015	0.014	0.014	0.014		
Chlorid mg Cl/L	5.3	5.5	5.5	5.5		
Sulfat mg SO₄/L	11.1	12.9	13.0	13.0		
DOC mg/L	1.7	1.8	1.8	1.9		
Bemerkungen:						

Abbildung 13: Feldprotokoll chemisch-physikalische Parameter des Bellacher Weiher vom 03.03.16 erhoben durch Adrian Nufer von NUFERscience, analysiert im Labor für Lebensmittelkontrolle im Amt für Umwelt AFU Solothurn. Standort 4 (Weihermitte), Standort 5 (tiefste Stelle des Weiher).

ZHAW - Forschungsgruppe Ökohydrologie

Auftragsblatt: Bellacher-Weiher
Datum: 06.04.2016
Wetter heute: Am morgen regen, dannach Sonne
Wetter vorherige Tage: Sonnig/Bedeckt, trocken
Bearbeiter: C. Gees

Probestelle		Zulauf	Auslauf	Standort 4			Bemerkung
Probe Nr.		Z	A	M			
Zeit		09:10	10:30	09:45			
pH-Wert	-	7,61	8,27	8,18			
Temperatur	° C	9.5	13.4	13.4			
Leitfähigkeit	µS/cm	420	369	373			
Sauerstoff	mg/l	9.62	13.65	22.97	23.9	20.57	Messung Standort 4 (Tiefe: 50 cm, 100 cm, 150 cm)
Sauerstoff	%	82.0	130.7	223.0	223.0	190.0	Messung Standort 4 (Tiefe: 50 cm, 100 cm, 150 cm)
Trübung	NTU	2.59	2.53	2.14			
Sichttiefe	m			1.61			Grundsicht
Pegelstand	cm			63			Gemessen ab Null-Punkt Bootshaus
GUS	mg/l	1.4	1.6	1.3			Volumen (2 Liter)
Ammonium	mg/l N	<0.015	0.018	0.023			
Nitrit	mg/l N	<0.015	<0.015	<0.015			
Nitrat	mg/l N	3.77	2.19	2.16			
N-tot	mg/l N	3.8	*2.26	2.39			
P-ortho	mg/l P	<0.01	<0.01	<0.01			Spur-Test
P-tot	mg/l P	<0.01	<0.01	<0.01			Spur-Test
Chlorid	mg/l Cl	5.3	5.2	5.1			
Sulfat	mg/l SO4	<40	<40	<40			
DOC	mg/l C	3.3	4.1	3.6			

Bemerkungen: * N-tot tiefer als die Summe von NO₃, NO₂ und NH₄. Differenz innerhalb Messfehler von 10 %.
 O₂-Werte sehr hoch, auffällige Blasenbildung an Sonde während Messung.

Abbildung 14: Feldprotokoll chemisch-physikalische Parameter des Bellacher Weihers vom 06.04.16 erhoben durch Cristian Gees von der ZHAW, analysiert im Labor des Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen der ZHAW Wädenswil. Standort 4 (Weihermitte).

Amt für Umwelt Kanton Solothurn					Erhoben durch: A. Nufer	
<u>Auftragsblatt Bellacher-Weiher</u>						
<u>Datum: 02.05.2016</u>						
<u>Wetter heute :</u> <u>bedeckt---> sonnig, mild</u>						
<u>Wetter vorherige Tage:</u> <u>regnerisch</u>						
					Auftr.Nr.AfU:	16/82
Probestelle	Zulauf	Auslauf	Standort 4	Standort 5		Datum/ Visum
Probe Nr.	1	2	3	4		
Zeit :	11:15	10:45	09:30	10:00		Probennehmer
pH:	7.6	8.1	8.1	8.0		
Temp. C° :	9.3	11.5	11.3	11.4		Probennehmer
Leitfähigkeit :						
T.ref 25° µS/cm	567	472	477	475		
Sauerstoff Sätt.in %	92.7	111.9	146.4	148.2		Probennehmer
mg O₂/L :	10.16	11.61	15.26	15.43		
GUS Einmass						
 mg/l	3.3	4.3	4.5	3.0		
NH₄ Einmass						
 mg N/L :	0.027	0.095	0.100	0.107		
Nitrit Einmass						
 mg N/L :	0.004	0.027	0.028	0.027		
Nitrat mg N/L :	3.58	1.78	1.80	1.79		
N-tot mg N/L :	4.2	2.4	2.5	2.4		
P-ortho Einmass						
 mg P/L :	0.006	<0.005	<0.005	<0.005		
P-tot Einmass						
 mg P/L :	0.018	0.020	0.022	0.019		
Chlorid mg Cl/L	5.3	5.7	5.9	5.8		
Sulfat mg SO₄/L	11.8	11.4	11.7	11.6		
DOC mg/L	1.7	3.2	3.5	3.2		
Bemerkungen:						

Abbildung 15: Feldprotokoll chemisch-physikalische Parameter des Bellacher Weihers vom 02.05.16 erhoben durch Adrian Nufer von NUFERscience, analysiert im Labor für Lebensmittelkontrolle im Amt für Umwelt AFU Solothurn. Standort 4 (Weihermitte), Standort 5 (tiefste Stelle des Weihers).

ZHAW - Forschungsgruppe Ökohydrologie

Auftragsblatt: Bellacher-Weiher
 Datum: 06.06.2016
 Wetter heute: Sonnig
 Wetter vorherige Tage: Regen
 Bearbeiter: C. Gees

Probestelle		Zulauf	Auslauf	Standort 4			Bemerkung
Probe Nr.		Z	A	M			
Zeit		09:30	10:45	10:00			
pH-Wert	-	7,58	8,00	7,74			
Temperatur	° C	11,4	16,2	15,0			
Leitfähigkeit	µS/cm	447,8	457,8	463,7			
Sauerstoff	mg/l	8,66	10,62	12,87	13,6	14,7	Messung Standort 4 (Tiefe: 50 cm, 100 cm, 150 cm)
Sauerstoff	%	79,2	108,5	128,9	133,2	137,7	Messung Standort 4 (Tiefe: 50 cm, 100 cm, 150 cm)
Trübung	NTU	1,98	1,62	2,29			
Sichttiefe	m			1,55			Grundsicht
Pegelstand	cm			65			Gemessen ab Null-Punkt Bootshaus
GUS	mg/l	1,66	1,71	2,01			Volumen (2 Liter)
Ammonium	mg/l N	<0,015	0,143	0,146			
Nitrit	mg/l N	<0,015	0,034	0,034			
Nitrat	mg/l N	3,670	2,190	2,140			
N-tot	mg/l N	*3,79	*2,29	*2,49			
P-ortho	mg/l P	0,043	<0,01	<0,01			Spur-Test
P-tot	mg/l P	*0,037	*0,018	*0,021			Spur-Test
Chlorid	mg/l Cl	4,180	4,350	4,550			
Sulfat	mg/l SO4	<40	<40	<40			
DOC	mg/l C	3,890	4,980	4,880			

Bemerkungen:
 * N-tot tiefer als die Summe von NO₃, NO₂ und NH₄. Differenz innerhalb Messfehler von 10 %.
 * P-tot tiefer als P-ortho. Differenz innerhalb Messfehler

Abbildung 16: Feldprotokoll chemisch-physikalische Parameter des Bellacher Weihers vom 06.06.16 erhoben durch Cristian Gees von der ZHAW, analysiert im Labor des Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen der ZHAW Wädenswil. Standort 4 (Weihermitte).

ZHAW - Forschungsgruppe Ökohydrologie

Auftragsblatt: Bellacher-Weiher
 Datum: 12.07.16
 Wetter heute: regnerisch
 Wetter vorherige Tage: schön
 Bearbeiter: C. Gees/ F. Woodtli

Probestelle		Zulauf	Auslauf	Standort 4			Bemerkung
Probe Nr.		Z	A	M			
Zeit		10:00	09:30	09:00			
pH-Wert	-	7.61	8.07	7.88			
Temperatur	° C	13.3	22.2	22.3			
Leitfähigkeit	µS/cm	448	550	550			
Sauerstoff	mg/l	8.22	8.63	8.57	10.08	5.34	Messung Standort 4 (Tiefe: 50, 100, 150 cm)
Sauerstoff	%	78.9	99.2	108.2	113.2	55.3	Messung Standort 4 (Tiefe: 50, 100, 150 cm)
Trübung	NTU	4.02	2.58	4.30			
Sichttiefe	m	-	-	1.55			Grundsicht
Pegelstand	cm	-	-	62			Gemessen ab Null-Punkt Bootshaus
GUS	mg/l	0.9	5.1	3.6			Volumen (2 Liter)
Ammonium	mg/l N	<0.015	0.246	0.247			
Nitrit	mg/l N	<0.015	0.059	0.055			
Nitrat	mg/l N	3.40	1.57	1.60			
N-tot	mg/l N	*3.5	*2.3	*2.29			
P-ortho	mg/l P	< 0.05	<0.05	0.060			Spur-Test
P-tot	mg/l P	*0.023	*0.027	*0.03			Spur-Test
Chlorid	mg/l Cl	4.5	5.0	4.8			
Sulfat	mg/l SO ₄	<40	<40	<40			
DOC	mg/l C	4.4	6.0	6.5			

Bemerkungen: * N-tot höher als die Summe von NO₃, NO₂ und NH₄. Differenz innerhalb Messfehler.
 * P-tot tiefer als P-ortho. Differenz innerhalb Messfehler

Abbildung 17: Feldprotokoll chemisch-physikalische Parameter des Bellacher Weihers vom 12.07.16 erhoben durch Cristian Gees und Florence Woodtli von der ZHAW, analysiert im Labor des Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen der ZHAW Wädenswil. Standort 4 (Weihermitte).

ZHAW - Forschungsgruppe Ökohydrologie

Auftragsblatt: Bellacher-Weiher
Datum: 25.7.16
Wetter heute: sonnig, bewölkt, trocken und warm
Wetter vorherige Tage: wie am Messtag, vereinzelt Gewitter
Bearbeiter: F.Woodtli

Probestelle		Zulauf	Auslauf	Standort 4			Bemerkung
Probe Nr.		Z	A	M			
Zeit		08:45	09:30	10:00			
pH-Wert	-	8.89	8.92	8.83			
Temperatur	° C	14.1	22.2	22.7			
Leitfähigkeit	µS/cm	557	560	560			
Sauerstoff	mg/l	7.91	7.08	5.82	5.11	5.92	Messung Standort 4 (Tiefe: 50, 100, 150 cm)
Sauerstoff	%	81.3	85.4	71.0	61.6	65.6	Messung Standort 4 (Tiefe: 50, 100, 150 cm)
Trübung	NTU	3.46	2.41	1.58			
Sichttiefe	m	-	-	Grundtiefe			
Pegelstand	cm	-	-	67			Gemessen ab Null-Punkt Bootshaus
GUS	mg/l	6.1	1.2	1.7			Volumen (2 Liter)
Ammonium	mg/l N	0.019	0.529	0.555			
Nitrit	mg/l N	<0.015	0.062	0.053			
Nitrat	mg/l N	3.68	0.95	0.96			
N-tot	mg/l N	*3.53	*1.74	*1.81			
P-ortho	mg/l P	<0.01	<0.01	<0.01			Spur-Test
P-tot	mg/l P	0.041	0.016	0.031			Spur-Test
Chlorid	mg/l Cl	4.2	4.2	4.1			
Sulfat	mg/l SO4	<40	<40	<40			
DOC	mg/l C	<3	3.6	3.8			

Bemerkungen: * N-tot Differenz von der Summe von NO3, NO2 und NH4 liegt innerhalb des Messfehlers.

Abbildung 18: Feldprotokoll chemisch-physikalische Parameter des Bellacher Weihers vom 25.07.16 erhoben durch Florence Woodtli von der ZHAW, analysiert im Labor des Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen der ZHAW Wädenswil. Standort 4 (Weihermitte).

ZHAW - Forschungsgruppe Ökohydrologie

Auftragsblatt: Bellacher-Weiher
Datum: 11.8.16
Wetter heute: sonnig, wenig Wolken
Wetter vorherige Tage: sonnig, bewölkt
Bearbeiter: F.Woodtli

Probestelle		Zulauf	Auslauf	Standort 4			Bemerkung
Probe Nr.		Z	A	M			
Zeit		09:30	10:15	10:00			
pH-Wert	-	8,04	8,30	8,13			
Temperatur	° C	12,8	18,8	19,2			
Leitfähigkeit	µS/cm	574	520	524			
Sauerstoff	mg/l	8,47	9,75	13,54	12,94	12,19	Messung Standort 4 (Tiefe: 50, 100, 150 cm)
Sauerstoff	%	84,4	109,7	152,8	146,4	138,1	Messung Standort 4 (Tiefe: 50, 100, 150 cm)
Trübung	NTU	2,84	9,42	*9,38			
Sichttiefe	m	-	-	1,00			
Pegelstand	cm	-	-	70			Gemessen ab Null-Punkt Bootshaus
GUS	mg/l	0,7	10,7	*11,19			Volumen (2 Liter)
Ammonium	mg/l N	<0,015	0,093	0,127			
Nitrit	mg/l N	<0,015	0,021	0,019			
Nitrat	mg/l N	3,85	0,79	0,72			
N-tot	mg/l N	*3,74	*1,73	*1,55			
P-ortho	mg/l P	<0,01	<0,01	<0,01			Spur-Test
P-tot	mg/l P	<0,01	<0,01	<0,01			Spur-Test
Chlorid	mg/l Cl	5,2	5,5	5,7			
Sulfat	mg/l SO4	<40	<40	<40			
DOC	mg/l C	<3	8,0	7,6			

Bemerkungen: * N-tot Differenz von der Summe von NO₃, NO₂ und NH₄ liegt innerhalb des Messfehlers.
* hoher Anteil an Algen und Plankton an Messtag

Abbildung 19: Feldprotokoll chemisch-physikalische Parameter des Bellacher Weihers vom 11.08.16 erhoben durch Florence Woodtli von der ZHAW, analysiert im Labor des Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen der ZHAW Wädenswil. Standort 4 (Weihermitte).

ZHAW - Forschungsgruppe Ökohydrologie

Auftragsblatt: Bellacher-Weiher
Datum: 05.09.2016
Wetter heute: teilweise stark regnerisch
Wetter vorherige Tage: schön, Regenbeginn in der Nacht vor Messung
Bearbeiter: C. Gees/ F. Woodtli

Probestelle		Zulauf	Auslauf	Standort 4			Bemerkung
Probe Nr.		Z	A	M			
Zeit		10:00	10:50	10:30			
pH-Wert	-	7.53	7.86	7.99			
Temperatur	° C	14.1	20.6	20.4			
Leitfähigkeit	µS/cm	519	500	504			
Sauerstoff	mg/l	7.98	7.27	7.76	7.73	5.85	Messung Standort 4 (Tiefe: 50, 100, 150 cm)
Sauerstoff	%	81.3	84.6	90.2	90.1	68.0	Messung Standort 4 (Tiefe: 50, 100, 150 cm)
Trübung	NTU	12.40	3.58	4.18			
Sichttiefe	m	-	-	2.20			Grundsicht
Pegelstand	cm	-	-	65			Gemessen ab Null-Punkt Bootshaus
GUS	mg/l	5.77	4.34	5.28			Volumen (1 Liter)
Ammonium	mg/l N	<0.015	0.121	0.118			
Nitrit	mg/l N	0.018	0.02	0.02			
Nitrat	mg/l N	3.41	0.47	0.48			
N-tot	mg/l N	3.84	1.12	1.36			
P-ortho	mg/l P	0.107	0.050	<0.01			Spur-Test
P-tot	mg/l P	0.117	0.065	0.015			Spur-Test
Chlorid	mg/l Cl	8.3	7.0	7.5			
Sulfat	mg/l SO4	<40	<40	<40			
DOC	mg/l C	5.1	5.5	9.7			

Abbildung 20: Feldprotokoll chemisch-physikalische Parameter des Bellacher Weihers vom 11.08.16 erhoben durch Florence Woodtli und bearbeitet von Cristian Gees von der ZHAW, analysiert im Labor des Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen der ZHAW Wädenswil. Standort 4 (Weihermitte).

ZHAW - Forschungsgruppe Ökohydrologie

Auftragsblatt: Bellacher-Weiher
 Datum: 22.09.16 Datum Analyse: 12.10.16
 Wetter heute:
 Wetter vorherige Tage:
 Bearbeiter: C. Gufler

Probestelle	Zulauf	Auslauf	Standort 4	Bemerkung
Probe Nr.	Z	A	M	
Zeit			12:40	
pH-Wert	-		8.02	
Temperatur	° C			
Leitfähigkeit	µS/cm		492	
Sauerstoff	mg/l			
Sauerstoff	%			
Trübung	NTU			
Sichttiefe	m			
Pegelstand	cm			
GUS	mg/l			
Ammonium	mg/l N		0.309	
Nitrit	mg/l N		0.025	
Nitrat	mg/l N		0.496	
N-tot	mg/l N		1.67	
P-ortho	mg/l P		<0.01	
P-tot	mg/l P		0.035	
Chlorid	mg/l Cl			
Sulfat	mg/l SO4			
DOC	mg/l C			

Bemerkungen: Ausserordentliche Probenahme nach dem Fischsterben (Weihermitte, Probestelle 2-3 m vom Bootshaus entfernt, Probenahme mit dem Ruderboot, Probenehmer Probst Remo), Analyse erfolgte 21 Tage nach der Probenahme

Abbildung 21: Feldprotokoll chemisch-physikalische Parameter des Bellacher Weihers vom 22.09.16 erhoben durch Remo Probst nach einem Fischsterben datiert auf den 22.09.16. Die Probenahmestandort befand sich 2-3 m vom Bootshaus entfernt und wurde vom Boot aus gezogen. Die Analyse erfolgte 21 Tage nach der Probenahme durch Christa Gufler von der ZHAW im Labor des Instituts für Umwelt und Natürliche Ressourcen der ZHAW Wädenswil. Standort 4 (Weihermitte).

Amt für Umwelt Kanton Solothurn					Erhoben durch: A. Nufer	
Auftragsblatt Bellacher-Weiher						
Datum: 29.09.2016						
Wetter heute : neblig, trocken						
Wetter vorherige Tage: schön						
					Auftr.Nr.AfU: 16/193	
Probestelle	Zulauf	Auslauf	Standort 4	Standort 5		Datum/ Visum
Probe Nr.	1	2	3	4		
Zeit :	11:00	09:00	09:30	10:30		Probennehmer
pH:	7.6	7.8	7.7	7.7		
Temp. C° :	12.2	17.3	17.3	17.4		Probennehmer
Leitfähigkeit :						
T.ref 25° μS/cm	622	520	525	522		
Sauerstoff Sätt.in %	90.2	107.2	124.4	141.7		Probennehmer
mg O₂/L :	9.24	9.88	11.43	13.01		
GUS Einmass						
mg/l	2.0	1.7	3.7	3.3		
NH₄ Einmass						
mg N/L :	0.028	0.126	0.133	0.136		
Nitrit Einmass						
mg N/L :	0.003	0.023	0.023	0.023		
Nitrat mg N/L :	3.79	0.69	0.58	0.65		
N-tot mg N/L :	4.3	1.2	1.2	1.3		
P-ortho Einmass						
mg P/L :	0.006	<0.005	<0.005	<0.005		
P-tot Einmass						
mg P/L :	0.024	0.037	0.037	0.030		
Chlorid mg Cl/L	5.3	6.0	6.0	6.1		
Sulfat mg SO₄/L	11.6	11.0	10.9	11.1		
DOC mg/L	1.3	2.9	3.0	3.0		
Bemerkungen: tote Fische						

Abbildung 22: Feldprotokoll chemisch-physikalische Parameter des Bellacher Weihers vom 29.09.16 erhoben durch Adrian Nufer von NUFERscience, analysiert im Labor für Lebensmittelkontrolle im Amt für Umwelt AFU Solothurn. Standort 4 (Weihermitte), Standort 5 (Tiefste Stelle des Weihers).

ZHAW - Forschungsgruppe Ökohydrologie

Auftragsblatt: Bellacher-Weiher
Datum: 12.10.16
Wetter heute: bewölkt, teils Sonne 10°
Wetter vorherige Tage: bewölkt, teils sonnig, 10°
Bearbeiter: F.Woodtli

Probestelle		Zulauf	Auslauf	Standort 4			Bemerkung
Probe Nr.		Z	A	M			
Zeit		9.:45	09:15	08:40			
pH-Wert	-	7,79	8,07	8,10			
Temperatur	° C	9.8	10.2	10.2			
Leitfähigkeit	µS/cm	597	498	498			
Sauerstoff	mg/l	8.78	9.35	9.44	9.58	9.11	Messung Standort 4 (Tiefe: 50, 100, 150 cm)
Sauerstoff	%	81.4	87.2	88.8	89.5	84.7	Messung Standort 4 (Tiefe: 50, 100, 150 cm)
Trübung	NTU	2.48	1.12	1.25			
Sichttiefe	m	-	-	1.40			Grundsicht
Pegelstand	cm	-	-	74			Gemessen ab Null-Punkt Bootshaus
GUS	mg/l	1.3	1.0	2.1			Volumen (1 Liter)
Ammonium	mg/l N	<0.015	0.158	0.175			
Nitrit	mg/l N	<0.015	0.028	0.026			
Nitrat	mg/l N	4.01	0.87	0.86			
N-tot	mg/l N	4.01	1.4	1.84			
P-ortho	mg/l P	<0.01	<0.01	<0.01			Spur-Test
P-tot	mg/l P	0.017	0.025	0.029			Spur-Test
Chlorid	mg/l Cl	5.5	6.8	6.9			
Sulfat	mg/l SO4	<40	<40	<40			
DOC	mg/l C	<3	4.2	4.3			

Abbildung 23: Feldprotokoll chemisch-physikalische Parameter des Bellacher Weihers vom 12.10.16 erhoben durch Florence Woodtli von der ZHAW, analysiert im Labor des Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen der ZHAW Wädenswil. Standort 4 (Weihermitte).

Anhang A: Chemisch-physikalischer Zustand

Laboranalyse

Die für die Untersuchung von der ZHAW verwendete Messtechnik ist in der Tabelle 11 aufgeführt. Das AFU Solothurn wertete die Proben mittels Ionenchromatographie mit chemischer Suppression und Leitfähigkeitsdetektion (Chlorid, Sulfat, Nitrat, Nitrit), Photometrie (Ammonium, Orthophosphat, Total-Phosphor), IR-Detektor (DOC) und Chemolumineszenzdetektion (Total-Stickstoff) aus.

Tabelle 11: Chemisch-physikalische Parameter Total-Stickstoff [mg/l N], Ammonium [mg/l N], Nitrat [mg/l N], Nitrit [mg/l N], Total-Phosphor [mg/l P], Phosphat [mg/l P], DOC [mg/l C], Chlorid [mg/l Cl], Sulfat [mg/l SO₄], Leitfähigkeit [μ S/cm], pH-Wert, Sauerstoff-Sättigung [%], Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂], Temperatur [°C], GUS, Trübung [NTU], Pegelstand [cm] und Sichttiefe [m], welche durch die ZHAW an acht Probenahmedaten (Tabelle 1) im Jahr 2016 im Bellacher Weiher an drei Standorten Zufluss, Weihermitte und Abfluss erhoben wurden.

Parameter	Messtechnik	Methode	Messbereich	Einheit
Total-Stickstoff	Photometrie	LCK 138	1 - 16	mg/l N
Ammonium	Photometrie, Sterilfiltration 0.45 μ m	LCK 304	0.015 - 2	mg/l N
Nitrat	Photometrie, Sterilfiltration 0.45 μ m	LCK 339	0.23 - 13.5	mg/l N
Nitrit	Photometrie, Sterilfiltration 0.45 μ m	LCK 341	0.015 - 0.6	mg/l N
Total-Phosphor	Photometrie	LCK 349	0.01-1.5	mg/l P
Phosphat	Photometrie, Sterilfiltration 0.45 μ m	LCK 349	0.01-1.5	mg/l P
DOC	Photometrie, Sterilfiltration 0.45 μ m	LCK 385	3 - 30	mg/l C
Chlorid	Photometrie, Sterilfiltration 0.45 μ m	LCK 311	1 - 1000	mg/l Cl
Sulfat	Photometrie, Sterilfiltration 0.45 μ m	LCK 153	40-150	mg/l SO ₄
Leitfähigkeit	Multisonde HQ40d	-	-	μ S/cm
pH-Wert	Multisonde HQ40d	-	-	-
Sauerstoff-Sättigung	Multisonde HQ40d	-	-	%
Sauerstoff-Konzentration	Multisonde HQ40d	-	-	mg/l O ₂
Temperatur	Multisonde HQ40d	-	-	°C
GUS	Sterilfiltration 0.45 μ m	-	-	mg/l
Trübung	Trübungsmessgerät 2100Q	-	-	NTU
Pegelstand	Meterstab	-	-	cm
Sichttiefe	Secchi Scheibe	-	-	m

Anhang A: Chemisch-physikalischer Zustand

Rohdaten 2016

Die Berechnung der gesamten ungelösten Stoffe GUS im Bellacher Weiher der acht Probenahmedaten der ZHAW im Jahr 2016 sind in der Tabelle 12 aufgelistet.

Tabelle 12: Berechnung der gesamten ungelösten Stoffe GUS im Bellacher Weiher an acht Probenahmedaten der ZHAW im Jahr 2016 anhand der Formel $GUS = (M1 - M0) / V$ wobei M0 der Masse vor der Filtrierung [mg], M1 der Masse nach der Filtrierung [mg] und V dem Volumen des Wassers [l] entsprechen.

Datum	Standort	Nr.	M1 (mg)	M0 (mg)	V (l)	GUS
12.07.16	Zufluss	1	2166.29	2165.39	1.00	0.90
	Abfluss	2	2140.04	2129.76	2.00	5.14
	Mitte	4	2110.53	2106.92	1.00	3.61
25.07.16	Zufluss	1	2111.45	2099.21	2.00	6.12
	Abfluss	2	2059.41	2056.93	2.00	1.24
	Mitte	4	2096.18	2092.87	2.00	1.65
11.08.16	Zufluss	1	2106.63	2091.24	1.44	10.69
	Abfluss	2	2053.91	2053.19	1.00	0.72
	Mitte	4	2100.50	2089.31	1.00	11.19
05.09.16	Zufluss	1	2104.07	2098.30	1.00	5.77
	Abfluss	2	2068.47	2064.13	1.00	4.34
	Mitte	4	2094.40	2089.12	1.00	5.28
12.10.16	Zufluss	1	2079.71	2078.43	1.00	1.28
	Abfluss	2	2045.16	2044.19	1.00	0.97
	Mitte	4	2067.72	2065.62	1.00	2.10

M0 Masse vor Filtrierung
M1 Masse nach Filtrierung
V Volumen

Die Rohdaten der Sauerstoff-Sättigung (%) und Sauerstoff-Konzentration (mg/l) des Bellacher Weihers im Jahr 2016 gemessen in drei verschiedenen Wassertiefen (50 cm, 100 cm, 150 cm) befinden sich in der Tabelle 13.

Tabelle 13: Sauerstoff-Sättigung [%] und Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂] des Bellacher Weihers im Jahr 2016 erfasst durch die ZHAW am Probenahmestandort Weihermitte in drei verschiedenen Wassertiefen (50 cm, 100 cm, 150 cm).

Datum	Tiefe cm	Sauerstoff mg/l O ₂	Sauerstoff %
08.02.16	50	92.90	10.92
	100	93.80	11.04
	150	94.00	11.06
06.04.16	50	223.00	22.97
	100	223.00	23.90
	150	190.00	20.57
06.06.16	50	128.90	12.87
	100	133.20	13.60
	150	137.70	14.70
12.07.16	50	108.20	8.57
	100	113.20	10.08
	150	55.30	5.34
05.09.16	50	90.20	7.76
	100	90.10	7.73
	150	68.00	5.85
25.07.16	50	71.00	5.82
	100	61.60	5.11
	150	65.60	5.92
11.08.16	50	152.80	13.54
	100	146.40	12.94
	150	138.10	12.19
12.10.16	50	88.80	9.44
	100	89.50	9.58
	150	84.70	9.11

Die Rohdaten der chemisch-physikalischen Parameter der Messreihe 2016 (Zufluss, Weihermitte, tiefste Stelle, Abfluss) befinden sich in der Tabelle 14 (Vor-Ort-Parameter) und Tabelle 15 (Nährstoffe und GUS).

Tabelle 14: Chemisch-physikalische Vor-Ort-Parameter pH-Wert, Temperatur [°C], Leitfähigkeit [µS/cm], Sauerstoff-Sättigung [%], Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂], Trübung [NTU], Sichttiefe [m] und Pegelstand [cm] des Bellacher Weihers im Jahr 2016 erfasst durch NUFERscience/AFU Solothurn und der ZHAW an den Probenahmestandorten Zufluss (Z), Abfluss (A), Weihermitte (M) und tiefste Stelle (TS) inklusive der Analysen des Fischsterbens (22.09.16).

Datum	Probe	Vor-Ort-Parameter							
		pH	Temperatur °C	Leitfähigkeit µS/cm	Sauerstoff %	Sauerstoff mg/ O ₂ l	Trübung NTU	Sichttiefe m	Pegelstand cm
08.02.16	Z	8.13	8.0	568	89.3	10.05	2.27	-	-
	A	8.60	6.1	539	96.1	11.32	3.74	-	-
	M	8.64	6.1	534	93.6	11.01	1.98	1.83	58.0
03.03.16	Z	7.72	6.5	566	84.5	9.73	-	-	-
	A	8.00	5.2	548	94.4	11.24	-	-	-
	M	7.98	5.4	558	97.1	11.51	-	-	-
	TS	7.99	5.4	556	94.3	11.28	-	-	-
06.04.16	Z	7.61	9.5	420	82.0	9.62	6.59	-	-
	A	8.27	13.4	369	130.7	13.65	2.53	-	-
	M	8.18	13.4	373	212.0	22.48	2.14	1.61	63.0
02.05.16	Z	7.55	9.3	567	92.7	10.16	-	-	-
	A	8.13	11.5	472	111.9	11.61	-	-	-
	M	8.05	11.3	477	146.4	15.26	-	-	-
	TS	8.04	11.4	475	148.2	15.43	-	-	-
06.06.16	Z	7.58	11.4	447.8	79.2	8.66	1.98	-	-
	A	8.00	16.2	457.8	108.5	10.62	1.62	-	-
	M	7.74	15.0	463.7	133.3	13.72	2.29	1.55	65.0
28.06.16	Z	7.60	12.0	557	90.0	9.21	-	-	-
	A	7.80	18.2	561	117.0	10.53	-	-	-
	M	7.60	18.3	567	93.0	8.45	-	-	-
	TS	7.70	18.6	562	98.6	8.78	-	-	-
12.07.16	Z	7.61	13.3	448	78.9	8.22	4.02	-	-
	A	8.07	22.2	550	99.2	8.63	2.58	-	-
	M	7.88	22.3	550	92.2	8.00	4.30	1.55	61.5
25.07.16	Z	8.89	14.1	557	81.3	7.91	3.46	-	-
	A	8.92	22.2	560	85.4	7.08	2.42	-	-
	M	8.83	22.7	560	66.1	5.44	1.58	1.55	66.5
11.08.16	Z	8.04	12.8	574	84.4	8.47	2.84	-	-
	A	8.30	18.8	520	109.7	9.75	9.42	-	-
	M	8.13	19.2	524	145.8	12.89	9.38	1.00	70.0
05.09.16	Z	7.53	14.1	519	81.3	7.98	12.40	-	-
	A	7.86	20.6	500	84.6	7.27	3.58	-	-
	M	7.99	20.4	504	82.8	7.11	4.28	1.50	65.0
29.09.16	Z	7.60	12.2	622	90.2	9.24	-	-	-
	A	7.80	17.3	520	107.2	9.88	-	-	-
	M	7.70	17.3	525	124.4	11.43	-	-	-
	TS	7.70	17.4	522	141.7	13.01	-	-	-
22.09.16*	M	8.02	-	492	-	-	-	-	-
12.10.16	Z	7.79	9.8	597	81.4	8.78	2.48	-	-
	A	8.07	10.2	498	87.2	9.35	1.12	-	-
	M	8.10	10.2	498	87.7	9.38	1.25	1.40	74.0

*Fischsterben

Tabelle 15: Chemisch-physikalische Messungen des GUS [mg/l] und der Nährstoff-Parameter Ammonium [mg/l N], Nitrit [mg/l N], Nitrat [mg/l N], Total-Stickstoff [mg/l N], Phosphat [mg/l P], Total-Phosphor [mg/l P], Chlorid [mg/l Cl], Sulfat [mg/l SO₄] und DOC [mg/l C] des Bellacher Weihers im Jahr 2016 erfasst durch NUFERscience/AFU Solothurn und der ZHAW an den Probenahmestandorten Zufluss (Z), Abfluss (A), Weihermitte (M) und tiefste Stelle (TS) inklusive der Analysen des Fischsterbens (22.09.16).

Datum	Probe	Nährstoffe									
		GUS mg/l	Ammonium mg/l N	Nitrit mg/l N	Nitrat mg/l N	N-tot mg/l N	Phosphat mg/l P	P-tot mg/l P	Chlorid mg/l Cl	Sulfat mg/l SO ₄	DOC mg/l C
08.02.16	Z	2.025	0.025	<0.015	4.430	4.14	<0.010	0.011	5.86	<40.00	5.54
	A	2.045	0.080	<0.015	3.480	3.47	<0.010	0.015	7.17	<40.00	6.24
	M	1.790	0.083	0.015	3.430	3.71	<0.010	0.017	5.90	<40.00	4.85
03.03.16	Z	0.700	0.024	0.003	3.970	4.60	0.008	0.015	5.30	11.10	1.70
	A	1.000	0.051	0.010	3.330	3.80	<0.005	0.014	5.50	12.90	1.80
	M	1.000	0.051	0.010	3.330	3.90	<0.005	0.014	5.50	13.00	1.80
06.04.16	TS	1.000	0.053	0.010	3.320	3.90	<0.005	0.014	5.50	13.00	1.90
	Z	1.355	<0.015	<0.015	3.770	3.80	<0.010	<0.010	5.30	<40.00	3.25
	A	1.585	0.018	<0.015	2.190	2.26	<0.010	<0.010	5.24	<40.00	4.05
02.05.16	M	1.345	0.023	<0.015	2.160	2.39	<0.010	<0.010	5.07	<40.00	3.55
	Z	3.300	0.027	0.004	3.580	4.20	0.006	0.018	5.30	11.80	1.70
	A	4.300	0.095	0.027	1.780	2.40	<0.005	0.020	5.70	11.40	3.20
06.06.16	M	4.500	0.100	0.028	1.800	2.50	<0.005	0.022	5.90	11.70	3.50
	TS	3.000	0.107	0.027	1.790	2.40	<0.005	0.019	5.80	11.60	3.20
	Z	1.660	<0.015	<0.015	3.670	3.79	0.043	0.037	4.18	<40.00	3.89
28.06.16	A	1.710	0.143	0.034	2.190	2.29	<0.010	0.018	4.35	<40.00	4.98
	M	2.010	0.146	0.034	2.140	2.49	<0.010	0.021	4.55	<40.00	4.88
	Z	4.000	0.015	<0.003	3.470	4.00	0.015	0.020	4.60	9.70	1.40
12.07.16	A	3.000	0.167	0.046	2.120	2.70	<0.005	0.025	4.70	10.90	2.80
	M	3.000	0.216	0.051	1.890	2.60	<0.005	0.022	4.80	11.00	3.10
	TS	2.000	0.166	0.046	2.110	2.80	<0.005	0.023	4.80	10.90	2.80
25.07.16	Z	0.900	<0.015	<0.015	3.400	3.50	0.015	0.023	4.53	<40.00	4.42
	A	5.100	0.246	0.059	1.570	2.30	<0.010	0.027	5.04	<40.00	6.04
	M	3.600	0.247	0.055	1.600	2.29	0.060	0.030	4.79	<40.00	6.45
11.08.16	Z	6.120	0.019	<0.015	3.680	3.53	<0.010	0.041	4.15	<40.00	<3.00
	A	1.240	0.529	0.062	0.946	1.74	<0.010	0.016	4.22	<40.00	3.56
	M	1.655	0.555	0.053	0.961	1.81	<0.010	0.031	4.09	<40.00	3.80
05.09.16	Z	0.700	<0.015	<0.015	3.850	3.74	<0.010	<0.010	5.20	<40.00	<3.00
	A	10.700	0.093	0.021	0.790	1.73	<0.010	<0.010	5.50	<40.00	8.00
	M	11.200	0.127	0.019	0.720	1.55	<0.010	<0.010	5.70	<40.00	7.60
29.09.16	Z	5.770	<0.015	0.018	3.410	3.84	0.107	0.117	8.30	<40.00	5.10
	A	4.340	0.121	0.020	0.470	1.12	0.050	0.065	7.00	<40.00	5.50
	M	5.280	0.118	0.020	0.480	1.36	<0.010	0.015	7.50	<40.00	9.70
22.09.16*	Z	2.000	0.028	0.003	3.790	4.30	0.006	0.024	5.30	11.60	1.30
	A	1.700	0.126	0.023	0.690	1.20	<0.005	0.037	6.00	11.00	2.90
	M	3.700	0.133	0.023	0.580	1.20	<0.005	0.037	6.00	10.90	3.00
12.10.16	TS	3.300	0.136	0.023	0.650	1.30	<0.005	0.030	6.10	11.10	3.00
	M	-	0.309	0.025	0.496	1.67	<0.010	0.035	-	-	-
	Z	1.280	<0.015	<0.015	4.010	4.01	<0.010	0.017	5.45	<40.00	<3.00
12.10.16	A	0.970	0.158	0.028	0.865	1.40	<0.010	0.025	6.84	<40.00	4.23
	M	2.100	0.175	0.026	0.861	1.84	<0.010	0.029	6.91	<40.00	4.29

*Fischsterben

Anhang A: Chemisch-physikalischer Zustand

Rohdaten 2009 bis 2016

Die Rohdaten der chemisch-physikalischen Parameter (Vor-Ort-Parameter, Nährstoffe und GUS) der Messreihe 2009 bis 2016 des Bellacher Weihers befinden sich für den Zufluss in Tabelle 16, für die Weihermitte in Tabelle 17 und für den Abfluss in Tabelle 18

Tabelle 16: Chemisch-physikalische Vor-Ort-Parameter pH-Wert, Temperatur [°C], Leitfähigkeit [µS/cm], Sauerstoff-Sättigung [%], Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂], GUS [mg/l] sowie die Nährstoff-Parameter Ammonium [mg/l N], Nitrit [mg/l N], Nitrat [mg/l N], Total-Stickstoff [mg/l N], Phosphat [mg/l P], Total-Phosphor [mg/l P], Chlorid [mg/l Cl], Sulfat [mg/l SO₄] und DOC [mg/l C] des Bellacher Weihers am Standort Zufluss von 2009 bis 2016 erfasst durch NUFERscience/AFU Solothurn und der ZHAW.

Chemisch-physikalische Parameter Zufluss															
Datum	pH-Wert	Temperatur °C	Leitfähigkeit µS/cm	Sauerstoff %	Sauerstoff mg/l O ₂	GUS mg/l	Ammonium mg/l N	Nitrit mg/l N	Nitrat mg/l N	N-tot mg/l N	Phosphat mg/l P	P-tot mg/l P	Chlorid mg/l Cl	Sulfat mg/l SO ₄	DOC mg/l C
12.03.09	7.60	5.9	559	92.5	11.08	5	0.019	0.003	4.80	5.10	0.014	0.021	6.4	12.7	1.60
09.06.09	7.50	11.4	592	93.0	9.6	2.3	0.016	0.003	4.45	4.70	0.016	0.018	6.2	13.7	1.00
08.09.09	7.60	12.6	647	88.1	9.0	2.3	0.040	0.003	4.37	4.90	0.010	0.020	6.1	18.3	1.10
09.12.09	7.50	8.1	639	87.0	9.9	2.5	0.048	0.005	6.87	7.70	0.095	0.120	6.7	20.9	3.50
04.03.10	7.70	6.8	571	91.0	10.5	17.0	0.008	0.003	5.35	5.70	0.012	0.041	7.8	15.2	1.30
04.05.10	7.70	9.8	583	93.9	10.0	3.5	0.009	0.003	4.40	4.60	0.012	0.027	6.9	14.4	1.00
07.07.10	7.60	13.1	610	102.8	10.3	3.0	0.011	0.003	4.07	4.58	0.012	0.022	6.4	16.7	1.40
06.10.10	7.40	12.5	615	79.0	8.1	6.5	0.015	0.003	4.06	4.30	0.010	0.016	6.5	18.0	1.30
02.03.11	7.70	7.1	586	87.0	10.0	1.0	0.021	0.003	5.04	5.00	0.016	0.023	7.2	14.5	1.20
03.05.11	7.60	10.4	609	81.0	8.5	4.0	0.028	0.004	4.14	4.80	0.017	0.027	5.9	16.1	1.60
07.07.11	7.50	13.5	649	165.0	8.3	5.0	0.048	0.005	4.66	4.90	0.016	0.023	7.0	19.9	1.40
06.10.11	7.50	13.1	661	73.0	7.3	4.0	0.056	0.007	4.31	4.60	0.007	0.024	7.0	20.2	1.80
05.03.12	7.82	6.8	589	88.1	10.2	0.7	0.021	0.003	5.47	6.40	0.005	0.015	6.9	14.3	1.40
09.05.12	7.70	10.8	610	89.0	9.4	3.0	0.025	0.003	4.74	5.10	0.011	0.017	6.5	13.7	1.20
02.07.12	7.50	14.0	550	78.0	7.6	17.5	0.047	0.009	3.23	3.70	0.047	0.102	5.0	11.4	5.40
04.10.12	7.60	12.6	623	81.0	8.2	4.3	0.034	0.003	4.27	4.70	0.012	0.025	6.9	15.7	1.30
07.03.13	7.69	6.8	564	92.7	10.6	5.0	0.021	0.003	5.04	5.40	0.067	0.091	6.9	13.0	1.20
02.05.13	7.73	9.9	562	110.0	11.8	4.7	0.020	0.003	4.28	5.30	0.007	0.022	5.9	12.1	1.00
01.07.13	7.70	11.8	573	87.5	9.0	3.7	0.024	0.003	3.94	4.60	0.011	0.023	5.8	12.1	1.30
09.10.13	7.50	12.4	601	87.3	8.9	4.7	0.023	0.003	3.87	4.70	0.012	0.035	6.3	12.7	1.20
06.03.14	7.60	7.6	592	90.2	10.3	6.7	0.019	0.003	4.66	4.90	0.019	0.046	5.7	11.8	1.00
06.05.14	7.63	10.3	613	175.0	20.5	2.3	0.029	0.003	4.12	4.70	0.007	0.024	6.4	12.4	1.00
30.06.14	7.32	12.5	617	85.0	8.6	6.3	0.034	0.004	3.61	4.00	0.011	0.029	5.8	13.2	1.60
02.10.14	8.01	12.5	618	84.5	8.6	1.7	0.024	0.003	4.10	4.40	0.008	0.018	6.6	12.5	1.20
05.03.15	7.90	7.0	588	90.8	10.6	1.3	0.024	0.003	4.48	6.20	0.012	0.020	5.5	10.9	1.00
06.05.15	7.48	10.8	567	84.2	8.9	4.5	0.016	0.010	4.13	4.80	0.022	0.041	5.3	10.9	4.30
29.06.15	7.48	12.4	615	83.0	8.4	2.3	0.034	0.005	3.84	4.60	0.012	0.020	6.1	12.4	1.40
01.10.15	7.77	11.0	643	80.1	8.4	6.0	0.030	0.003	4.02	3.90	0.014	0.031	6.5	14.7	1.00
08.02.16	8.13	8.0	568	89.3	10.1	2.0	0.025	<0.015	4.43	4.14	<0.010	0.011	5.9	<40.0	5.54
03.03.16	7.72	6.5	566	84.5	9.7	0.7	0.024	0.003	3.97	4.60	0.008	0.015	5.3	11.1	1.70
06.04.16	7.61	9.5	420	82.0	9.6	1.4	<0.015	<0.015	3.77	3.80	<0.010	<0.010	5.3	<40.0	3.25
02.05.16	7.55	9.3	567	92.7	10.2	3.3	0.027	0.004	3.58	4.20	0.006	0.018	5.3	11.8	1.70
06.06.16	7.58	11.4	447.8	79.2	8.7	1.7	<0.015	<0.015	3.67	3.79	0.043	0.037	4.2	<40.0	3.89
28.06.16	7.60	12.0	557	90.0	9.2	4.0	0.015	<0.003	3.47	4.00	0.015	0.020	4.6	9.7	1.40
12.07.16	7.61	13.3	448	78.9	8.2	0.9	<0.015	<0.015	3.40	3.50	0.015	0.023	4.5	<40.0	4.42
25.07.16	8.89	14.1	557	81.3	7.9	6.1	0.019	<0.015	3.68	3.53	<0.010	0.041	4.2	<40.0	<3.00
11.08.16	8.04	12.8	574	84.4	8.5	0.7	<0.015	<0.015	3.85	3.74	<0.010	<0.010	5.2	<40.0	<3.00
05.09.16	7.53	14.1	519	81.3	8.0	5.8	<0.015	0.018	3.41	3.84	0.107	0.117	8.3	<40.0	5.10
29.09.16	7.60	12.2	622	90.2	9.2	2.0	0.028	0.003	3.79	4.30	0.006	0.024	5.3	11.6	1.30
12.10.16	7.79	9.8	597	81.4	8.8	1.3	<0.015	<0.015	4.01	4.01	<0.010	0.017	5.5	<40.0	<3.00

Tabelle 17: Chemisch-physikalische Vor-Ort-Parameter pH-Wert, Temperatur [°C], Leitfähigkeit [µS/cm], Sauerstoff-Sättigung [%], Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂], GUS [mg/l] sowie die Nährstoff-Parameter Ammonium [mg/l N], Nitrit [mg/l N], Nitrat [mg/l N], Total-Stickstoff [mg/l N], Phosphat [mg/l P], Total-Phosphor [mg/l P], Chlorid [mg/l Cl], Sulfat [mg/l SO₄] und DOC [mg/l C] des Bellacher Weihers am Standort Weihermitte von 2009 bis 2016 erfasst durch NUFERscience/AFU Solothurn und der ZHAW..

Chemisch-physikalische Parameter Weihermitte															
Datum	pH-Wert	Temperatur °C	Leitfähigkeit µS/cm	Sauerstoff %	Sauerstoff mg/l O ₂	GUS mg/l	Ammonium mg/l N	Nitrit mg/l N	Nitrat mg/l N	N-tot mg/l N	Phosphat mg/l P	P-tot mg/l P	Chlorid mg/l Cl	Sulfat mg/l SO ₄	DOC mg/l C
12.03.09	7.90	4.3	522	-	12.57	6.5	0.015	0.016	3.68	3.90	0.005	0.027	6.80	13.4	2.20
09.06.09	7.80	18.8	447	156.0	13.70	18.0	0.009	0.040	1.04	1.80	0.006	0.066	6.50	14.8	2.90
08.09.09	7.70	17.2	503	55.8	5.10	7.0	0.057	0.008	0.18	1.00	0.004	0.053	7.00	11.2	3.90
09.12.09	7.70	4.9	544	68.8	8.40	1.5	0.231	0.044	1.76	2.30	0.004	0.028	7.80	16.8	3.90
04.03.10	7.90	5.8	557	96.0	11.30	4.0	0.027	0.016	4.20	4.80	0.005	0.030	7.90	17.3	2.00
04.05.10	7.90	14.5	507	92.6	9.11	4.5	0.108	0.028	1.50	1.70	0.006	0.034	7.20	15.9	2.50
07.07.10	8.00	22.9	288	119.5	9.86	5.0	0.008	0.017	0.15	1.00	0.007	0.032	7.60	14.5	2.30
06.10.10	7.40	16.0	459	42.0	4.00	3.0	0.035	0.006	0.15	1.00	0.006	0.032	8.00	14.7	3.50
02.03.11	7.90	5.9	568	100.0	11.80	3.0	0.025	0.023	3.40	3.40	0.005	0.026	7.80	16.6	1.90
03.05.11	7.90	16.9	445	107.0	9.70	3.3	0.054	0.033	0.67	1.10	0.008	0.037	8.50	14.9	4.00
07.07.11	7.70	23.3	309	102.0	8.20	8.0	0.055	0.003	0.11	0.60	0.011	0.053	7.80	13.0	5.50
06.10.11	7.80	17.0	417	107.0	9.80	7.7	0.008	0.003	0.01	0.50	0.005	0.067	8.50	13.9	4.90
05.03.12	7.86	6.8	528	115.8	13.48	7.3	0.033	0.017	4.00	4.70	0.005	0.037	6.90	15.3	1.80
09.05.12	8.00	17.5	485	161.0	14.80	4.5	0.038	0.035	1.95	2.30	0.005	0.025	6.50	15.1	3.10
02.07.12	7.70	21.3	355	96.0	8.00	7.0	0.061	0.018	0.89	1.20	0.005	0.045	6.90	14.2	3.40
04.10.12	7.70	14.9	439	128.0	11.30	4.0	0.039	0.014	0.54	0.90	0.011	0.035	8.10	14.0	3.20
07.03.13	7.79	6.1	561	116.5	13.58	4.0	0.045	0.009	4.04	4.50	0.005	0.032	7.50	15.9	2.00
02.05.13	7.95	14.7	557	115.0	11.20	4.7	0.252	0.050	2.76	4.00	0.005	0.033	6.60	14.2	2.20
01.07.13	8.10	18.5	451	178.0	16.00	2.7	0.033	0.030	1.68	2.40	0.005	0.027	6.30	13.4	3.40
09.10.13	7.60	14.3	529	100.9	9.87	3.0	0.053	0.044	1.65	2.50	0.007	0.043	6.90	13.0	2.80
06.03.14	7.80	7.0	590	99.0	11.51	2.7	0.040	0.011	3.99	4.50	0.005	0.029	6.00	13.0	1.70
06.05.14	7.91	14.7	509	185.0	17.88	3.5	0.097	0.032	1.83	2.70	0.005	0.039	6.10	11.9	3.80
30.06.14	7.43	20.2	387	101.5	8.70	6.7	0.112	0.022	0.49	1.10	0.005	0.057	6.80	11.9	4.00
02.10.14	7.47	16.9	538	113.3	10.51	9.0	0.076	0.041	1.30	2.00	0.005	0.035	6.40	12.6	3.30
05.03.15	8.29	5.6	571	95.0	11.53	2.3	0.042	0.009	3.81	5.40	0.005	0.027	6.10	11.9	1.50
06.05.15	7.79	13.5	501	71.9	7.11	1.5	0.130	0.073	3.36	4.30	0.013	0.046	5.10	11.0	3.90
29.06.15	7.78	22.6	557	130.5	10.68	8.0	0.536	0.064	1.20	2.50	0.008	0.046	6.90	12.4	4.00
01.10.15	8.22	12.5	489	117.5	11.93	11.5	0.025	0.021	1.04	1.30	0.005	0.048	7.80	19.5	3.30
08.02.16	8.64	6.1	534	93.6	11.01	1.8	0.083	0.015	3.43	3.71	<0.010	0.017	5.90	<40.0	4.85
03.03.16	7.98	5.4	558	97.1	11.51	1.0	0.051	0.010	3.33	3.90	<0.005	0.014	5.50	13.0	1.80
06.04.16	8.18	13.4	373	212.0	22.48	1.3	0.023	<0.015	2.16	2.39	<0.01	<0.01	5.07	<40.0	3.55
02.05.16	8.05	11.3	477	146.4	15.26	4.5	0.100	0.028	1.80	2.50	<0.005	0.022	5.90	11.7	3.50
06.06.16	7.74	15.0	463.7	133.3	13.72	2.0	0.146	0.034	2.14	2.49	<0.01	0.021	4.55	<40.0	4.88
28.06.16	7.60	18.3	567	93.0	8.45	3.0	0.216	0.051	1.89	2.60	<0.005	0.022	4.80	11.0	3.10
12.07.16	7.88	22.3	550	92.2	8.00	3.6	0.247	0.055	1.60	2.29	0.060	0.030	4.79	<40.0	6.45
25.07.16	8.83	22.7	560	66.1	5.44	1.7	0.555	0.053	0.96	1.81	<0.015	0.031	4.09	<40.0	3.80
11.08.16	8.13	19.2	524	145.8	12.89	11.2	0.127	0.019	0.72	1.55	<0.01	<0.015	5.70	<40.0	7.60
05.09.16	7.99	20.4	504	82.8	7.11	5.3	0.118	0.020	0.48	1.36	<0.01	0.015	7.50	<40.0	9.70
29.09.16	7.70	17.3	525	124.4	11.43	3.7	0.133	0.023	0.58	1.20	<0.005	0.037	6.00	10.9	3.00
12.10.16	8.10	10.2	498	87.7	9.38	2.1	0.175	0.026	0.86	1.84	<0.01	0.029	6.91	<40.0	4.29

Tabelle 18: Chemisch-physikalische Vor-Ort-Parameter pH-Wert, Temperatur [°C], Leitfähigkeit [µS/cm], Sauerstoff-Sättigung [%], Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂], GUS [mg/l] sowie die Nährstoff-Parameter Ammonium [mg/l N], Nitrit [mg/l N], Nitrat [mg/l N], Total-Stickstoff [mg/l N], Phosphat [mg/l P], Total-Phosphor [mg/l P], Chlorid [mg/l Cl], Sulfat [mg/l SO₄] und DOC [mg/l C] des Bellacher Weihers am Standort Abfluss von 2009 bis 2016 erfasst durch NUFERscience/AFU Solothurn und der ZHAW.

Chemisch-physikalische Parameter Abfluss															
Datum	pH-Wert	Temperatur °C	Leitfähigkeit µS/cm	Sauerstoff %	Sauerstoff mg/l O ₂	GUS mg/l	Ammonium mg/l N	Nitrit mg/l N	Nitrat mg/l N	N-tot mg/l N	Phosphat mg/l P	P-tot mg/l P	Chlorid mg/l Cl	Sulfat mg/l SO ₄	DOC mg/l C
12.03.09	7.90	4.5	517	-	12.63	5.50	0.008	0.016	3.57	3.90	0.005	0.028	6.50	12.9	2.10
09.06.09	7.70	18.7	389	110.0	9.70	4.00	0.027	0.034	0.75	1.00	0.005	0.028	6.30	13.9	2.80
08.09.09	7.80	17.0	491	77.8	7.20	20.00	0.104	0.007	0.10	1.00	0.007	0.070	6.80	10.2	4.00
09.12.09	7.80	4.8	539	70.0	8.80	2.50	0.220	0.040	2.17	2.50	0.009	0.042	7.70	16.8	4.10
04.03.10	8.00	6.3	551	102.0	11.90	5.00	0.036	0.017	3.99	4.80	0.005	0.039	7.80	17.2	2.00
04.05.10	7.90	15.4	507	95.6	9.02	5.50	0.101	0.028	1.40	1.50	0.005	0.034	7.20	15.8	2.50
07.07.10	8.20	22.8	313	118.5	9.77	9.00	0.008	0.010	0.20	1.00	0.005	0.034	7.10	13.3	2.90
06.10.10	7.50	16.1	464	59.6	5.60	0.50	0.098	0.011	0.17	1.00	0.008	0.030	7.90	14.6	3.50
02.03.11	7.90	5.7	567	100.0	11.90	3.50	0.028	0.023	3.24	3.40	0.005	0.030	7.50	16.1	2.00
03.05.11	8.00	17.1	431	100.0	9.00	28.00	0.045	0.023	0.37	0.90	0.019	0.104	7.00	14.5	4.20
07.07.11	7.70	22.8	305	100.0	8.00	6.70	0.053	0.003	0.12	0.50	0.023	0.061	7.20	12.4	9.50
06.10.11	7.80	17.0	414	114.0	10.50	7.30	0.008	0.003	0.08	0.50	0.005	0.061	8.40	14.0	4.80
05.03.12	7.94	6.6	527	102.0	11.87	2.00	0.033	0.014	3.88	4.70	0.006	0.024	6.90	15.0	1.90
09.05.12	8.10	17.6	483	160.0	14.50	4.30	0.029	0.035	2.06	2.40	0.005	0.032	6.80	15.2	3.00
02.07.12	7.70	22.0	349	90.0	7.50	4.70	0.038	0.014	0.37	0.50	0.008	0.038	6.70	12.7	3.70
04.10.12	7.60	15.3	437	100.0	10.50	3.70	0.124	0.018	0.49	0.90	0.005	0.028	8.00	13.7	3.20
07.03.13	7.92	6.1	551	110.0	12.75	2.70	0.029	0.009	3.77	4.20	0.005	0.024	7.10	15.5	1.60
02.05.13	7.93	14.4	554	114.2	11.00	3.70	0.234	0.045	2.80	4.00	0.005	0.032	6.40	14.1	2.00
01.07.13	8.20	13.3	449	175.5	15.86	9.30	0.019	0.036	1.60	2.30	0.005	0.043	6.20	13.5	3.10
09.10.13	7.60	14.8	525	92.3	8.92	3.30	0.148	0.064	1.61	2.40	0.005	0.040	6.70	13.1	2.50
06.03.14	8.00	6.8	571	104.9	12.25	0.70	0.028	0.013	3.71	4.10	0.005	0.024	5.80	12.6	1.60
06.05.14	7.99	14.7	503	188.0	18.19	2.50	0.072	0.033	1.69	2.40	0.005	0.032	5.90	11.5	3.50
30.06.14	7.48	20.1	373	72.8	6.27	4.50	0.106	0.021	0.37	1.00	0.006	0.048	6.80	11.6	3.70
02.10.14	7.80	17.1	532	96.2	8.90	1.50	0.087	0.038	1.15	1.90	0.005	0.030	6.20	12.3	3.20
05.03.15	8.34	6.1	563	100.2	12.02	2.70	0.050	0.010	3.61	5.20	0.005	0.031	6.10	11.9	1.50
06.05.15	7.70	13.4	508	91.2	9.06	2.00	0.133	0.077	3.46	4.30	0.012	0.054	5.20	11.2	3.80
29.06.15	7.90	22.5	554	95.4	7.80	6.00	0.478	0.076	1.27	2.50	0.008	0.044	6.80	12.3	3.90
01.10.15	8.16	11.4	493	103.5	11.15	16.50	0.041	0.019	1.01	1.40	0.005	0.050	7.70	19.2	3.50
08.02.16	8.60	6.1	539	96.1	11.32	2.05	0.080	<0.015	3.48	3.47	<0.010	0.015	7.17	<40.0	6.24
03.03.16	8.00	5.2	548	94.4	11.24	1.00	0.051	0.010	3.33	3.80	<0.005	0.014	5.50	12.9	1.80
06.04.16	8.27	13.4	369	130.7	13.65	1.59	0.018	<0.015	2.19	2.26	<0.01	<0.01	5.24	<40.0	4.05
02.05.16	8.13	11.5	472	111.9	11.61	4.30	0.095	0.027	1.78	2.40	<0.005	0.020	5.70	11.4	3.20
06.06.16	8.00	16.2	457.8	108.5	10.62	1.71	0.143	0.034	2.19	2.29	<0.01	0.018	4.35	<40.0	4.98
28.06.16	7.80	18.2	561	117.0	10.53	3.00	0.167	0.046	2.12	2.70	<0.005	0.025	4.70	10.9	2.80
12.07.16	8.07	22.2	550	99.2	8.63	5.10	0.246	0.059	1.57	2.30	<0.01	0.027	5.04	<40.0	6.04
25.07.16	8.92	22.2	560	85.4	7.08	1.24	0.529	0.062	0.95	1.74	<0.015	0.016	4.22	<40.0	3.56
11.08.16	8.30	18.8	520	109.7	9.75	10.70	0.093	0.021	0.79	1.73	<0.01	<0.015	5.50	<40.0	8.00
05.09.16	7.86	20.6	500	84.6	7.27	4.34	0.121	0.020	0.47	1.12	0.050	0.065	7.00	<40.0	5.50
29.09.16	7.80	17.3	520	107.2	9.88	1.70	0.126	0.023	0.69	1.20	<0.005	0.037	6.00	11.0	2.90
12.10.16	8.07	10.2	498	87.2	9.35	0.97	0.158	0.028	0.87	1.40	<0.01	0.025	6.84	<40.0	4.23

Die Jahresmittel der Total-Phosphor-Konzentration (mg/l P) des Bellacher Weihers der Messreihe 2009 bis 2016 der Standorte Zufluss, Weihermitte und Abfluss befinden sich in Tabelle 19.

Tabelle 19: Jahresmittel der Total-Phosphor-Konzentration (mg/l P) des Bellacher Weihers der Standorte Zufluss, Weihermitte und Abfluss der Jahre 2009 bis 2016.

Total-Phosphor-Konzentration

Jahresmittel mg/l P

Jahr	Zufluss	Mitte	Abfluss
2009	0.0448	0.0435	0.0420
2010	0.0265	0.0320	0.0343
2011	0.0243	0.0458	0.0640
2012	0.0398	0.0355	0.0305
2013	0.0428	0.0338	0.0348
2014	0.0293	0.0400	0.0335
2015	0.0280	0.0418	0.0448
2016	0.0323	0.0238	0.0262

Anhang A: Chemisch-physikalischer Zustand

Statistische Auswertungen

Die statistischen Auswertungen der chemisch-physikalischen Parameter (Vor-Ort-Parameter, Nährstoffe und GUS) des Bellacher Weihers der Messreihe 2009 bis 2016 befinden sich für den Zufluss in Tabelle 20, für die Weihermitte in Tabelle 21 und für den Abfluss in Tabelle 22.

Tabelle 20: Auswertungen der linearen Regressions- und Residuen-Analyse des Bellacher Weihers am Standort Zufluss der Vor-Ort-Parameter pH-Wert, Temperatur [°C], Leitfähigkeit [µS/cm], Sauerstoff-Sättigung [%], Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂], GUS [mg/l] sowie der Nährstoff-Parameter Ammonium [mg/l N], Nitrit [mg/l N], Nitrat [mg/l N], Total-Stickstoff [mg/l N], Phosphat [mg/l P], Total-Phosphor [mg/l P], Chlorid [mg/l Cl], Sulfat [mg/l SO₄] und DOC [mg/l C]. Der Shapiro Wilk- und Kolmogorow Smirnov-Test testen die Residuen auf Normalverteilung (bei p>0.05 gilt Normalverteilung). Weiter wird mit Hilfe der Regressionsanalyse der Y-Achsen-Schnittpunkt b und die Steigung a der Funktion $y = a \cdot x + b$ und deren p-Wert (bei p<0.05 signifikant) bzw. das Vertrauensniveau (Signifikanzcode, `****` = sehr hohes Vertrauensniveau mit p zwischen 0 und 0.001, `***` = hohes Vertrauensniveau mit p zwischen 0.001 und 0.01, `**` = gutes Vertrauensniveau mit p zwischen 0.01 und 0.05, `.` = mässiges Vertrauensniveau mit p zwischen 0.05 und 0.1, ` ` = schlechtes Vertrauensniveau mit p zwischen 0.1 und 1), die Standardabweichung, das Bestimmungsmaß R² und der p-Wert der Regressionsanalyse bestimmt (bei p<0.05 signifikanter linearer Trend). Der Korrelationskoeffizient wurde bei den Parametern nachträglich berechnet, deren R² positiv war. Weiter ist angegeben, ob die Regressionsgerade durch den Nullpunkt gezwungen werden musste.

Regressions- und Residuen-Analyse Zufluss													
Parameter	Shapiro Wilk	Kolmogorow Smirnov	b	p-value (b)	Signifikanz-Code	b durch 0	a	p-value (a)	Signifikanz-Code	Standard-abweichung	Korrelations-koeffizient	adjusted R2	p-value
pH	0.000	0.220	6.276	0.000	***	nein	8.77E-05	0.050	*	0.2482	0.2714	0.0737	0.050
Temperatur	0.014	0.534	3.049	0.658		nein	5.00E-04	0.658		2.4520	0.0775	0.0060	0.271
Leitfähigkeit	0.010	0.319	966.246	0.000	***	nein	-0.024	0.006	**	47.5800	0.4000	0.1600	0.006
Sauerstoffsättigung	0.000	0.001	142.500	0.013	*	nein	-0.003	0.351		19.6500	-	-0.0028	0.351
Sauerstoffkonzentration	0.000	0.041	12.512	0.037	*	nein	2.00E-05	0.606		2.0720	-	-0.0191	0.606
GUS	0.000	0.154	20.038	0.047	*	nein	-0.001	0.107		3.4840	0.2063	0.0425	0.107
Ammonium	0.058	0.516	0.032	0.391		nein	-3.73E-07	0.873		0.0116	-	-0.0304	0.873
Nitrit	0.000	0.016	-0.012	0.226		nein	1.05E-06	0.105		0.0030	0.2343	0.0549	0.105
Nitrat	0.004	0.480	11.304	0.000	***	nein	-4.00E-04	0.000	***	0.5458	0.5886	0.3465	3.87E-05
Total-Stickstoff	0.000	0.294	12.561	0.000	***	nein	-4.97E-04	0.000	***	0.6988	0.5343	0.2855	2.28E-04
Phosphat	0.000	0.000	0.003	0.970		nein	1.12E-06	0.811		0.0241	-	-0.0285	0.811
Total-Phosphor	0.000	0.003	0.051	0.523		nein	-1.14E-06	0.821		0.0277	-	-0.0263	0.821
Chlorid	0.005	0.662	14.938	0.000	***	nein	-5.58E-04	0.000	***	0.7755	0.5394	0.2909	1.96E-04
Sulfat	0.100	0.443	49.613	0.000	***	nein	2.27E-03	0.000	***	2.2130	0.6464	0.4178	2.86E-05
DOC	0.000	0.046	0.000	-		ja	1.26E-04	0.000	***	1.3410	0.8284	0.6863	8.28E-11

Signifikanzcodes: 0 `****` 0.001 `***` 0.01 `**` 0.05 `.` 0.1 ` ` 1

Tabelle 21: Auswertungen der linearen Regressions- und Residuen-Analyse des Bellacher Weihers am Standort Weihermitte der Vor-Ort-Parameter pH-Wert, Temperatur [°C], Leitfähigkeit [µS/cm], Sauerstoff-Sättigung [%], Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂], GUS [mg/l] sowie der Nährstoff-Parameter Ammonium [mg/l N], Nitrit [mg/l N], Nitrat [mg/l N], Total-Stickstoff [mg/l N], Phosphat [mg/l P], Total-Phosphor [mg/l P], Chlorid [mg/l Cl], Sulfat [mg/l SO₄] und DOC [mg/l C] inklusive Zweitauswertung des Phosphat [mg/l P, Phosphat2] ohne Höchstwert. Der Shapiro Wilk- und Kolmogorow Smirnov-Test testen die Residuen auf Normalverteilung (bei p>0.05 gilt Normalverteilung). Weiter wird mit Hilfe der Regressionsanalyse der Y-Achsen-Schnittpunkt b und die Steigung a der Funktion $y = a \cdot x + b$ und deren p-Wert (bei p<0.05 signifikant) bzw. das Vertrauensniveau (Signifikanzcode, `****` = sehr hohes Vertrauensniveau mit p zwischen 0 und 0.001, `***` = hohes Vertrauensniveau mit p zwischen 0.001 und 0.01, `**` = gutes Vertrauensniveau mit p zwischen 0.01 und 0.05, `.` = mässiges Vertrauensniveau mit p zwischen 0.05 und 0.1, `.` = schlechtes Vertrauensniveau mit p zwischen 0.1 und 1), die Standardabweichung, das Bestimmungsmaass R² und der p-Wert der Regressionsanalyse bestimmt (bei p<0.05 signifikanter linearer Trend). Der Korrelationskoeffizient wurde bei den Parametern nachträglich berechnet, deren R² positiv war. Weiter ist angegeben, ob die Regressionsgerade durch den Nullpunkt gezwungen werden musste.

Regressions- und Residuen-Analyse Weihermitte													
Parameter	Shapiro	Kolmogorow	b	p-value (b)	Signifikanz-	b durch 0	a	p-value (a)	Signifikanz-	Standard-	Korrelations-	adjusted R2	p-value
	Wilk	Smirnov			Code				Code	abweichung	koeffizient		
pH	0.061	0.738	6.225	0.000	***	nein	1.05E-04	0.032	*	0.2689	0.3044	0.0927	0.032
Temperatur	0.018	0.418	0.865	0.959		nein	8.49E-04	0.419		5.952	-	-0.0086	0.419
Leitfähigkeit	0.004	0.414	175.836	0.117		nein	0.020	0.117		71.1900	0.1970	0.0388	0.117
Sauerstoffsättigung	0.103	0.551	6.942	0.946		nein	6.54E-03	0.309		34.7400	0.0415	0.0017	0.309
Sauerstoffkonzentration	0.230	0.644	1.773	0.856		nein	5.76E-04	0.351		3.4930	-	-0.0028	0.351
GUS	0.000	0.145	20.707	0.031	*	nein	-9.93E-04	0.094	.	3.3080	0.2187	0.0478	0.094
Ammonium	0.000	0.002	0.753	0.022	*	nein	5.38E-05	0.010	**	0.1131	0.3764	0.1417	0.010
Nitrit	0.030	0.438	0.000	-		ja	1.72E-06	2.32E-12	***	0.0169	0.8503	0.7230	2.32E-12
Nitrat	0.004	0.490	1.326	0.721		nein	2.87E-05	0.902		1.3240	-	-0.0259	0.902
Total-Stickstoff	0.005	0.137	0.581	0.877		nein	1.16E-04	0.623		1.3370	-	-0.0197	0.623
Phosphat	0.000	0.012	0.000	-		ja	5.23E-07	1.66E-04	***	0.0101	0.6176	0.3814	1.66E-04
Phosphat2	0.000	0.092	0.000	-		ja	3.94E-07	1.68E-14	***	0.0022	0.9416	0.8867	1.68E-14
Total-Phosphor	0.030	0.669	0.114	0.002	**	nein	-4.94E-06	0.030	*	0.0121	0.3169	0.1004	0.030
Chlorid	0.722	0.944	19.311	0.000	***	nein	-7.96E-04	4.59E-06	***	0.8541	0.6430	0.4135	4.60E-06
Sulfat	0.002	0.504	31.310	0.000	***	nein	-1.11E-03	0.008	***	1.8540	0.4287	0.1838	0.008
DOC	0.003	0.281	0.000	-		ja	2.26E-04	0.000	***	1.5600	0.9177	0.8422	<2.2W-16

Signifikanzcodes: 0 `****` 0.001 `***` 0.01 `**` 0.05 `.` 0.1 `.` 1

Tabelle 22: Auswertungen der linearen Regressions- und Residuen-Analyse des Bellacher Weihers am Standort Abfluss der Vor-Ort-Parameter pH-Wert, Temperatur [°C], Leitfähigkeit [µS/cm], Sauerstoff-Sättigung [%], Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂], GUS [mg/l] sowie der Nährstoff-Parameter Ammonium [mg/l N], Nitrit [mg/l N], Nitrat [mg/l N], Total-Stickstoff [mg/l N], Phosphat [mg/l P], Total-Phosphor [mg/l P], Chlorid [mg/l Cl], Sulfat [mg/l SO₄] und DOC [mg/l C] inklusive Zweitauswertung des Phosphat [mg/l P, Phosphat2] ohne Höchstwert. Der Shapiro Wilk- und Kolmogorow Smirnov-Test testen die Residuen auf Normalverteilung (bei p>0.05 gilt Normalverteilung). Weiter wird mit Hilfe der Regressionsanalyse der Y-Achsen-Schnittpunkt b und die Steigung a der Funktion $y = a \cdot x + b$ und deren p-Wert (bei p<0.05 signifikant) bzw. das Vertrauensniveau (Signifikanzcode, `****` = sehr hohes Vertrauensniveau mit p zwischen 0 und 0.001, `***` = hohes Vertrauensniveau mit p zwischen 0.001 und 0.01, `**` = gutes Vertrauensniveau mit p zwischen 0.01 und 0.05, `.` = mässiges Vertrauensniveau mit p zwischen 0.05 und 0.1, ` ` = schlechtes Vertrauensniveau mit p zwischen 0.1 und 1), die Standardabweichung, das Bestimmungsmaß R² und der p-Wert der Regressionsanalyse bestimmt (bei p<0.05 signifikanter linearer Trend). Der Korrelationskoeffizient wurde bei den Parametern nachträglich berechnet, deren R² positiv war. Weiter ist angegeben, ob die Regressionsgerade durch den Nullpunkt gezwungen werden musste.

Regressions- und Residuen-Analyse Abfluss													
Parameter	Shapiro Wilk	Kolmogorow Smirnov	b	p-value (b)	Signifikanz-Code	b durch 0	a	p-value (a)	Signifikanz-Code	Standard-abweichung	Korrelations-koeffizient	adjusted R2	p-value
pH	0.134	0.853	6.058	0.000	***	nein	1.19E-04	0.013	*	0.2621	0.3599	0.1295	0.013
Temperatur	0.019	0.402	1.476	0.929		nein	8.05E-04	0.439		5.8990	-	-0.0101	0.439
Leitfähigkeit	0.006	0.338	137.131	0.487		nein	0.02206	0.079	.	70.1100	0.2336	0.0546	0.079
Sauerstoffsättigung	0.000	0.084	68.843	0.354		nein	0.00223	0.629		25.1500	-	-0.0205	0.629
Sauerstoffkonzentration	0.270	0.939	8.739	0.234		nein	1.00E-04	0.826		2.5910	-	-0.0250	0.826
GUS	0.000	0.018	32.077	0.036	*	nein	-1.69E-03	0.075	.	5.2920	0.2383	0.0568	0.075
Ammonium	0.000	0.041	0.000	0.000		ja	6.72E-06	0.000	***	0.1096	0.6952	0.4833	2.75E-07
Nitrit	0.011	0.206	0.000	0.000		ja	1.79E-06	0.000	***	0.0188	0.8329	0.6937	2.93E-11
Nitrat	0.002	0.442	0.591	0.872		nein	7.18E-05	0.754		1.3020	-	-0.0236	0.754
Total-Stickstoff	0.005	0.452	0.350	0.926		nein	1.23E-04	0.603		1.3480	-	-0.0190	0.603
Phosphat	0.000	0.020	0.000	0.000		ja	5.52E-07	0.000	***	0.0173	0.2379	0.0566	0.081
Phosphat2	0.000	0.009	0.016	0.387		nein	-5.56E-07	0.631		0.0044	-	-0.0291	0.631
Total-Phosphor	0.000	0.067	0.026	0.016	*	nein	-5.60E-06	0.081	.	0.0173	0.2379	0.0566	0.081
Chlorid	0.709	0.928	17.101	0.000	***	nein	-6.65E-04	0.000		0.8084	0.5935	0.3523	2.24E-05
Sulfat	0.009	0.527	28.091	0.000	***	nein	-9.27E-04	0.032	*	1.9360	0.3409	0.1162	0.032
DOC	0.000	0.187	0.000	0.000		ja	2.25E-04	<2E-16	***	1.6450	0.9091	0.8265	<2.2E-16

Signifikanzcodes: 0 `****` 0.001 `***` 0.01 `**` 0.05 `.` 0.1 ` ` 1

Anhang A: Chemisch-physikalischer Zustand

Jahresverläufe 2016

Vor-Ort-Parameter und GUS 2016

Der pH-Wert des Bellacher Weihers bewegte sich im Jahr 2016 im Zufluss zwischen 7.55 (02.05.16) und 8.89 (25.07.16), in der Weihermitte zwischen 7.60 (28.06.16) und 8.83 (25.07.16) und im Abfluss zwischen 7.80 (28.06.16, 29.09.16) und 8.92 (25.07.16). Die Werte des Abflusses und der Weihermitte waren das ganze Jahr über höher oder gleich gross wie die des Zuflusses. Alle drei Standorte erreichten am 25.07.16 ihre Höchstwerte (Abbildung 24, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

Die Temperatur (°C) des Bellacher Weihers bewegte sich im Jahr 2016 im Zufluss zwischen 6.5 °C (03.03.16) und 14.1 °C (25.07.16, 05.09.16), in der Weihermitte zwischen 5.4 °C (03.03.16) und 22.7 °C (25.07.16) und im Abfluss zwischen 5.2 °C (03.03.16) und 22.2 °C (12.07.16, 25.07.16). Die Temperatur stieg tendenziell bei allen Probenahmestandorten bis im Sommer an und fiel im Herbst wieder ab. Die Werte des Zuflusses lagen ausser bei den ersten zwei sowie der letzten Messung (08.02.16, 03.03.16, 12.10.16) immer tiefer als diejenigen des Abflusses und der Weihermitte (Abbildung 24, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

Die Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des Bellacher Weihers bewegte sich im Jahr 2016 im Zufluss zwischen 420 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (06.04.16) und 622 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (29.09.16), in der Weihermitte zwischen 373 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (06.04.16) und 567 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (28.06.16) und im Abfluss zwischen 369 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (06.04.16) und 561 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (28.06.16). Die Jahresverläufe waren bei der Weihermitte und dem Abfluss ähnlich und die Werte oft gleich oder unterschieden sich nur geringfügig. Zu Beginn der Messreihe war die Leitfähigkeit hoch, erreichte im Frühling die Tiefstwerte und stieg bis im Sommer wieder stark bis zum Höchstwert an. Im Herbst bewegte sich die Leitfähigkeit mehrheitlich auf dem gleichen Niveau. Die Leitfähigkeit des Zuflusses schwankte stark im Jahresverlauf und wies teilweise Unterschiede von ± 50 bis ± 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zwischen zwei Probenahmedaten auf (Abbildung 24, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

Die Sauerstoff-Sättigung (%) des Bellacher Weihers bewegte sich im Jahr 2016 im Zufluss zwischen 78.9 % (12.07.16) und 92.7 % (02.05.16), in der Weihermitte zwischen 66.1 % (25.07.16) und 212 % (06.04.16) und im Abfluss zwischen 84.6 % (05.09.16) und 130.7 % (06.04.16). Die Sauerstoff-Konzentration ($\text{mg}/\text{l O}_2$) des Bellacher Weihers bewegte sich im Zufluss zwischen 7.91 $\text{mg}/\text{l O}_2$ (25.07.16) und 10.16 $\text{mg}/\text{l O}_2$ (02.05.16), in der Weihermitte zwischen 5.44 $\text{mg}/\text{l O}_2$ (25.07.16) und 22.48 (06.04.16) und im Abfluss zwischen 7.08 $\text{mg}/\text{l O}_2$ (26.07.16) und 13.65 $\text{mg}/\text{l O}_2$ (06.04.16). Die Höchstwerte der Sauerstoffmessung wurden mit 22.48 $\text{mg}/\text{l O}_2$ respektive 212 % (06.04.16), die Tiefstwerte mit 5.44 $\text{mg}/\text{l O}_2$ respektive 66.1 % (25.07.16) in der Weihermitte gemessen. Die Sauerstoffwerte der Weihermitte und des Abflusses zeigten im Jahresverlauf teilweise starke Schwankungen auf. Die Werte des Zuflusses bewegten sich über das ganze Jahr in einem ähnlichen Bereich und wiesen keine

Schwankungen von mehr als 15 % respektive 1.5 mg/l O₂ zwischen zwei Probenahmedaten auf (Abbildung 24, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

Die GUS (mg/l) des Bellacher Weihers bewegten sich im Jahr 2016 im Zufluss zwischen 0.7 mg/l (03.03.16, 11.08.16) und 6.12 mg/l (25.07.16), in der Weihermitte zwischen 1.0 mg/l (03.03.16) und 11.2 mg/l (11.08.16) und im Abfluss zwischen 0.97 mg/l (12.10.16) und 10.7 mg/l (11.08.16). Die Jahresverläufe der GUS der Standorte Weihermitte und Abfluss wiesen einen ähnlichen Verlauf auf und erreichten die Höchstwerte im Spätsommer. Der Jahresverlauf des Zuflusses zeigte ein anderes Muster auf und unterschied sich teilweise um bis zu ≥ 10 mg/l von der Weihermitte und dem Abfluss (Abbildung 24, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

Die Trübung (NTU) des Bellacher Weihers bewegte sich im Jahr 2016 im Zufluss zwischen 1.98 NTU (06.06.16) und 12.4 NTU (05.09.16), in der Weihermitte zwischen 1.25 NTU (12.10.16) und 9.38 NTU (11.08.16) und im Abfluss zwischen 1.12 NTU (12.10.16) und 9.42 NTU (11.08.16). Die Höchstwerte wurden bei allen Standorten im Spätsommer gemessen und unterschieden sich um ≥ 7 NTU zwischen zwei Probenahmedaten (Abbildung 24, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

Die Sichttiefe (cm) des Bellacher Weihers entsprach im Jahr 2016 ausser bei einer Messung (11.08.16) mit einer Sichttiefe von 100 cm immer der Grundsicht. Die gemessenen Werte des Pegelstandes (cm) nahmen über das Jahr von anfänglich 58 cm auf 74 cm zu, was einer Abnahme der Höhe des Wasserspiegels entsprach (Abbildung 24, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

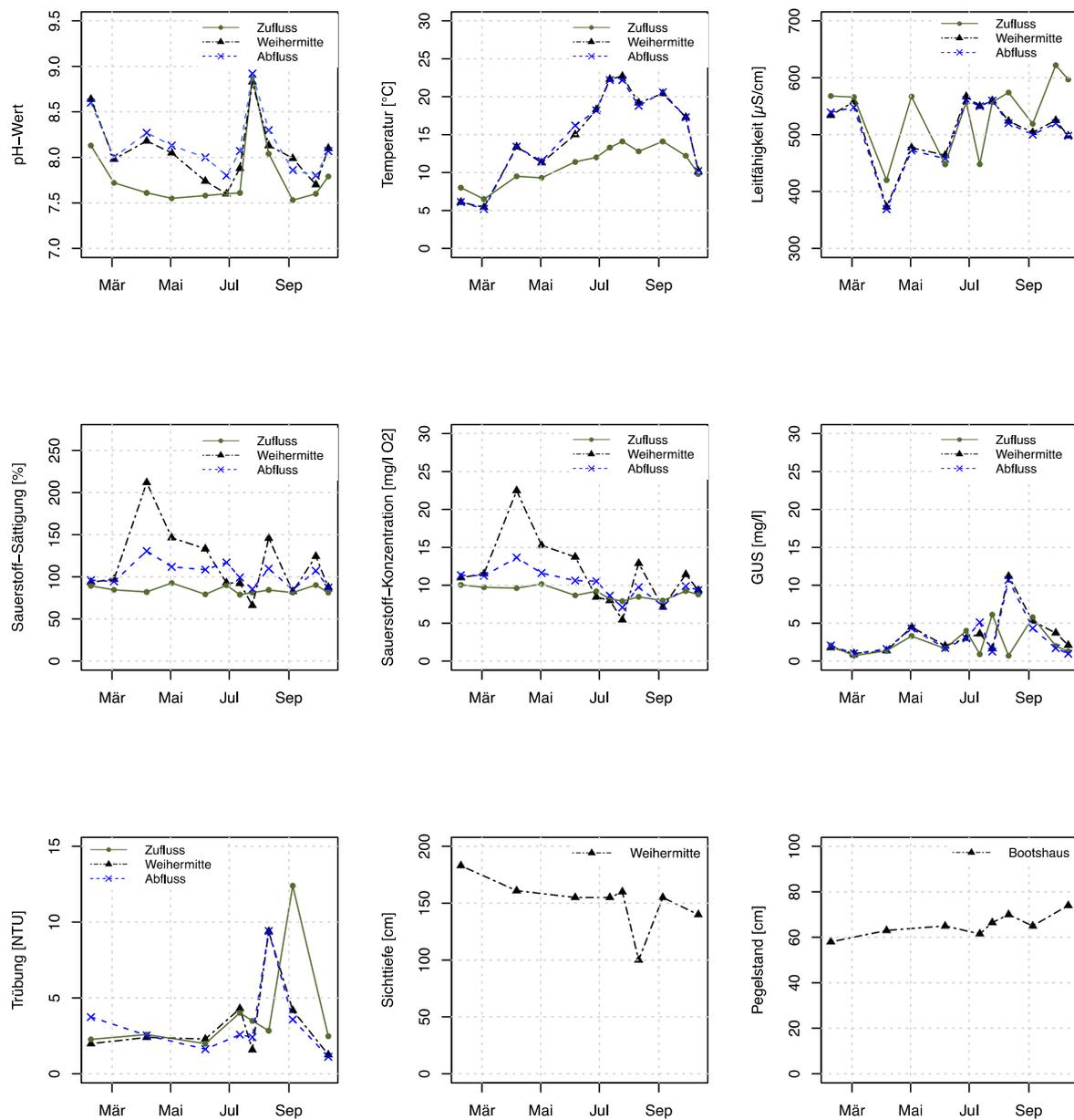


Abbildung 24: Multiplot Jahresverlauf der Messreihe 2016 der Vor-Ort-Parameter des Bellacher Weihers mit pH-Wert, Temperatur [°C], Leitfähigkeit [µS/cm], Sauerstoff-Sättigung [%], Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂] und GUS [mg/l] der drei Probenahmestandorte Zufluss, Weihermitte und Abfluss von allen 12 Probenahmen gemessen durch NUFERscience/AFU Solothurn und der ZHAW. Weiter dargestellt sind die Trübung [NTU] der drei Probenahmestandorte Zufluss, Weihermitte und Abfluss, die Sichttiefe [cm] gemessen in der Weihermitte und der Pegelstand [cm] gemessen beim Bootshaus von 8 Probenahmedaten, gemessen durch die ZHAW (Woodtli, 2016).

Nährstoffe 2016

Die Ammonium-Konzentration (mg/l N) des Bellacher Weihers bewegte sich im Jahr 2016 im Zufluss nahe an der Messgrenze (0.015 mg/l N) und betrug maximal 0.028 mg/l N (29.09.16). Sechs Messungen des Zuflusses ergaben Ammoniumwerte unter der Messgrenze, welche über die Messreihe verteilt auftraten. Die Ammonium-Konzentration der Weihermitte bewegte sich zwischen 0.023 mg/l N (06.04.16) und 0.555 mg/l N (25.07.16), die des Abflusses zwischen 0.018 mg/l N (06.04.16) und 0.529 mg/l N (25.07.16). Die Ammoniumwerte der Weihermitte und des Abflusses stiegen bis zur Erreichung der Höchstwerte im Sommer stetig an, danach fielen sie um > 0.4 mg/l N bis zur nächsten Messung ab (Abbildung 25, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

Die Nitrit-Konzentration (mg/l N) des Bellacher Weihers bewegte sich 2016 im Zufluss mit Ausnahme einer Messung von 0.018 mg/l N (05.09.16) jeweils unter der Messgrenze (0.015 mg/l N). Die ersten drei Messungen im Frühjahr ergaben in der Weihermitte und im Abfluss Werte auf oder unterhalb der Messgrenze. Danach stiegen die Nitrit-Konzentrationen an beiden Standorten stetig an und erreichten ihre Höchstwerte im Juli mit 0.055 mg/l N in der Weihermitte (12.07.16) und 0.062 mg/l N im Abfluss (25.07.16), danach fielen sie um >0.03 mg/l N bis zur nächsten Messung ab (Abbildung 25, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

Die Nitrat-Konzentration (mg/l N) des Bellacher Weihers war im Zufluss im Jahresverlauf 2016 immer höher als in den anderen beiden Standorten Weihermitte und Abfluss. Die Nitrat-Konzentration bewegte sich im Zufluss zwischen 3.40 mg/l N (12.07.16) und 4.43 mg/l N (08.02.16), in der Weihermitte zwischen 0.48 mg/l N (05.09.16) und 3.43 mg/l N (08.02.16) und im Abfluss zwischen 0.47 mg/l N (05.09.16) und 3.48 mg/l N (08.02.16). Die Höchstkonzentrationen wurden bei allen drei Standorten bei der ersten Probenahme (08.02.16) gemessen. Während die Nitrat-Konzentrationen im Zufluss im 2016 relativ konstante Werte aufwiesen, fielen jene der Weihermitte und des Abflusses im Jahresverlauf stark ab (Abbildung 25, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

Die Total-Stickstoff-Konzentration (mg/l N) bewegte sich im Zufluss zwischen 3.5 mg/l N (12.07.16) und 4.6 mg/l N (03.03.16), in der Weihermitte zwischen 1.3 mg/l N (29.09.16) und 3.9 mg/l N (03.03.16) und im Abfluss zwischen 1.12 mg/l N (05.09.16) und 3.8 mg/l N (03.03.16). Die Total-Stickstoff-Konzentration des Bellacher Weihers war in der Weihermitte und im Abfluss zu Beginn des Jahres 2016 höher und fiel gegen Ende der Messreihe tendenziell ab. Im Zufluss waren die Werte relativ konstant und bewegten sich um 4 mg/l N (Abbildung 25, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

Die Phosphat-Konzentration (mg/l P) bewegte sich im Jahr 2016 an allen Probenahmestandorten weitgehend unter der Messgrenze von 0.01 mg/l P. Der Zufluss wies im Juni einen Wert von 0.043 mg/l P (06.06.16) und im September den Höchstwert von 0.107 mg/l P (05.09.16) auf. In der Weihermitte und im Abfluss konnte in je einer Messung eine Konzentration von 0.06 mg/l P (12.07.16) respektive 0.05 mg/l P (05.09.16) oberhalb der Messgrenze nachgewiesen werden (Abbildung 25, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

Die Total-Phosphor-Konzentration (mg/l P) lag im Jahr 2016 ausser bei zwei Messungen (06.04.16, 11.08.16) bei allen Probenahmestandorten oberhalb der Messgrenze von 0.01 mg/l P. Nach dem 11.08.16 folgten Höchstwerte im Zu- und Abfluss von 0.117 mg/l P respektive 0.065 mg/l P (05.09.16). Die Weihermitte erreichte ihren Höchstwert von 0.037 mg/l P (29.09.16) circa einen Monat später (Abbildung 25, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

Die Chlorid-Konzentration (mg/l Cl) des Bellacher Weihers bewegte sich im Jahr 2016 im Zufluss zwischen 4.15 mg/l Cl (25.07.16) und 8.3 mg/l Cl (05.09.16), in der Weihermitte zwischen 4.09 mg/l Cl (25.07.16) und 7.5 mg/l Cl (05.09.2016) und im Abfluss zwischen 4.35 mg/l Cl (06.06.16) und 7.17 mg/l Cl (08.02.16). Die Jahresverläufe der drei Standorte verhielten sich ähnlich und wiesen nach den Tiefstwerten im Sommer die Höchstwerte Anfangs September (05.09.16) auf (Abbildung 25, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

Die Sulfat-Konzentration (mg/l SO₄) des Bellacher Weihers bewegte sich im Jahr 2016 im Zufluss zwischen 9.7 mg/l SO₄ (28.06.16) und 11.8 mg/l SO₄ (02.05.16), in der Weihermitte zwischen 10.9 mg/l SO₄ (29.09.16) und 13.0 mg/l SO₄ (03.03.16) und im Abfluss zwischen 10.9 mg/l SO₄ (28.06.16) und 12.9 mg/l SO₄ (03.03.16). Die Sulfat-Konzentration nahm in der Weihermitte und im Abfluss tendenziell ab, beim Zufluss wies sie Schwankungen auf (Abbildung 25, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

Der DOC (mg/l C) des Bellacher Weihers befand sich bei einigen Messungen verteilt auf die Messreihe 2016 an diversen Standorten unterhalb der Messwertgrenze von 3 mg/l C. Die Höchstwerte lagen im Zufluss bei 5.54 mg/l C (08.02.16), in der Weihermitte bei 9.7 mg/l C (05.09.16) und im Abfluss bei 8 mg/l C (11.08.16). Die DOC Konzentrationen der Weihermitte und des Abflusses waren tendenziell höher als jene des Zuflusses (Abbildung 25, Anhang A – Jahresverläufe 2016).

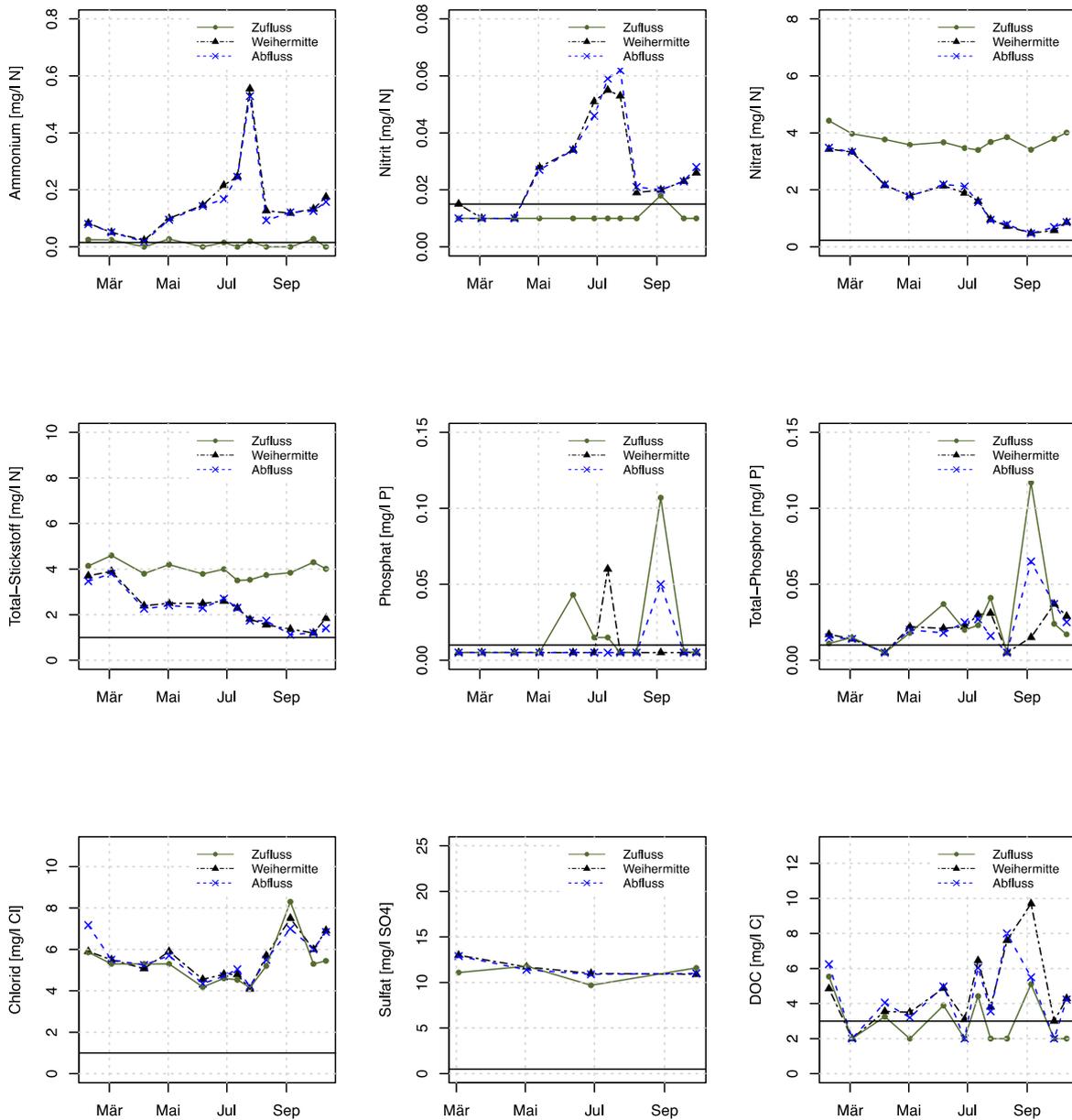


Abbildung 25: Multiplot Jahresverlauf der Messreihe 2016 der Nährstoffe des Bellacher Weihers mit Ammonium [mg/l N, Messgrenze 0.015 mg/l N], Nitrit [mg/l N, Messgrenze 0.015 mg/l N], Nitrat [mg/l N, Messgrenze 0.23 mg/l N], Total-Stickstoff [mg/l N, Messgrenze 1 mg/l N], Phosphat [mg/l P, Messgrenze 0.01 mg/l P], Total-Phosphor [mg/l P, Messgrenze 0.01 mg/l P], Chlorid [mg/l Cl, Messgrenze 1 mg/l Cl], Sulfat [mg/l SO₄, Messgrenze AFU Solothurn nicht bekannt, Messgrenze ZHAW 40 mg/l SO₄] und DOC [mg/l C, Messgrenze 3 mg/l C], der drei Probenahmestandorte Zufluss, Weihermitte und Abfluss von allen 12 Probenahmen gemessen durch NUFERscience/AFU Solothurn und der ZHAW (ausgenommen Sulfat, im Plot sind nur die Werte von NUFERscience/AFU Solothurn dargestellt, da die Werte der ZHAW unter der Messgrenze von 40 mg/l SO₄ liegen). Als Messgrenze wurden die höheren Messgrenzen der ZHAW gewählt. Messungen, die darunter liegen, auch wenn sie durch das AFU Solothurn genauer bestimmt wurden, wurden unterhalb der Messgrenze dargestellt. Die Messungen unterhalb der Messgrenze befinden sich im Bereich zwischen 0 und der Messgrenze des jeweiligen Parameters (Ausnahme Sulfat). Die Messgrenzen des jeweiligen Parameters sind als schwarz ausgezogene Linien dargestellt (Woodtli, 2016).

Anhang A: Chemisch-physikalischer Zustand

Jahresverläufe 2009 bis 2016

Vor-Ort-Parameter und GUS 2009 bis 2016

Der pH-Wert des Bellacher Weihers bewegte sich im Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen 7.32 (30.06.14) und 8.89 (25.07.16), in der Weihermitte zwischen 7.4 (06.10.10) und 8.83 (25.07.16) und im Abfluss zwischen 7.48 (30.06.14) und 8.92 (25.07.16). Die Werte schwankten in einem jahreszeitlichen Muster, wobei die Amplitude über die Jahre tendenziell zunahm. Die Werte waren jeweils zu Beginn des Jahres höher, fielen im Sommer ab und stiegen im Herbst und Winter wieder an. Die Verläufe der Weihermitte und des Abflusses waren sehr ähnlich. Seit Beginn der Messreihe ist an allen Standorten eine signifikante Zunahme mit unbefriedigender Korrelation zu verzeichnen (Zufluss: $p=0.04992$, Weihermitte: $p=0.03156$, Abfluss: $p=0.01294$) (Abbildung 26, Abbildung 27, Abbildung 28, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

Die Temperatur (°C) des Bellacher Weihers bewegte sich im Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen 5.9 °C (12.03.09) und 14.1 °C (25.07.16, 05.09.16), in der Weihermitte zwischen 4.3 °C (12.03.09) und 23.3 °C (07.07.11) und im Abfluss zwischen 4.5 °C (12.03.09) und 22.8 °C (07.07.10, 07.07.11). Die Temperaturwerte schwankten in einem jahreszeitlichen Muster und waren im Winterhalbjahr tief und im Sommerhalbjahr hoch. Die Amplituden der Weihermitte und des Abflusses verliefen sehr ähnlich und die Temperatur schwankte an diesen beiden Standorten stärker als im Zufluss. Seit Beginn der Messreihe ist an allen Standorten kein linearer Trend festgestellt worden (Zufluss: $p=0.2714$, Weihermitte: $p=0.4187$, Abfluss: $p=0.4392$) (Abbildung 26, Abbildung 27, Abbildung 28, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

Die Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des Bellacher Weihers bewegte sich im Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen 420 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (06.04.16) und 661 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (06.10.11), in der Weihermitte zwischen 288 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (07.07.10) und 590 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (06.03.14) und im Abfluss zwischen 305 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (07.07.11) und 571 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (06.03.14). Die Leitfähigkeit wies an den Standorten Weihermitte und Abfluss ein jahreszeitliches Muster mit Tiefstwerten im Sommer- und Höchstwerten im Winterhalbjahr auf. Im Zufluss ist kein eindeutiges Muster erkennbar. Im Zufluss nahm die Leitfähigkeit ab, in der Weihermitte und im Abfluss stieg sie tendenziell an. Die Abnahme der Leitfähigkeit im Zufluss ist signifikant ($p=0.006115$) mit schwacher Korrelation. An den Standorten Weihermitte und Abfluss wurde kein signifikanter Trend festgestellt (Weihermitte: $p=0.1169$, Abfluss: $p=0.07929$) (Abbildung 26, Abbildung 27, Abbildung 28, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

Die Sauerstoff-Sättigung (%) des Bellacher Weihers bewegte sich im Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen 73 % (06.10.11) und 175 % (06.05.14), wobei die meisten Messungen zwischen 80 und 100 % lagen. Bei zwei Messungen wurde eine extrem erhöhte Sauerstoff-Sättigung von 165 % (07.07.11) und 175 % (06.05.14) gemessen. Die erste dieser beiden Messungen wird gefolgt von der tiefsten Sauerstoff-Sättigung von 73 % der Messreihe 2009 bis 2016. In der Weihermitte (2016 gemittelte Werte der drei Tiefenmessungen 50 cm, 100 cm, 150 cm) bewegte sich die Sauerstoff-Sättigung zwischen 42 % (06.10.10) und 212 % (06.04.16) und zeigte die grösste Spannweite von allen Standorten. Die Höchstwerte eines Jahres waren jeweils im Frühsommer zu verzeichnen. Im Jahr 2011 waren praktisch keine Schwankungen feststellbar. Im Jahr 2016 waren aufgrund einer erhöhten Anzahl Messungen auch mehr Schwankungen zu verzeichnen. Die Sauerstoff-Sättigung im Abfluss bewegte sich zwischen 59.6 % (06.10.10) und 188 % (06.05.14). Extrem hohe Werte waren im Mai bis Juli anzutreffen. Im Herbst war die Sauerstoff-Sättigung tief. Es ist bei keinem Standort ein eindeutiges Muster zu erkennen. Die lineare Regression ergibt bei keinem Standort einen signifikanten Trend (Zufluss: $p=0.3509$, Weihermitte: $p=0.6293$, Abfluss: $p=0.3086$) (Abbildung 26, Abbildung 27, Abbildung 28, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

Die Sauerstoff-Konzentration (mg/l O₂) des Bellacher Weihers bewegte sich im Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen 7.3 mg/l O₂ (06.10.11) und 20.5 mg/l O₂ (06.05.14). Die meisten Messwerte lagen zwischen 7 und 11 mg/l O₂ und zeigten geringe Schwankungen im Jahresverlauf auf. In der Weihermitte (2016 gemittelte Werte der drei Tiefenmessungen 50 cm, 100 cm, 150 cm) bewegte sich die Sauerstoff-Konzentration zwischen 4 mg/l O₂ (06.10.10) und 22.48 mg/l O₂ (06.04.16). Im Abfluss bewegt sich die Sauerstoff-Konzentration zwischen 5.6 mg/l O₂ (06.10.10) und 18.19 mg/l O₂ (06.05.14). Die Sauerstoff-Konzentration schwankte an den Standorten Weihermitte und Abfluss in einem relativ regelmässigen Muster und war im Frühjahr höher als im Sommer und Herbst. Die Sauerstoff-Konzentration korrelierte mit der Sauerstoff-Sättigung. Beim Zufluss war eine erhöhte Messung der Sauerstoff-Sättigung im Jahr 2011 (165 % am 07.07.11) nicht korrelierend mit einer erhöhten Sauerstoff-Konzentration. Die lineare Regression ergibt bei keinem Standort einen signifikanten Trend (Zufluss: $p=0.606$, Weihermitte: $p=0.3506$, Abfluss: $p=0.8258$) (Abbildung 26, Abbildung 27, Abbildung 28, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

Die GUS (mg/l) des Bellacher Weihers bewegten sich im Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen 0.7 mg/l (05.03.12, 03.03.16, 11.08.16) und 17.5 mg/l (02.07.12), wobei sich der Höchstwert zusammen mit einer zweiten GUS-Messung von 17 mg/l (04.03.10) von den anderen Messwerten abhebt. In der Weihermitte bewegten sich die GUS

zwischen 1 mg/l (03.03.16) und 18 mg/l (09.06.09). Es waren vier erhöhte Messwerte über 9 mg/l zu verzeichnen. Im Abfluss bewegten sich die GUS zwischen 0.5 mg/l (06.10.10) und 28 mg/l (03.05.11). Es ist bei keinem Standort ein eindeutiges Muster erkennbar, die Höchst- und Tiefstwerte waren während allen Jahreszeiten zu finden. Die Weihermitte und der Abfluss zeigten teilweise Ähnlichkeiten im Verlauf der GUS auf. Die lineare Regression ergibt bei keinem Standort eine signifikante Trendlinie (Zufluss: $p=0.1066$, Weihermitte: $p=0.09355$, Abfluss: $p=0.07511$) (Abbildung 26, Abbildung 27, Abbildung 28, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

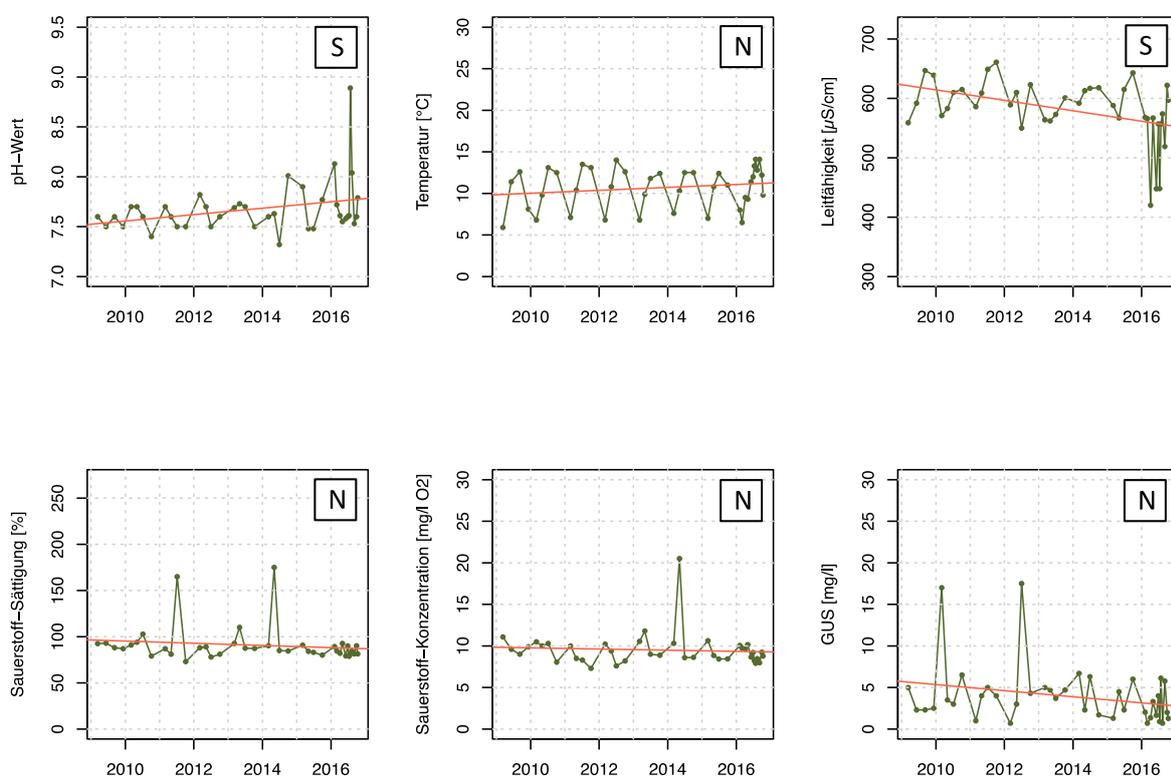


Abbildung 26: Multiplot der Verläufe der Messreihe 2009 bis 2016 der Vor-Ort-Parameter des Bellacher Weihers mit pH-Wert, Temperatur [°C], Leitfähigkeit [µS/cm], Sauerstoff-Sättigung [%], Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂] und GUS [mg/l] des Probenahmestandorts Zufluss. Pro Plot ist die lineare Regressionsgerade als rote ausgezogene Linie dargestellt. Signifikanztest (lineare Regression, $p=0.0499$ (pH), $p=0.2714$ (Temperatur), $p=6.115e-3$ (Leitfähigkeit), $p=0.3509$ (Sauerstoff-Sättigung), $p=0.606$ (Sauerstoff-Konzentration), $p=0.1066$ (GUS)). S = signifikant ($p < 0.05$). N = nicht signifikant ($p \geq 0.05$) (Woodtli, 2016).

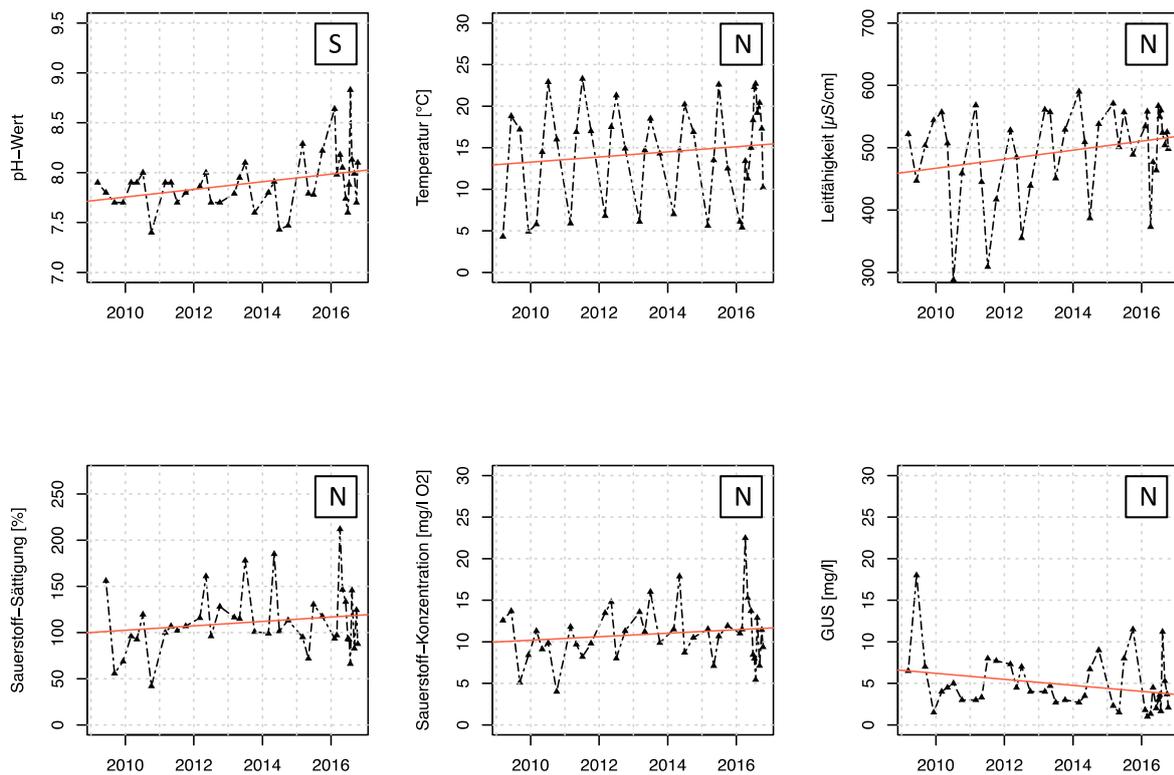


Abbildung 27: Multiplot der Verläufe der Messreihe 2009 bis 2016 der Vor-Ort-Parameter des Bellacher Weihers mit pH-Wert, Temperatur [°C], Leitfähigkeit [µS/cm], Sauerstoff-Sättigung [%], Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂] und GUS [mg/l] des Probenahmestandorts Weihermitte. Pro Plot ist die lineare Regressionsgerade als rote ausgezogene Linie dargestellt. Signifikanztest (lineare Regression, $p=0.03156$ (pH), $p=0.4187$ (Temperatur), $p=0.1169$ (Leitfähigkeit), $p=0.3086$ (Sauerstoff-Sättigung), $p=0.3506$ (Sauerstoff-Konzentration), $p=0.09355$ (GUS)). S = signifikant ($p < 0.05$). N = nicht signifikant ($p \geq 0.05$) (Woodtli, 2016).

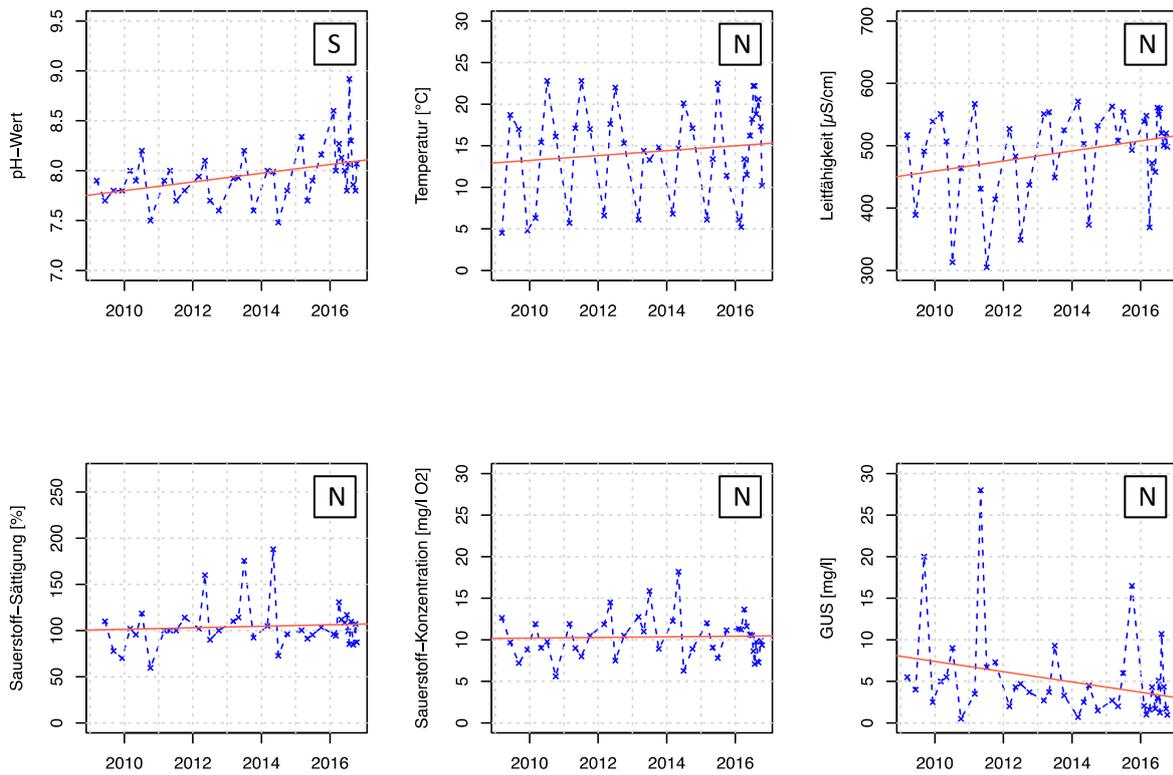


Abbildung 28: Multiplot der Verläufe der Messreihe 2009 bis 2016 der Vor-Ort-Parameter des Bellacher Weihers mit pH-Wert, Temperatur [°C], Leitfähigkeit [µS/cm], Sauerstoff-Sättigung [%], Sauerstoff-Konzentration [mg/l O₂] und GUS [mg/l] des Probenahmestandorts Abfluss. Pro Plot ist die lineare Regressionsgerade als rote ausgezogene Linie dargestellt. Signifikanztest (lineare Regression, $p= 0.01294$ (pH), $p=0.4392$ (Temperatur), $p=0.07929$ (Leitfähigkeit), $p=0.6293$ (Sauerstoff-Sättigung), $p=0.8258$ (Sauerstoff-Konzentration), $p=0.07511$ (GUS)). S = signifikant ($p<0.05$). N = nicht signifikant ($p \geq 0.05$) (Woodtli, 2016).

Nährstoffe 2009 bis 2016

Die Ammonium-Konzentration (mg/l N) des Bellacher Weihers bewegte sich im Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen 0.008 mg/l N (04.03.10) und 0.056 mg/l N (06.10.11). Auf die Tiefstwerte im Jahr 2010 folgen die Höchstwerte im Jahr 2011. Die Ammonium-Konzentration des Zuflusses lag während der ganzen Messreihe auf einem sehr tiefen Niveau im Vergleich zu den andern Standorten. In der Weihermitte bewegte sich die Ammonium-Konzentration zwischen 0.008 mg/l N (07.07.10, 06.10.11) und 0.555 mg/l N (25.07.16). Während der Messreihe waren vier erhöhte Werte festzustellen, die sich von den restlichen Messwerten abhoben (0.231 mg/l N (09.12.09), 0.252 mg/l N (02.05.13), 0.536 mg/l N (29.06.15), 0.555 mg/l N (25.07.16)). Diese korrelierten mit den Höchstwerten im Abfluss. Im Jahr 2016 waren die Ammonium-Werte im Sommer und im Herbst auf einem höheren Level als in den vorangegangenen Jahren. Im Abfluss bewegte sich die Ammonium-Konzentration zwischen 0.008 mg/l N (12.03.09, 07.07.10, 06.10.11) und 0.529 mg/l N (25.07.16). Die Konzentrationen der Weihermitte und des Abflusses verliefen in einem ähnlichen Muster. Die lineare Regression ergibt beim Zufluss keine signifikante Trendlinie ($p=0.8731$). Bei der Weihermitte ist trotz nicht normal verteilter Residuen eine signifikante Zunahme der Ammonium-Konzentration mit unbefriedigender Korrelation feststellbar ($p=0.009617$). Im Abfluss musste die Regressionsgerade durch den Nullpunkt gezwungen werden und die Normalverteilung der Residuen ist verletzt. Trotzdem wurde eine signifikante Zunahme der Ammonium-Konzentration mit schwacher Korrelation verzeichnet ($p=2.749e-7$) (Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 31, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

Die Nitrit-Konzentration (mg/l N) des Bellacher Weihers betrug beim Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 bei den meisten Probenahmedaten 0.003 mg/l N und lag somit im Vergleich zu den anderen Standorten auf einem sehr tiefen Niveau. Während der Messreihe traten vereinzelte höhere Werte auf, welche gegen Ende der Messreihe grösser wurden. Der Höchstwert des Zuflusses betrug 0.018 mg/l N (05.09.16). In der Weihermitte bewegte sich die Nitrit-Konzentration zwischen 0.003 mg/l N (07.07.11) und 0.073 mg/l N (06.05.15) und schwankte sehr stark im Jahresverlauf. Die Tiefstwerte waren im Winterhalbjahr, die Höchstwerte im Sommerhalbjahr zu verzeichnen. Im Sommer brach die Konzentration in mehreren Jahren ein, stieg dann aber wieder an (2009, 2013, 2014). Im Abfluss bewegte sich die Nitrit-Konzentration zwischen 0.003 mg/l N (07.07.11, 06.10.11) und 0.077 mg/l N (06.05.15) und zeigte ein ähnliches Muster und Amplituden wie die Weihermitte auf. Die lineare Regression stellt beim Zufluss keinen signifikanten Trend fest ($p=0.1046$). Hingegen ist in der Weihermitte und im Abfluss seit Beginn der Messreihe eine signifikante Zunahme

der Nitrit-Konzentration mit starker Korrelation festzustellen (Weihermitte: $p=2.32e-12$, Abfluss: $p=2.929e-11$). Die Trendgeraden mussten durch den Nullpunkt gezwungen werden (Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 31, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

Die Nitrat-Konzentration (mg/l N) des Bellacher Weihers bewegte sich im Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen 3.23 mg/l N (02.07.12) und 6.87 mg/l N (09.12.09), in der Weihermitte zwischen 0.01 mg/l N (06.10.11) und 4.2 mg/l N (04.03.10) und im Abfluss zwischen 0.1 mg/l N (08.09.09) und 3.99 mg/l N (04.01.10). Die Nitrat-Konzentration schwankte bei allen Standorten in einem relativ regelmässigen jahreszeitlichen Muster. Erhöhte Werte waren tendenziell in den Wintermonaten, tiefe Werte in den Sommermonaten zu verzeichnen. Im Zufluss lag die Nitrat-Konzentration allerdings auf einem höheren Niveau als in der Weihermitte und im Abfluss und die Amplituden waren weniger stark ausgeprägt. Die Muster der Weihermitte und des Abflusses gleichen sich. Seit Beginn der Messreihe ist eine signifikante Abnahme der Nitrat-Konzentration im Zufluss mit schwacher Korrelation festzustellen ($p=3.869e-5$). In den Standorten Weihermitte und Abfluss ist kein signifikanter Trend feststellbar (Weihermitte: $p=0.9019$, Abfluss: $p=0.7537$) (Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 31, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

Die Total-Stickstoff-Konzentration (mg/l N) des Bellacher Weihers bewegte sich im Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen 3.5 mg/l N (12.07.16) und 7.7 mg/l N (09.12.09), in der Weihermitte zwischen 0.5 mg/l N (06.10.11) und 5.4 mg/l N (05.03.15) und im Abfluss zwischen 0.5 mg/l N (07.07.11, 06.10.11, 02.07.12) und 5.2 mg/l N (05.03.15). Die Total-Stickstoff-Konzentration schwankte an den Standorten Weihermitte und Abfluss in einem relativ regelmässigen jahreszeitlichen Muster und glich dem der Nitrat-Konzentration. Die höchsten Werte waren jeweils zu Beginn des Jahres zu verzeichnen, fielen dann im Sommer stark ab und stiegen im Winterhalbjahr wieder an. Im Zufluss ist kein eindeutiges Muster erkennbar. Der Verlauf glich dem der Nitrat-Konzentration. Die Total-Stickstoff-Konzentration des Zuflusses bewegte sich während der Messreihe auf einem höheren Niveau im Vergleich zu den Standorten Weihermitte und Abfluss. Seit Beginn der Messreihe ist eine signifikante Abnahme der Total-Stickstoff-Konzentration im Zufluss mit schwacher Korrelation festzustellen ($p=2.277e-4$). Die Standorte Weihermitte und Abfluss zeigen keine signifikanten Trendlinien der linearen Regression (Weihermitte: $p=0.6227$, Abfluss: $p=0.6034$) (Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 31, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

Die Phosphat-Konzentration (mg/l P) des Bellacher Weihers bewegte sich im Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen 0.005 mg/l P (05.03.12) und 0.107 mg/l P (05.09.16). Die Werte lagen während der ganzen Messreihe weitgehend unter 0.02 mg/l P. Es waren jedoch einige erhöhte Werte von 0.047 mg/l P (02.07.12), 0.067 mg/l P (07.03.13), 0.095 mg/l P (09.12.09) sowie dem Höchstwert von 0.107 mg/l P (05.09.16) zu verzeichnen. Diese traten ungefähr alle zwei bis drei Jahre auf. Die Phosphat-Konzentration der Weihermitte bewegte sich zwischen 0.005 mg/l P (diverse Daten) und 0.06 mg/l P (12.07.16). Der Höchstwert hebt sich deutlich von den anderen Daten ab. Die übrigen Phosphat-Werte überstiegen während der Messreihe nie eine Konzentration von 0.013 mg/l P. Die Phosphat-Konzentration im Abfluss bewegte sich zwischen 0.005 mg/l P (diverse Daten) und 0.05 mg/l P (05.09.16). Der Höchstwert hebt sich wie bei der Weihermitte deutlich von den anderen Daten ab. Im Jahr 2011 waren zwei weitere erhöhte Phosphat-Werte mit 0.019 mg/l P (03.05.11) und 0.023 mg/l P (07.07.11) feststellbar. Die lineare Regression ergibt im Zufluss keine signifikante Trendlinie ($p=0.8114$). Bei der Weihermitte musste die lineare Regression durch den Nullpunkt gezwungen werden. Trotz Verletzung der Normalverteilung der Residuen ergibt die lineare Regression eine signifikante Zunahme der Phosphat-Konzentration mit schwacher Korrelation ($p=0.0001656$). Auch wenn der erhöhte Wert aus den Daten entfernt wird, ergibt die lineare Regression (durch den Nullpunkt gezwungen) eine signifikante Zunahme der Phosphat-Konzentration mit starker Korrelation, ohne Verletzung der Normalverteilung der Residuen ($p=1.682e14$). Die Trendgerade des Abflusses musste durch den Nullpunkt gezwungen werden und die Normalverteilung der Residuen ist verletzt. Die Regressionsanalyse ergibt einen signifikanten Trend mit unbefriedigender Korrelation ($p=1.691e-5$). Wird der Höchstwert im Jahr 2016 von der Analyse ausgeschlossen, muss b nicht durch den Nullpunkt gezwungen werden, die Normalverteilung der Residuen ist gegeben und es ist kein signifikanter Trend feststellbar ($p=0.6308$) (Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 31, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

Die Total-Phosphor-Konzentration (mg/l P) des Bellacher Weihers bewegte sich im Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen 0.011 mg/l P (08.02.16) und 0.12 mg/l P (04.03.10). Die Werte waren bei vier Messungen grösser als 0.05 mg/l P (0.12 mg/l P am 09.12.09, 0.102 mg/l P am 02.07.12, 0.091 mg/l P am 07.03.13, 0.117 mg/l P am 05.09.16). Die erhöhten Total-Phosphor-Konzentrationen korrelierten mit erhöhten Phosphat-Konzentrationen im Zufluss. In der Weihermitte bewegte sich die Total-Phosphor-Konzentration zwischen 0.014 mg/l P (03.03.16) und 0.067 mg/l P (06.10.11), im Abfluss zwischen 0.014 mg/l P (03.03.16) und 0.104 mg/l P (03.05.16). Die höchsten Konzentrationen der Weihermitte und des Abflusses sind jeweils in den Sommer- oder Herbstmonaten

gemessen worden. Die Verläufe der Weihermitte und des Abflusses zeigten teilweise Ähnlichkeiten auf. Die lineare Regression ergibt für die Standorte Zufluss und Abfluss keine signifikante Trendlinie (Zufluss: $p=0.8211$, Abfluss: $p=0.08116$). In der Weihermitte ist seit Beginn der Messreihe eine signifikante Abnahme der Total-Phosphor-Konzentration mit unbefriedigender Korrelation festzustellen ($p=0.02967$) (Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 31, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

Die Chlorid-Konzentration (mg/l Cl) des Bellacher Weihers bewegte sich im Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen 4.15 mg/l Cl (25.07.16) und 8.3 mg/l Cl (05.09.16), in der Weihermitte zwischen 4.09 mg/l Cl (25.07.16) und 8.5 mg/l Cl (03.05.11, 06.10.11) und im Abfluss zwischen 4.22 mg/l Cl (25.07.16) und 8.4 mg/l Cl (06.10.11). Die Chlorid-Konzentration schwankte bei den Standorten Weihermitte und Abfluss im Jahresverlauf und wies jeweils im Sommer und Herbst die höchsten Werte auf. Beim Zufluss waren die Schwankungen weniger regelmässig. Seit Beginn der Messreihe ist an allen Standorten eine signifikante Abnahme der Chlorid-Konzentration mit schwacher Korrelation festzustellen (Zufluss: $p=1.956e-4$, Weihermitte: $p=0.4.595e-6$, Abfluss: $p=2.235e-5$) (Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 31, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

Die Sulfat-Konzentration (mg/l SO₄) des Bellacher Weihers bewegte sich im Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen 9.7 mg/l SO₄ (28.06.16) und 20.9 mg/l SO₄ (09.12.09), in der Weihermitte zwischen 10.9 mg/l SO₄ (29.09.16) und 19.5 mg/l SO₄ (01.10.15) und im Abfluss zwischen 10.2 mg/l SO₄ (08.09.09) und 19.2 mg/l SO₄ (01.10.15). An allen Standorten ist ein jahreszeitliches Muster erkennbar, dasjenige des Zuflusses ist zeitlich etwas vorversetzt. Im Zufluss waren die Höchstwerte eher im Herbst zu finden, in der Weihermitte und im Abfluss tendenziell im Winterhalb- oder Frühjahr. Bei den Standorten Weihermitte und Abfluss war im Jahr 2015 je eine erhöhte Sulfat-Konzentration von 19.5 mg/l SO₄ respektive 19.2 mg/l SO₄ (01.10.15) zu finden, die sich von den anderen Messdaten abhoben. Seit Beginn der Messreihe ist bei allen Standorten eine signifikante Abnahme der Sulfat-Konzentration mit schwacher Korrelation im Zufluss und der Weihermitte sowie unbefriedigender Korrelation im Abfluss festzustellen (Zufluss: $p=3.857e-5$, Weihermitte: $p=0.008324$, Abfluss: $p=0.0317$) (Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 31, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

Die DOC-Konzentration (mg/l C) des Bellacher Weihers bewegte sich im Zufluss während der Messreihe 2009 bis 2016 zwischen 1 mg/l C an diversen Daten und 5.54 mg/l C

(08.02.16). Ein ähnlich hoher Wert wie der Höchstwert erreichte der Zufluss am 02.07.12 mit 5.4 mg/l C. In der Weihermitte bewegte sich die DOC-Konzentration zwischen 1.5 mg/l C (05.03.15) und 9.7 mg/l C (05.09.16), im Abfluss zwischen 1.5 mg/l C (05.03.15) und 9.5 mg/l C (07.07.11). Bei den Standorten Weihermitte und Abfluss ist ein jahreszeitliches Muster erkennbar. Die Werte waren zu Beginn des Jahres tief, stiegen im Sommer und sanken im Herbst wieder. Die Regressionsanalyse stellt trotz Verletzung der Normalverteilung der Residuen bei allen Standorten eine signifikante Zunahme der DOC-Konzentration mit starker Korrelation fest. Die Regressionsgerade musste bei allen Standorten durch den Nullpunkt gezwungen werden (Zufluss: $p=8.278e-11$, Weihermitte: $p=<2.2e-16$, Abfluss: $p<2.2e-16$) (Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 31, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016, Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22, Anhang A – Statistische Auswertungen).

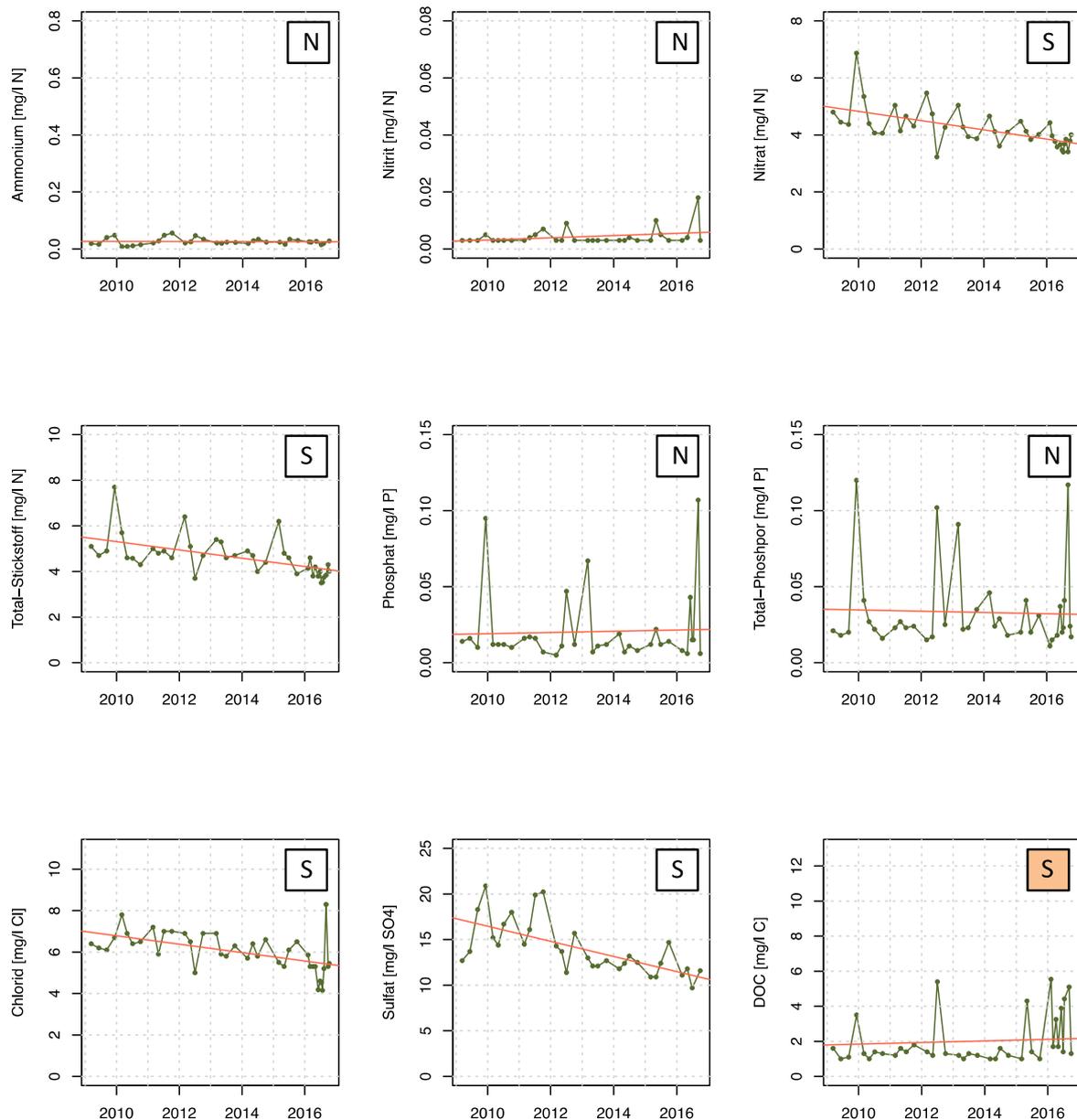


Abbildung 29: Multiplot der Verläufe der Messreihe 2009 bis 2016 der Nährstoffparameter des Bellacher Weihers mit Ammonium [mg/l N], Nitrit [mg/l N], Nitrat [mg/l N], Total-Stickstoff [mg/l N], Phosphat [mg/l P], Total-Phosphor [mg/l P], Chlorid [mg/l Cl], Sulfat [mg/l SO₄] und DOC [mg/l C] des Probenahmestandorts Zufluss. Pro Plot ist die lineare Regressionsgerade als rote ausgezogene Linie dargestellt. Signifikanztest (lineare Regression, $p=0.8731$ (Ammonium), $p=0.1046$ (Nitrit), $p=3.869e-5$ (Nitrat), $p=2.277e-4$ (Total-Stickstoff), $p=0.8114$ (Phosphat), $p=0.8211$ (Total-Phosphor), $p=1.956e-4$ (Chlorid), $p=3.857e-5$ (Sulfat), $p=8.278e-11$ (DOC)). S = signifikant ($p < 0.05$). N = nicht signifikant ($p \geq 0.05$). S (orange) = signifikant ($p < 0.05$) in der Regressionsanalyse, nicht signifikant ($p < 0.05$) bei Normalverteilung der Residuen (Woodtli, 2016).

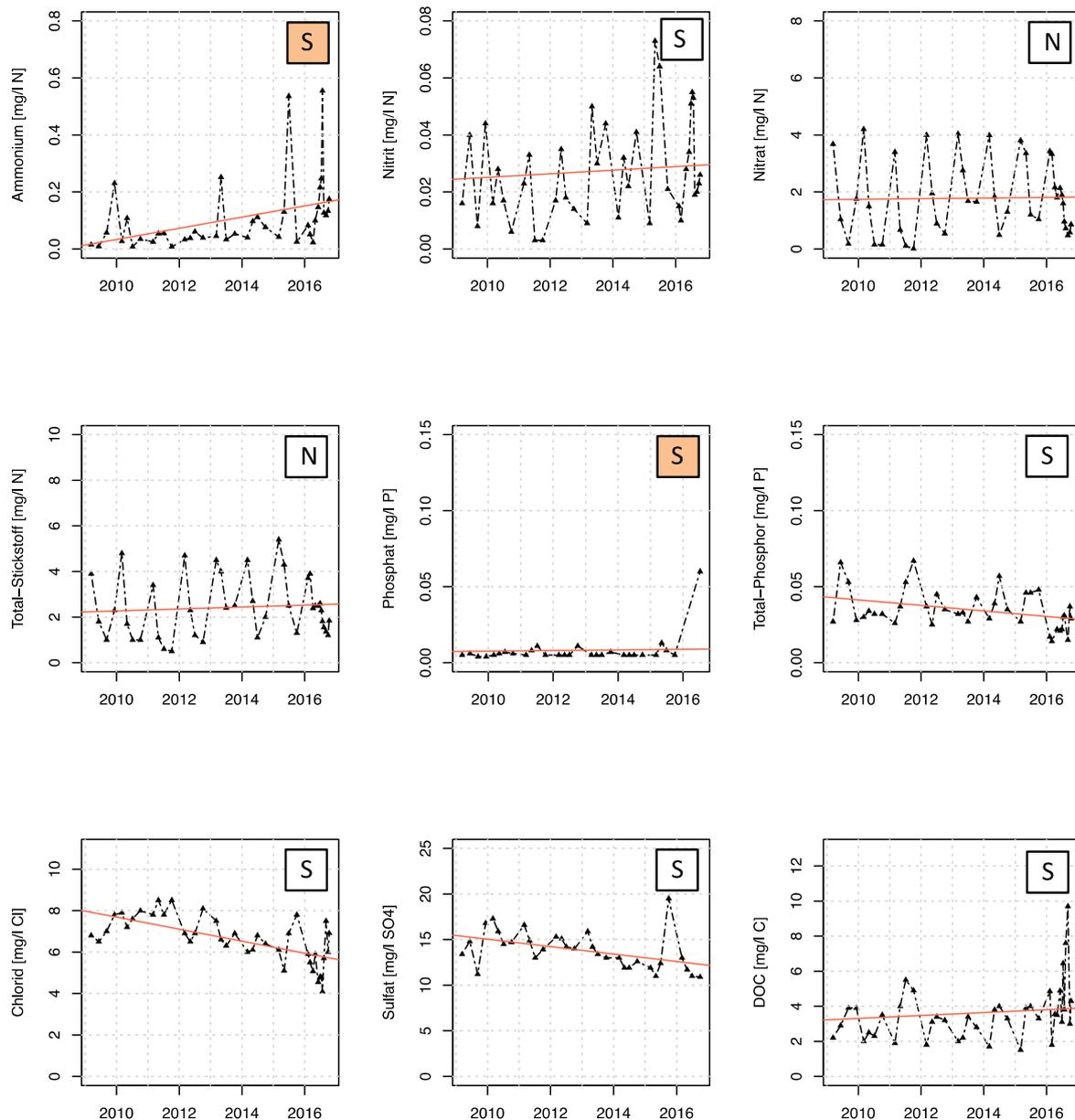


Abbildung 30: Multiplot der Verläufe der Messreihe 2009 bis 2016 der Nährstoffparameter des Bellacher Weihers mit Ammonium [mg/l N], Nitrit [mg/l N], Nitrat [mg/l N], Total-Stickstoff [mg/l N], Phosphat [mg/l P], Total-Phosphor [mg/l P], Chlorid [mg/l Cl], Sulfat [mg/l SO₄] und DOC [mg/l C] des Probenahmestandorts Weihermitte. Pro Plot ist die lineare Regressionsgerade als rote ausgezogene Linie dargestellt. Signifikanztest (lineare Regression, $p=0.009617$ (Ammonium), $p=0.07118$ (Nitrit), $p=0.9019$ (Nitrat), $p=0.6227$ (Total-Stickstoff), $p=0.0001656$ (Phosphat), $p=0.02967$ (Total-Phosphor), $p=4.595e-6$ (Chlorid), $p=0.008324$ (Sulfat), $p<2.2e-16$ (DOC)). S = signifikant ($p<0.05$). N = nicht signifikant ($p \geq 0.05$). S (orange) = signifikant ($p<0.05$) in der Regressionsanalyse, nicht signifikant ($p<0.05$) bei Normalverteilung der Residuen (Woodtli, 2016).

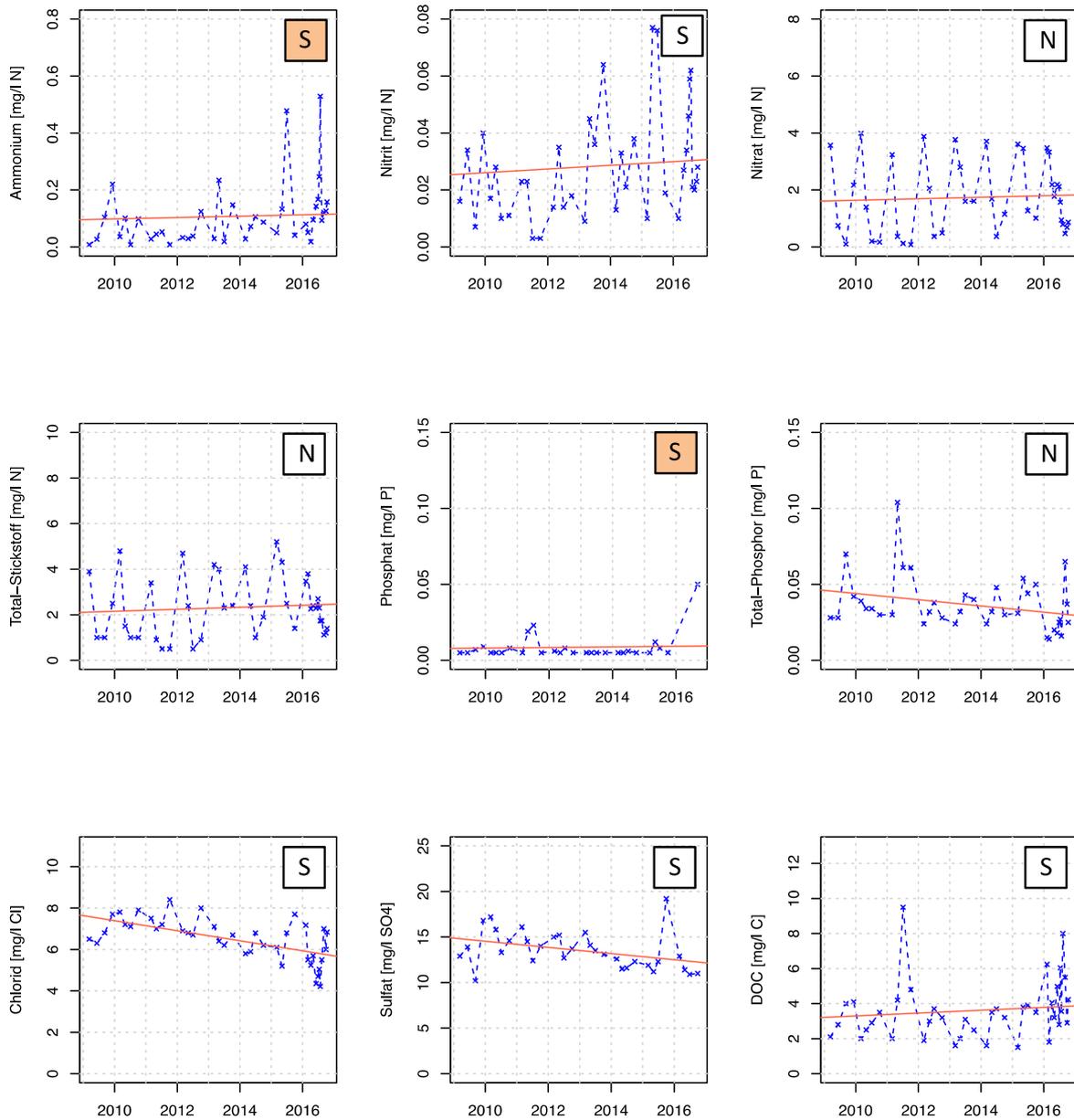


Abbildung 31: Multiplot der Verläufe der Messreihe 2009 bis 2016 der Nährstoffparameter des Bellacher Weihers mit Ammonium [mg/l N], Nitrit [mg/l N], Nitrat [mg/l N], Total-Stickstoff [mg/l N], Phosphat [mg/l P], Total-Phosphor [mg/l P], Chlorid [mg/l Cl], Sulfat [mg/l SO₄] und DOC [mg/l C] des Probenahmestandorts Weihermitte. Pro Plot ist die lineare Regressionsgerade als rote ausgezogene Linie dargestellt. Signifikanztest (lineare Regression, $p=2.749e-7$ (Ammonium), $p=2.929e-11$ (Nitrit), $p=0.7537$ (Nitrat), $p=0.6034$ (Total-Stickstoff), $p=1.691e-5$ (Phosphat), $p=0.08116$ (Total-Phosphor), $p=2.235e-5$ (Chlorid), $p=0.0317$ (Sulfat), $p<2.2e-16$ (DOC)). S = signifikant ($p<0.05$). N = nicht signifikant ($p \geq 0.05$). S (orange) = signifikant ($p<0.05$) in der Regressionsanalyse, nicht signifikant ($p<0.05$) bei Normalverteilung der Residuen (Woodtli, 2016).

Anhang A: Chemisch-physikalischer Zustand

Beurteilung

Die Bewertung des Zu- und Abflusses anhand des Modulstufenkonzepts zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer (Liechti, 2010) befindet sich in der Tabelle 23 und Tabelle 24.

Tabelle 23: Bewertung des Zuflusses des Bellacher Weihers im Jahr 2016 anhand des Modulstufenkonzepts Fliessgewässer (Liechti, 2010). Qualitätsklassen sehr gut (blau), sehr gut bis gut (nicht genau zuweisbar, türkis punktiert), gut (grün), mässig (gelb), unbefriedigend (orange), schlecht (rot).

Datum	Nährstoffe						
	Ammonium mg/l N	Nitrit mg/l N	Nitrat mg/l N	N-tot mg/l N	P-Ortho mg/l P	P-tot mg/l P	DOC mg/l C
08.02.16	0.025	<0.015	4.43	4.14	<0.010	0.011	5.54
03.03.16	0.024	0.003	3.97	4.60	0.008	0.015	1.70
06.04.16	<0.015	<0.015	3.77	3.80	<0.010	<0.010	3.25
02.05.16	0.027	0.004	3.58	4.20	0.006	0.018	1.70
06.06.16	<0.015	<0.015	3.67	3.79	0.043	0.037	3.89
28.06.16	0.015	<0.003	3.47	4.00	0.015	0.020	1.40
12.07.16	<0.015	<0.015	3.40	3.50	0.015	0.023	4.42
25.07.16	0.019	<0.015	3.68	3.53	<0.015	0.041	<3.00
11.08.16	<0.015	<0.015	3.85	3.74	<0.010	<0.015	<3.00
05.09.16	<0.015	0.018	3.41	3.84	0.107	0.117	5.10
29.09.16	0.028	0.003	3.79	4.30	0.006	0.024	1.30
12.10.16	<0.015	<0.015	4.01	4.01	<0.010	0.017	<3.00

Tabelle 24: Bewertung des Abflusses des Bellacher Weihers im Jahr 2016 anhand des Modulstufenkonzepts Fliessgewässer (Liechti, 2010). Qualitätsklassen sehr gut (blau), sehr gut bis gut (nicht genau zuweisbar, türkis punktiert), gut (grün), mässig (gelb), unbefriedigend (orange), schlecht (rot).

Datum	Nährstoffe						
	Ammonium mg/l N	Nitrit mg/l N	Nitrat mg/l N	N-tot mg/l N	P-Ortho mg/l P	P-tot mg/l P	DOC mg/l C
08.02.16	0.080	<0.015	3.48	3.47	<0.010	0.015	6.24
03.03.16	0.051	0.010	3.33	3.80	<0.005	0.014	1.80
06.04.16	0.018	<0.015	2.19	2.26	<0.010	<0.01	4.05
02.05.16	0.095	0.027	1.78	2.40	<0.005	0.020	3.50
06.06.16	0.143	0.034	2.19	2.29	<0.010	0.018	4.98
28.06.16	0.167	0.046	2.12	2.70	<0.005	0.025	2.80
12.07.16	0.246	0.059	1.57	2.30	<0.010	0.027	6.04
25.07.16	0.529	0.062	0.95	1.74	<0.015	0.016	3.56
11.08.16	0.093	0.021	0.79	1.73	<0.010	<0.015	8.00
05.09.16	0.121	0.020	0.47	1.12	0.050	0.065	5.50
29.09.16	0.126	0.023	0.69	1.20	<0.005	0.037	2.90
12.10.16	0.158	0.028	0.87	1.40	<0.010	0.025	4.23

Tabelle 25: Bestimmung des Trophiegrads des Referenzzustandes des Bellacher Weiher mit der LAWA-Methode (1999) anhand des natürlichen Phosphoreintrags.

Bestimmung des Referenzzustandes nach LAWA-Methode (1998)

1 Potenziell natürlicher Eintrag von Phosphor

Landfläche	Flächenanteil [ha]*	Eintrag [kg/ha*a P]	Flächeneintrag [kg/a]
1. Eintrag von den Landflächen des Einzugsgebietes			
Wald	16000	0.05	800
Kalkreiche Mieralböden	18500	0.05	925
Versiegelte Fläche*	2700	0.05	135
2. Direkter Eintrag über die Gewässeroberfläche			
Atmosphärischer Eintrag	3.3	0.3	0.99
Gesamtfläche [ha]	37203.3	Gesamtfracht P [kg/a]	1860.99

Flächeneintrag = Flächenanteil*Eintrag

* Für versiegelte Flächen werden die Phosphoreinträge entsprechend der ursprünglich natürlichen Bodenverhältnisse gesetzt

Mittlere Phosphorkonzentration in Zufluss Pi

Gesamtfracht P [kg/a]	Jahresabfluss [10 ⁶ m ³ /a]*	mittlere P-Konz. Pi [mg/m ³]
1860.99	0.2628	7081.39

Pi = Gesamtfracht P / Jahresabfluss

* Annahme Abfluss durchschnittlich 0.5 m³/min

Mittlere Verweilzeit Rt

Volumen V [m ³]*	Jahreswasserfracht Q [m ³ /a]**	mittlere Verweilzeit Rt [a]	mittlere Verweilzeit Rt [d]
36960	262800	0.14	8.33

Rt = V/Q

* Annahme mittlere Tiefe (1.12m) * Fläche (33000m²)

** Annahme Jahresfracht bei Abfluss 0.5 m³/min

Mittlere im See zu erwartende Gesamtphosphorkonzentration Px

mittlere P-Konz. Pi [mg/m ³]	mittlere Verweilzeit Rt [a]	Px [mg/m ³]	Px [mg/l]
7081.39	0.14	5150.03	5.15

Px = Pi / (1+Rt^{0.5})

Zuordnung der errechneten Gesamtphosphorkonzentration zu den Trophiegraden

Gesamtphosphor Px [mg/m ³]	Trophiegrad
bis 15	oligotroph o
> 15 - 45	mesotroph m
> 45 - 85	eutroph e1
> 85 - 150	eutroph e2
> 150 - 230	polytroph p1
> 230	polytroph p2

Tabelle 26: Bestimmung des Trophiegrads des Referenzzustandes des Bellacher Weihers mit der LAWA-Methode (1999) anhand der Seebeckenmorphometrie.

2 Seebeckenmorphometrie

Seefläche A [m ²]	33000
Seevolumen V [m ³]	36960
maximale Tiefe Zmax [m]	2.2
mittlere Tiefe Zm [m]	1.12 mit Wasser-Land-Schnittstelle
mittlere Tiefe Zm2 [m]	1.66 ohne Wasser-Land-Schnittstelle
effektive Länge Leff [km]	0.24
effektive Breite Beff [km]	0.12
Tiefengradient F	0.61
Sichttiefe STref [m]	0.95

$$F = Z_{max} / (4.785 * (L_{eff} + B_{eff})^{0.38})$$

$$ST_{ref} = 0.265 * Z_m + 0.425 * F + 0.398$$

Sichttiefe und Trophiezuweisung im Referenzzustand

Kleinseen	Trophiegrad
	oligotroph o
>= 1.9	mesotroph m
< 1.9 - 1.2	eutroph e1
< 1.2 - 0.8	eutroph e2
< 0.8 - 0.5	polytroph p1

Anhang A: Chemisch-physikalischer Zustand

Diskussion chemisch-physikalischer Zustand

Diskussion chemisch-physikalischer Zustand

Diese Diskussion bezieht sich auf die chemisch-physikalischen Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Total-Stickstoff, Phosphat, Chlorid, Sulfat und DOC, die im Kapitel Resultate nicht behandelt wurden.

Der pH-Wert eines Gewässers wird hauptsächlich durch die geochemischen Verhältnisse und dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht bestimmt. In kalkreichen Einzugsgebieten, wie dem des Bellacher Weihers, liegt der pH-Wert durchschnittlich bei circa 8.3 und die Pufferwirkung im Gewässer ist gross. Bei zunehmender Temperatur oder erhöhter Photosynthese steigt der pH-Wert (Liechti, 2010). Der Zusammenhang zwischen Temperatur und pH-Wert ist in den Daten des Bellacher Weihers teilweise ersichtlich. Der Abbau von organischem Material führt zu einer Senkung des pH-Wertes (Liechti, 2010). Im Bellacher Weiher ist bei allen Standorten eine signifikante Zunahme des pH-Wertes seit 2009 zu verzeichnen.

Die Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ist ein Indikator für den Gehalt an gelösten Salzen wie Calcium und Magnesium aber auch anthropogenen Stoffen wie Ammonium, Nitrit, Nitrat, Phosphat oder Chlorid (Liechti, 2010). Im Zufluss ist seit Beginn der Messreihe 2009 bis 2016 eine signifikante Abnahme der Leitfähigkeit festgestellt worden. Gleichzeitig nahmen die Konzentrationen von Nitrat, Total-Stickstoff, Chlorid und Sulfat signifikant ab. Die sinkende Leitfähigkeit lässt auf einen geringeren Eintrag an Ionen schliessen.

Der Nitrat- und Total-Stickstoffeintrag ($\text{mg}/\text{l N}$) durch den Zufluss verhielt sich über die Jahre 2009 bis 2016 hinsichtlich der Amplituden relativ konstant, zeigte jedoch eine stetige signifikante Abnahme der Konzentrationen. In der ersten Messung des Jahres zeigte der Bellacher Weiher in der Weihermitte und im Abfluss jeweils eine hohe Nitrat- und Total-Stickstoff-Konzentration. Zu Beginn der Vegetationsphase, wird Nitrat als essentieller Nährstoff für das Wachstum von Biomasse verbraucht (Liechti, 2010) und die Konzentrationen in der Weihermitte sanken dementsprechend. Nitrat und organisches Material kann unter anaeroben Bedingungen zu Ammonium oder Nitrit umgewandelt werden (Guthruf et al., 2015). Da im Zufluss nur ein sehr geringer Eintrag an Ammonium und Nitrit ($\text{mg}/\text{l N}$) festgestellt worden ist, müssen die erhöhten Konzentrationen im Weiher, vermutlich am sauerstoffarmen Weihergrund, entstanden sein. Aufgrund der geringen Tiefe des Bellacher Weihers ist er prädestiniert für eine plötzlich auftretende Zirkulation durch Temperatur- oder Windeinflüsse, bei denen die reduzierten Verbindungen aufgewirbelt werden können (Guthruf et al. 2015). Auf die Peaks der Nitrat-Konzentrationen in der Weihermitte folgten in mehreren Jahren Nitrit- und Ammoniumpeaks. Aus Ammonium kann bereits ab einem pH-Wert von 8.0 die Bildung des fischtoxischen Ammoniaks beginnen, ab einem pH-Wert von 8.5 kann es für Fische je nach Konzentration und dem Einfluss von anderen Faktoren (Temperatur, Ammonium-

Konzentration) lebensbedrohlich werden (Wuhrmann et al., 1992). Im Bellacher Weiher wurden mehrmals höhere pH-Werte als 8.5 gemessen, ohne dass sich ein Fischsterben ereignet hat. Der Zufluss wird im Jahr 2016 bei den Parametern Ammonium, Nitrit, Nitrat und Total-Stickstoff anhand des Modulstufenkonzepts Fließgewässer (Liechti, 2010) als gut und sehr gut bewertet. Der Abfluss wird insbesondere bei der Nitrit-Konzentration ab Mai 2016 als mässig bis schlecht beurteilt, was durch den Ausfluss des Weiherwassers bedingt ist. Die anderen Stickstoffparameter fallen mehrheitlich in die Kategorien gut und sehr gut.

Im Jahr 2016 sind an mehreren Daten erhöhte Phosphat-Konzentrationen (mg/l P) festzustellen. Diese sind möglicherweise auf Regeneinflüsse zurückzuführen. Die erhöhte Konzentration im Zufluss vom 06.06.16 könnte durch einen geringen Niederschlag (11.0 l/m², Anon, 2017) vom Vortag verursacht worden sein. Die Höchstwerte der Phosphat-Konzentration am 05.09.16 in Zu- und Abfluss sind vermutlich durch den starken Niederschlag (74.6 l/m² am 05.09.16, Anon, 2017) vom Vor- und Probenahmetag eingeschwemmt worden. Die erhöhte Phosphat-Konzentration in der Weihermitte am 12.07.16 kann nicht mit Niederschlag erklärt werden. Im Zu- und Abfluss wurden an diesem Datum keine erhöhten Phosphat-Konzentrationen festgestellt. Möglicherweise ist ein plötzlicher Temperatureinbruch vom 11.07.16 bis 14.07.16 um circa 15 °C (Anon, 2017) verantwortlich für eine Zirkulation des Wassers, einer Aufwirbelung von Sediment und somit einer Phosphat-Rücklösung. Die Phosphat-Konzentrationen der Weihermitte und des Abflusses lagen mehrheitlich tiefer als im Zufluss, die Total-Phosphor-Konzentrationen befanden sich jedoch in einem ähnlichen Bereich. Dies kann mit dem Verbrauch von Phosphat als essentieller Nährstoff für den Aufbau von Biomasse erklärt werden (Liechti, 2010). Die Phosphat- und Total-Phosphor-Konzentration des Zu- und Abflusses werden anhand des Modulstufenkonzepts für Fließgewässer (Liechti, 2010) mit Ausnahme von zwei Messungen (06.06.16, 05.09.16) mehrheitlich als sehr gut bewertet.

Bei allen Standorten ist eine signifikante Abnahme der Chlorid-Konzentration (mg/l Cl) zu verzeichnen. Die Fischtoxizität von Nitrit ist Chlorid-abhängig (Liechti, 2010). Fische nehmen bei hohen Nitrit-Konzentrationen durch einen aktiven Transportmechanismus, der eigentlich der Aufnahme von Chlorid-Ionen dient, fälschlicherweise mehr Nitrit-Ionen auf. Bei hohen Chlorid-Konzentrationen ist die Aufnahme von Nitrit weniger wahrscheinlich (Niederer, 2014). Sind weniger als 10 mg/l Cl im Wasser enthalten, darf die Nitrit-Konzentration (mg/l N) laut Modulstufenkonzept nicht grösser als 0.01 mg/l N sein (Liechti, 2010). Im Zufluss sind die Anforderungen an die Nitrit-Konzentration während der ganzen Messreihe 2009 bis 2016 erfüllt. Der Abfluss fällt im Jahr 2016 hauptsächlich in die Kategorien mässig bis schlecht, dies ist auch in anderen Jahren 2009 bis 2015 der Fall, was auf den Eintrag durch den Weiher zurückzuführen ist. In der Weihermitte überschreiten die Nitrit-Konzentrationen diesen

Zielwert von 0.01 mg/l N sehr häufig bei ähnlicher Chlorid-Konzentration wie im Zu- und Abfluss. Die Kriterien sind allerdings für Fließgewässer entwickelt worden und sind in Stillgewässern nur bedingt anwendbar.

Bei allen Standorten wurde eine signifikante Abnahme der Sulfat-Konzentration (mg/l SO₄) festgestellt. Sulfat wird hauptsächlich über geochemische Auswaschungen und diffuse Quellen infolge von Düngerauswaschung in landwirtschaftlich genutzten Gebieten in Gewässer eingetragen (Liechti, 2010). Die Sulfat-Konzentrationen im Bellacher Weiher sind allerdings sehr gering. Der Erfahrungswert der Sulfat-Konzentration in Gewässern des Kantons Zürich beträgt <50 mg/l SO₄. Es existieren keine Referenzwerte für Oberflächengewässer (AWEL, 2014). In der GSchV (1998) ist einzig für Grundwasser, das als Trinkwasser vorgesehen ist ein Grenzwert von 40 mg/l SO₄ festgelegt, welcher im Bellacher Weiher zu keiner Zeit und an keinem Standort überschritten wurde.

Der gelöste organische Kohlenstoff DOC (mg/l C) setzt sich aus einem natürlichen und einem zivilisatorisch bedingten Anteil zusammen und kann ein Indikator für anthropogene Belastungen sein. Für Fließgewässer ist durch die GSchV (1998) ein Toleranzbereich des DOC von 1-4 mg/l C festgelegt. Ausflüsse von eutrophen Seen können jedoch höhere Werte aufweisen (Liechti, 2010). Der DOC des Bellacher Weihers bewegte sich in der Weihermitte in den Jahren 2009 bis 2016 vorwiegend in diesem Bereich oder leicht darüber. In dieser Periode sind aber auch mehrere hohe DOC-Konzentrationen zu verzeichnen, insbesondere im Jahr 2016. Ob die erhöhten Werte natürlich oder anthropogen waren, ist nachträglich schwierig zu beurteilen. Verschiedene natürliche Faktoren können zu einem Anstieg des DOC führen wie beispielsweise Abbau von organischer Substanz im Herbst (Liechti, 2010) (Abbildung 26, Abbildung 27, Abbildung 28, Anhang A – Jahresverläufe 2009 bis 2016).

Bei einer Untersuchung von 80 Weihern in der Schweiz wurden die Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit (µS/cm), Phosphat (mg/l P) und die Sichttiefe (cm) gemessen und die Spannweiten der jeweiligen Messwerte erfasst (pH-Wert: 5 – 9.8, Leitfähigkeit: 6.2 – 1367 µS/cm, Phosphat 0 – 0.44 mg/l P, Sichttiefe 4 – 60 cm). Die Werte des Bellacher Weihers befinden sich innerhalb der Spannweiten dieser Parameter (Oertli & Frossard, 2013).

Anhang A: Chemisch-physikalischer Zustand

R-Skripte

Plots chemisch-physikalische Parameter 2016

Spalte in Excel mit Datum muss zwingend in Datumformat gespeichert werden.
In dieser Arbeit wurde für 2016 pro Parameter ein csv.file erstellt mit den Spalten Datum und den
Werten der drei Standorte (Zufluss, Weihermitte, Abfluss) als drei weitere Spalten.

```
setwd("~/Dropbox/BACHELORARBEIT/Analysen/2016")
par(mfrow=c(3,3))
parameter = read.delim("parameter.csv", sep = ";", dec=".", header=TRUE)
parameter$Datum <- as.Date(parameter$Datum, "%d.%m.%y")

#Parameter x
plot(parameter$Datum, parameter$Weihermitte, xlab="", ylab="pH-Wert", pch=17,col="black", ylim=c(0,10))
points(parameter$Datum,parameter$Zufluss, pch=20, col="darkolivegreen")
points(parameter$Datum, parameter$Abfluss, pch=4, col="blue")
lines(parameter$Datum,parameter$Zufluss, col="darkolivegreen")
lines(parameter$Datum, parameter$Weihermitte, col="black", lty=6)
lines(parameter$Datum, parameter$Abfluss, col="royalblue2", lty=2)
abline(v=as.Date("2016-03-01"),col="lightgray", lty="dotted")
abline(v=as.Date("2016-05-01"),col="lightgray", lty="dotted")
abline(v=as.Date("2016-07-01"),col="lightgray", lty="dotted")
abline(v=as.Date("2016-09-01"),col="lightgray", lty="dotted")
grid(nx = 0, ny =NULL , col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))
legend("topright",c("Zufluss", "Weihermitte", "Abfluss"),lty=c(1,6,2), pch=c(20, 17, 4),col=c("darkolivegreen", "black", "blue") )

# Qualitätsklassen Total-Phosphor-Konzentration nach AWEL (Niederhauser et al., 2006)
abline(h=0.010, lwd=40, col="blue") #blauer Balken, sehr gut
abline(h=0.030, lwd=40, col="forestgreen") # grüner Balken, gut
abline(h=0.050, lwd=40, col="yellow") # gelber Balken, mässig
abline(h=0.070, lwd=40, col="orange") # oranger Balken, unbefriedigend
abline(h=0.120, lwd=153, col="red") # roter Balken, schlecht

# Zielwerte bzw. Messgrenzen
abline(h=4, lty = 1, col="tomato", lwd=2)
```

Regressionsanalyse chemisch-physikalische Parameter 2009 bis 2016

Spalte in Excel mit Datum muss zwingend in Datumformat gespeichert werden.
Für die Regressionsanalyse wurde in Excel pro Standort ein csv.file mit allen Parametern erstellt.

```
setwd("~/Dropbox/BACHELORARBEIT/Analysen/2009-2016")
source("tests_and_visuals_mac.R") # R-Skript of IAS ZHAW (Kauf, 2016)

standort = read.delim("standort.csv", sep = ";", dec=".", header=TRUE)
standort$Datum <- as.Date(standort$Datum, "%d.%m.%y")

# Lineare Regression Parameter x
regparameterstandort = lm(standort$Parameter~standort$Datum)
summary(regparameterstandort)
plot(standort$Datum,standort$Parameter)
abline(regparameterstandort,col=2,lwd=2)
coefficients(regparameterstandort)

# Analysiere Residuen
# change date to numeric
datumnumeric=as.numeric(standort$Datum)
vis_regr(datumnumeric,standort$Parameter,ylim=c(0,10),alpha=0.05,xlab="x",ylab="y")
```

Plots chemisch-physikalische Parameter 2009 bis 2016

Spalte in Excel mit Datum muss zwingend in Datumformat gespeichert werden.

Für die Plots 2009 bis 2016 wurden die selben csv.files wie für die Regressionsanalyse verwendet.

```
par(mfrow=c(2,3))
standort = read.delim( "standort.csv", sep = ";", dec=".", header=TRUE)
standort$Datum <- as.Date(standort$Datum, "%d.%m.%y")

# Plot Parameter x
plot(standort$Datum, standort$Parameter, xlab="",
ylab="Parameter", pch=20, cex=0.8, col="darkolivegreen", ylim=c(7,9.5))
lines(standort$Datum, standort$Parameter, col="darkolivegreen", lty=1)
abline(v=as.Date("2009-01-01"), col="lightgray", lty="dotted")
abline(v=as.Date("2010-01-01"), col="lightgray", lty="dotted")
abline(v=as.Date("2011-01-01"), col="lightgray", lty="dotted")
abline(v=as.Date("2012-01-01"), col="lightgray", lty="dotted")
abline(v=as.Date("2013-01-01"), col="lightgray", lty="dotted")
abline(v=as.Date("2014-01-01"), col="lightgray", lty="dotted")
abline(v=as.Date("2015-01-01"), col="lightgray", lty="dotted")
abline(v=as.Date("2016-01-01"), col="lightgray", lty="dotted")
grid(nx = 0, ny = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))

# Einzeichnen der linearen Trendgerade
abline(regressionparameterstandort, col="tomato", lwd=1)
```

Anhang B: Biologischer Zustand

Probenahme

Tabelle 27 gibt eine Übersicht über die Untersuchungsmethoden und Unterschiede zwischen den Biodiversitätsindizes IBEM (Indermühle et al., 2008) und CIEPT (Menetrey et al., 2011).

Tabelle 27: Gegenüberstellung der zwei Biodiversitätsindizes IBEM (Indermühle et al., 2008) und CIEPT (Menetrey et al., 2011) in Bezug auf die Art der Bewertung, des Probenahmedesigns, der untersuchten taxonomischen Gruppen und der Anzahl Probenahmen, der empfohlenen Zeiträume für die Probenahmen, die Probenahmedaten, der Bestimmungstiefe und der Bewertung. Die Probenahmedaten beziehen sich auf die Aufnahmen am Bellacher Weiher (Gufler et al, 2016, verändert).

	IBEM	CIEPT
Untersuchtes Gewässer	Bellacher Weiher	
Art der Bewertung	Ökologische Qualität (strukturelle und funktionale Umweltqualität)	Biologische Qualität (Taxa-Vielfalt)
Probenahmedesign	PLOCH (Oertli et al., 2005)	
Untersuchte taxonomische Gruppen und Anzahl Probenahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Coleoptera (1x) - Gastropoda (1x) - Makrophyten (1x) - Odonata adult (2x) - Amphibien (für Bellacher Weiher nicht durchgeführt) 	Makroinvertebraten (1x) Indikatorgruppen: <ul style="list-style-type: none"> - Coleoptera (C), - Invertebraten (I, ohne Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), - Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT)
Empfohlene Zeiträume für Probenahmen	Makroinvertebraten und Makrophyten: Anfang bis Mitte Juli. Odonata: erste Aufnahme Mitte Mai bis Mitte Juni, zweite Aufnahme Mitte Juli bis Mitte August. Amphibien zwei Aufnahmen März bis Juni	Makroinvertebraten: Anfang bis Mitte Juli
Probenahmedaten	Makroinvertebraten: 27.06.16 Makrophyten: 20.07.16 Adulte Libellen: 20.07.16 / 20.08.16	Makroinvertebraten: 27.06.16
Bestimmungstiefe	Gattung	Familie (ausser Käfer auf Gattung)
Bewertung	Fünf Qualitätsklassen: schlecht, unbefriedigend, mässig, gut, sehr gut.	Drei Qualitätsklassen: schlecht, mässig, sehr gut

Die Umweltvariablen und Begleitparameter des Bellacher Weihers, die im Rahmen der IBEM-Methode (Indermühle et al., 2008) aufgenommen wurden, sind in der Tabelle 28 aufgelistet.

Tabelle 28: Umweltvariablen und Begleitparameter des Bellacher Weihers sowie weitere Parameter für die Untersuchung und Beurteilung des IBEM (Indermühle et al., 2008) und der Biodiversität am Bellacher Weiher (BAFU, 2016, Imhof, 1987, Nufer, 2014, Woodtli, 2016, schriftliche Mitteilung Stöckli 2016, www.bellacherweiher.ch, 13.11.16). Die in der Berechnung verwendeten Parameter sind in der Tabelle fettgedruckt.

Umweltvariablen und Begleitparameter Bellacher Weiher	
Koordinaten Weihermitte	603'201.6 / 229'241.9 (BAFU, 2016)
Wasserfläche (m ²)	33500 (Imhof, 1987)
	29000 (BAFU, 2016)
	33000 (Woodtli, 2016)
Mittlere Tiefe (cm)	112.6 (Woodtli, 2016)*
	166.6 (Woodtli, 2016)**
Uferlänge (m)	850 (BAFU, 2016)
	830 (Woodtli, 2016)
Uferverlauf	1.41 (anhand BAFU, 2016)
	1.28 (Woodtli, 2016)
Beschattung des Gewässers (%)	2, (Klasse 2) (Woodtli, 2016)
Wald in Umgebung (%)	15 (Woodtli, 2016)
Höhenlage des Gewässers (m ü. M.)	455 (BAFU, 2016)
Biogeografische Zone	Grenze Jura / Mittelland (BAFU, 2016)
Weitere Parameter zur Beurteilung	
Alter	560 (Nufer, 2014)
Anwesenheit von Fischen	Ja (Brachsmen, Hecht, Flussbarsch, Rotfeder Karpfen) (www.bellacherweiher.ch , Stöckli 2016)
Totale Bedeckung Makrophyten (%)	10 bis 20 (Woodtli, 2016)
Trophiegrad	Mesotroph (Nufer, 2014)

*mit Einbezug Wasser-Land-Schnittstelle

**ohne Einbezug Wasser-Land-Schnittstelle

Die Formeln für die Berechnung der Anzahl Probenahmestandorten für die Aufnahme der Makrophyten sowie das Makrozoobenthos gemäss der Methode IBEM (Indermühle et al., 2008) sind in Tabelle 29 und Tabelle 30 aufgelistet.

Tabelle 29: Formel für die Berechnung der Anzahl Probenahmestandorten für die Makrophyten gemäss der Methode IBEM (Indermühle et al., 2008).

Formel: $n = 15.5 - 10.5 \cdot \log(10, A) + 2.7 \cdot (\log(10, A))^2$

A (m ²)	Seefläche	33000
n	Anzahl Probenahmen	72

Tabelle 30: Ermittlung der Anzahl Probenahmestandorten für das Makrozoobenthos anhand der Grösse der Seeoberfläche gemäss der Methode IBEM (Indermühle et al., 2008).

Seeoberfläche (m ²)	Anzahl Probenahmen
50 - 170	5
171 - 400	6
401 - 700	7
701 - 1100	8
1101 - 1600	9
1601 - 2200	10
2201 - 2900	11
2901 - 3900	12
3201 - 5000	13
5001 - 6400	14
6401 - 8000	15
8001 - 10000	16
10001 - 12000	17
12001 - 14000	18
14001 - 18000	19
18001 - 21000	20
21001 - 25000	21
25001 - 30000	22
30001 - 36000	23
36001 - 42000	24
42001 - 50000	25
50001 - 58000	26
58001 - 60000	27

Das Feldprotokoll für die Erhebung der Habitat-Typen als Grundlage für die Festlegung der Probenahmestandorte für das Makrozoobenthos im Bellacher Weiher ist in der Tabelle 31 dargestellt.

Tabelle 31: Nach Methode IBEM (Indermühle et al., 2008) zu untersuchende Habitat-Typen für Makrozoobenthos. Vorhandene Habitat-Typen im Bellacher Weiher sind mit einem x markiert und der ungefähre Flächenanteil der Uferzone des Bellacher Weihers ist vermerkt. Bei insgesamt 23 Proben wurden ein Drittel der Proben in den Kategorien 1-3 (n=8), zwei Drittel in der Kategorie 4 (n=15) genommen.

HABITAT	Vorhanden	Prozentualanteil Fläche	Anzahl Probenahmen
(Habitat 1.-3.: 1/3 der Proben: n=8)			
1. Wasserpflanzen			
1.1.1.1. Untergetaucht mit geschlitzten Blättern (Tausendblatt, Wasserschläuche, Hornblatt, Hahnenfuss, ...)			
1.1.1.2. Untergetaucht mit fadenförmigen Blättern (<i>Potamogeton pusillus</i> , <i>P. pectinatus</i> , <i>Zanichellia palustris</i>)			
1.1.2.1. Untergetaucht mit grossen, wenig eingeschnittenen Blättern (Pfeilkraut, <i>Potamogeton crispus</i> , <i>P. lucens</i> , <i>P. perfoliatus</i>)			
1.1.2.2. Untergetaucht mit kleinen, ganzrandigen Blättern (Elodea)			
1.1.3. Armleuchteralgen			
1.2.1. Schwimmende Blätter (Seerosen, <i>Trappa natans</i> , <i>Hydrocharis</i> sp., <i>Potamogeton natans</i> , <i>Polygonum amphibium</i> , ...)			
1.2.2. Kleine schwimmende Blätter (<i>Lemna</i> sp.)			
1.3. Moose			
1.4. Andere Wasserpflanzen (<i>Menyanthes trifoliata</i> , ...):	x	1%	n=2
2. Sumpfpflanzen			
2.1. Überschwemmte Röhrichte (<i>Glyceria maxima</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Phalaris</i> sp., <i>Typha</i> sp.)	x	1%	n=3
2.2. Grosse Simsen (<i>Scirpus lacustris</i> , ...)			
2.3. Überschwemmte Seggen	x	1%	n=2
2.4.1. <i>Alisma</i> sp., <i>Equisetum</i> sp., ...			
2.4.2. <i>Eleocharis</i> sp., «kleine» Simsen oder Sumpfbinsen			
2.5. Andere Sumpfpflanzen:			
3. Andere Habitate als Wasser- und Sumpfpflanzen			
3.1. Ansammlungen von Laub	x	1%	n=1
3.2.1. Lockeres mineralisches Substrat (Sand, Kies)			
3.2.2. Festes mineralisches Substrat (Stein, Fels, ...)			
3.3. Andere:			
(Habitat 4.: 2/3 der Proben: n=15)			
4. Schnittstelle Wasser-Land			
4.1. Kleine Sumpfpflanzen (<i>Carex</i> sp., <i>Eleocharis</i> sp., ...)	x	1%	n=1
4.2. Wurzeln			
4.3. Erdböschung			
4.4. Mineralisches Substrat			
4.5. CPOM (Laub, Überreste von Wasserpflanzen, ...)	x	1%	n=1
4.6. Grosse Sumpfpflanzen (<i>Phragmites australis</i> , <i>Phalaris</i> sp., <i>Typha</i> sp., ...)	x	94% (<i>P.australis</i> 90%, <i>Typha</i> sp. 3%)	n=11 (<i>P.australis</i>) n=2 (<i>Typha</i> sp.)
4.7. Andere Schnittstellen			

CPOM: Coarse Particulate Organic Matter (Grobpartikuläres organisches Material)

Anhang B: Biologischer Zustand

Rohdaten

Tabelle 33: Gattungen der Gastropoda-Aufnahme (27.06.16) des Bellacher Weihers sowie total Anzahl gefundener Taxa und total geschätzter Taxa (Smith & Pontius, 2006). Gattung vorhanden (1), Gattung nicht vorhanden ([leer]).

Familie	Gattung	Probenahmestandort																							Total Gattung vorhanden	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
Lymnaeidae	Galba				1	1	1								1									1	1	6
Lymnaeidae	Radix				1			1					1												1	4
Lymnaeidae	Stagnicola			1					1					1	1	1										5
Planorbidae	Gyraulus		1		1	1	1	1								1	1			1	1	1	1	1	1	13
Planorbidae	Planorbis			1	1	1	1	1			1			1	1		1	1					1	1		12
Anzahl Gattungen pro Probe		0	1	2	4	3	3	4	0	0	1	1	1	3	4	2	2	1	1	1	1	1	2	2		
																									Anzahl gefundener Taxa	5
																									Anzahl geschätzter Taxa	5
Legende:																										
		1	vorhanden																							
		[leer]	nicht vorhanden																							

Tabelle 34: Gattungen der Coleoptera-Aufnahme (27.06.16) des Bellacher Weihers sowie total Anzahl gefundener Taxa und total geschätzter Taxa (Smith & Pontius, 2006). Gattung vorhanden (1), Gattung nicht vorhanden ([leer]).

Familie	Gattung	Probenahmestandort																							Total Gattung vorhanden	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
Dytiscidae	Acilius							1					1	1												3
Dytiscidae	Agabus												1													1
Dytiscidae	Cybister															1										1
Dytiscidae	Hydaticus												1													1
Dytiscidae	Laccophilus															1										1
Haliplidae	Haliplus						1					1														2
Hydrophilidae	Berosus			1	1												1									3
Noteridae	Noterus				1	1								1		1										4
Anzahl Gattungen pro Probe		0	0	1	2	1	1	1	0	0	0	1	3	2	0	4	0									
																									Anzahl gefundener Taxa	8
																									Anzahl geschätzter Taxa	11.83
Legende:																										
		1	vorhanden																							
		[leer]	nicht vorhanden																							

Tabelle 35: Gattungen der Odonata-Aufnahmen (21.07.16, 13.08.16) des Bellacher Weihers sowie total Anzahl gefundener Taxa und total geschätzter Taxa (Smith & Pontius, 2006). Gattung vorhanden (1), Gattung nicht vorhanden ([leer]).

Gattung	Probenahmestandort Begehung 1							Probenahmestandort Begehung 2							Total Gattung vorhanden
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	
Aeschna	1			1	1	1								1	5
Anax	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
Coenagrion	1		1	1		1	1		1	1			1	1	9
Crocothemis			1	1						1		1			4
Enallagma			1		1					1	1	1			5
Erythromma								1	1	1	1	1	1		6
Ischnura	1	1	1		1	1	1			1	1	1	1	1	10
Orthetrum	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1			11
Somatochlora									1					1	2
Sympetrum								1		1	1			1	4
Anzahl Gattungen pro Probe	5	3	6	5	5	5	4	4	5	7	5	6	4	6	
	Anzahl gefundener Taxa													10	
	Anzahl geschätzter Taxa													10.00	

Legende: 1 vorhanden
[leer] nicht vorhanden

Anhang B: Biologischer Zustand

Beurteilung

Die Sjk-Matrix und die Taxa-Matrix zur Bewertung des biologischen Zustandes anhand der CIEPT Methode (Menetrey et al., 2011) ist in Tabelle 37 und Tabelle 38 aufgeführt.

Tabelle 37: Sjk-Matrix zur Berechnung des CIEPT (Menetrey et al., 2011).

Sjk-Matrix	Punkte		
	5	3	1
Sjk <i>Coleoptera</i> (C)	≥ 13.2	9 – 13.19	< 9
Sjk Makroinvertebraten (I)	≥ 32.2	32.19 – 26	< 26
Sjk EPT	≥ 4.3	3 – 4.29	< 3

Tabelle 38: Taxa-Matrix zur Berechnung des CIEPT (Menetrey et al., 2011) für den Bellacher Weiher im Jahr 2016.

Taxa-Matrix	Punkte
<i>Coleoptera</i> (C)	3
Makroinvertebraten (I)	1
EPT	5
Punktetotal	9

Anhang B: Biologischer Zustand

Diskussion Fischsterben

Diskussion Fischsterben

Ende September 2016 (datiert auf den 22.09.16, genaues Datum und Zeitpunkt unbekannt) ereignete sich im Bellacher Weiher ein Fischsterben. Dabei sind laut Polizeibericht circa 90 Brachsmen verendet (schriftliche Mitteilung Thomas Stöckli, 2016). Gleichzeitig ereignete sich im Inkwilersee ebenfalls ein Fischsterben, bei dem circa 50 bis 100 tote Fische aufgefunden wurden (schriftliche Mitteilung Daniel Schrag, 2016). Laut Medienberichten sind die Fische im Inkwilersee an Sauerstoffmangel verendet. Dieser sei durch das massenhafte Absterben von Algen in den kürzer werdenden Herbsttagen, der verringerten Sauerstoffproduktion und der darauffolgenden Sauerstoffzehrung beim Abbau der Algen entstanden. Durch die eher warme Wassertemperatur seien die Fische zusätzlich gestresst gewesen (Meier, 2016).

Anhand von rückblickenden Wetterdaten kann ein starker Temperatureinbruch am 15.09.16 von über 10 °C festgestellt werden (Anon, 2016), was auf eine verringerte Sonneneinstrahlung schliessen lässt. Möglicherweise starben zu dieser Zeit viele Algen ab, was zu einer verringerten Sauerstoffproduktion und kurzfristiger Sauerstoffzehrung beim Abbau führte. Sauerstoffmessungen am Bellacher Weiher nach dem Ereignis am 23.09.16 ergaben sehr hohe Sauerstoffwerte von 10 mg/l O₂ in verschiedenen Tiefen bei einer Temperatur von 16.6 °C. Es seien keine luftatmenden Fische gesehen worden, was darauf schliessen lässt, dass ein möglicher Sauerstoffmangel nur kurz anhielt (schriftliche Mitteilung Daniel Schrag, 2016). Im September 2016 wurden regelmässig Windgeschwindigkeiten und Spitzen von bis zu 10 km/h gemessen (Anon, 2016). Untiefe Seen wie der Bellacher Weiher oder der Inkwilersee sind prädestiniert für eine plötzlich auftretende Vollzirkulation bei Temperatureinbrüchen im Spätsommer. Ein plötzlich auftretender starker Wind kann die Zirkulation begünstigen (Guthruf et al., 2015). Möglicherweise wurde Ammonium in Bodennähe aufgewirbelt. Aus Ammonium kann bereits ab einem pH-Wert von 8.0 die Bildung des fischtoxischen Ammoniaks beginnen, ab einem pH-Wert von 8.5 kann es für Fische je nach Konzentration und dem Einfluss von anderen Faktoren (Temperatur, Ammonium-Konzentration) lebensbedrohlich werden (Wuhrmann et al., 1992). Ein pH-Wert von 8 bewegt sich im kalkreichen Einzugsgebiet des Bellacher Weihers in einem natürlichen Bereich (Liechti, 2010). Die Analyse des Probenahmewassers ergab einen pH-Wert von 8.02. Dieser kann allerdings durch die lange Lagerung der Proben vom Wert bei der Probenahme abweichen. Die Ammonium-Konzentration der Wasseranalyse vom 22.09.16 ergab einen erhöhten Wert von 0.3 mg/l N, es sind zuvor jedoch bereits höhere Werte gemessen worden. Diese Analyse ist nur beschränkt vertrauenswürdig, da eine lange Zeitspanne zwischen den Probenahmen und den Analysen liegt.

Die genaue Ursache des Fischsterbens vom September 2016 im Bellacher Weiher ist wahrscheinlich auf eine unglückliche Verkettung von Ereignissen zurückzuführen, welche nachträglich nicht mehr genau rekonstruiert werden kann. Falls sich ein Fischsterben wiederholen sollte, müssen die Wasserproben unmittelbar nach der Probenahme analysiert werden, um eine genauere Aussage über die Inhaltsstoffe im Wasser zu machen. Nebst Sauerstoffmangel gibt es weitere Ursachen wie Verunreinigungen durch Pestizide, die Einleitung von Schmutzwasser oder Algenblüten (Freigabe von toxischen Substanzen), die zu einem Fischsterben führen können.