



innovation dipl. Natw. ETH
Adrian Nufer
Hammerstr. 9
CH-8008 Zürich

kommunikation tel: +41 (0)44 380 63 44
fax: +41 (0)44 380 63 43
mobil: +41 (0)76 334 26 13
e-mail: an@NUFERscience.ch

organisation Projekt BWS-09

- Zwischenbericht zum Pilotprojekt Bellacher Weiher 2018

Nachhaltige Sanierung des Bellacher Weihers und seines Einzugsgebietes

Zusammenfassung

Der Bellacher Weiher wurde schon im Jahre 1456 aus wirtschaftlichen Gründen aufgestaut und umfasst heute eine Fläche von 3.3 Hektaren, bei einer maximalen Wassertiefe von 2.2 m. Er befindet sich im Privatbesitz der Familie Stöckli und steht unter kantonalem Naturschutz, da er zahlreiche seltene Tier- und Pflanzenarten beherbergt. Ohne Sanierungsmassnahmen würde das Gewässer durch Ansammlung von Faulschlamm am Weihergrund innerhalb weniger Jahrzehnte vollständig zuwachsen. Um den Naturschutz- und Erholungswert des Weihers zu erhalten, wird dieser sanft und nachhaltig saniert.

Die weiherrinternen Sanierungsmassnahmen begannen bereits 2004. Im Jahr 2010 kam das Landwirtschaftsprogramm dazu, bei welchem sämtliche 18 Landwirte im 160 ha grossen Einzugsgebiet des Weihers mitmachen. Sowohl beim Weiher als auch in der Landwirtschaft werden die biokatalytisch wirkenden Plocher-Produkte eingesetzt. Der Zustand des Weihers wird durch ein Messprogramm des Kantons Solothurn überwacht und das Landwirtschaftsprogramm durch die Düngeberatung des Wallierhofs begleitet. Wissenschaftlich abgesichert wird das Pilotprojekt durch ein Begleitforschungsprogramm an den beiden Fachhochschulen HAFL, Zollikofen und ZHAW, Wädenswil.

Ab 2014 präsentiert sich der vormals während der zweiten Jahreshälfte jeweils komplett zugewachsene und veralgte Weiher ganzjährig mit einer offenen Wasseroberfläche und gilt heute nicht mehr als überdüngt. Die Faulschlammschicht am Weihergrund ist seit Sanierungsbeginn nicht weitergewachsen und befindet sich aktuell in einem Kompostierungsprozess, welcher anhand der teilweise hellbraunen Farbe im Sediment erkennbar ist. Das erfolgreiche Pilotprojekt wird weiter fortgesetzt, wobei die Ergebnisse dieser zukunfts-trächtigen Sanierungsmethode einem breiteren Kreis zugänglich gemacht werden sollen.

Nachhaltige Sanierung des Bellacher Weihers und seines Einzugsgebietes

Inhalt

1	Vorwort	3
2	Einführung	4
2.1	Der Bellacher Weiher	4
2.2	Pilotprojekt zur sanften Sanierung	6
3	Durchführung Pilotprojekt	10
3.1	Sanfte Sanierung Bellacher Weiher	10
3.2	Landwirtschaftsprogramm im Einzugsgebiet	11
3.3	Wissenschaftliches Begleitprogramm	13
3.4	Trägerschaft und Finanzierung	15
3.5	Öffentlichkeitsarbeit	17
4	Aktueller Zustand	18
4.1	Luftbildanalyse	18
4.2	Messungen	22
4.3	Entwicklung der Schlammschicht	33
4.4	Biologische Beschreibung und Bewertung	36
4.5	Umfrage bei den Landwirten	44
4.6	Öffentlichkeitsarbeit und Vernetzung	49
5	Diskussion des Projekts	52
5.1	Erwägungen zum Sanierungsziel	52
5.2	Anmerkungen zum «Natürlichen Zustand»	53
5.3	Diskussion des Sanierungserfolgs	55
5.4	Weitere Beiträge zum Umweltschutz	56
6	Fortsetzung des Projekts	58
6.1	Weiherbehandlung	58
6.2	Landwirtschaftsprogramm	58
6.3	Wissenschaftliche Begleitung	60
6.4	Regelmässige Messungen und Dokumentation	61
6.5	Bekanntmachung der Sanierungsmethode	61
6.6	Finanzierung	62
7	Literatur	63

1 Vorwort

Kann man einen überdüngten Weiher sanft und nachhaltig sanieren? Kann die drohende Verlandung durch Ansammlung von Faulschlamm am Weihergrund aufhalten werden, ohne sie abzusaugen oder den Weiher auszubaggern? Diese Fragen stellte sich die Familie Stöckli als Besitzerin des Bellacher Weihers vor rund 15 Jahren. Heute können beide Fragen klar mit JA beantwortet werden. In einem einzigartigen Pilotprojekt wurde der Weiher durch das beispielhafte Engagement seiner Besitzerfamilie und der Gemeinde Bellach sanft und nachhaltig saniert.

Sanft bedeutet auch langsam. Ein deutlich sichtbares Resultat stellte sich erst nach rund 10 Jahren ein. Wichtig ist zudem, dass alle mitmachen: die 18 Landwirte, welche im Einzugsgebiet des Weihers wirtschaften, unterstützen allesamt das Projekt und behandeln ihre Hofdünger sowie ihren Boden mit den Plocher-Produkten, welche auch im Weiher eingesetzt werden. Die Gemeinden Selzach und Lommiswil sowie die beiden Fachhochschulen HAFL Zollikofen und ZHAW Wädenswil, welche das Projekt wissenschaftlich begleiten, machen ebenfalls mit.

Finanziert wird das Projekt hauptsächlich von der Gemeinde Bellach und einem grosszügigen Engagement des Alpiq Ökofonds. Zudem beteiligen sich Selzach und Lommiswil, sowie die beiden Fachhochschulen mit Eigenbeiträgen. Durch diese breite Abstützung bleibt unser Pilotprojekt nicht ein einmaliger Versuch, sondern liefert eine verlässliche Basis für die Entwicklung einer neuen Sanierungsmethodik, welche Antworten auf brennende Fragen unserer Zeit liefern kann: Wie kann man die produktive Landwirtschaft mit einem effektiven Gewässer- und Umweltschutz vereinbaren? Wie begegnet man der Überdüngungsproblematik, ohne die Landwirtschaft wesentlich einzuschränken und wie kann man die Selbstregenerationskräfte eines Gewässers zum Leben erwecken?

Die Antworten werden hier durch den Einsatz der Plocher-Produkte geliefert, welche nicht Symptome bekämpfen, sondern konsequent die Selbstheilungskräfte anregen und somit eine sanfte und nachhaltige Regeneration von Umweltsystemen katalysieren. Durch das Schaffen eines aeroben Milieus im Weiher werden die Bedingungen für die Entwicklung einer Lebensgemeinschaft von Mikroorganismen geschaffen, welche mit der Zeit die Schlammschicht am Weihergrund kompostieren können, ein Prozess der sogar unter Wasser funktioniert.

Angesichts der heutigen Umweltprobleme ist es beruhigend zu wissen, dass eine solch effektive Methode existiert, wenn auch ihre Anwendung Zeit und Geduld braucht. Umso wichtiger ist deshalb, einen finanziell abgesicherten Projektrahmen zu schaffen, welcher allen Beteiligten genügend Raum gibt, Ergebnisse selbst festzustellen und unvoreingenommen zur Kenntnis zu nehmen. Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Beteiligten herzlich für die tolle Zusammenarbeit bedanken.

Im Juni 2018
Adrian Nufer

2 Einführung

2.1 Der Bellacher Weiher

Der Bellacher Weiher befindet sich westlich von Solothurn und ist im Privatbesitz der Familie Laura und Thomas Stöckli. Er hat eine Fläche von 3.35 ha (IMHOF 1987) und eine aktuelle Wassertiefe von maximal 2.20 m (HORISBERGER 2004). Er soll, abgesehen vom privaten Fischen gemäss Wunsch der Familie Stöckli vorwiegend naturschützerischen und landschaftserhaltenden Zielen, sowie – in Absprache mit ihnen und koordiniert von Dr. Thomas Stöckli – als Forschungsobjekt für Pilot- und Lernprojekte dienen.

Das Gebiet des Weihers steht schon seit 1945 unter kantonalem Naturschutz und ist heute das einzige kleine Stehgewässer in der Region, das verschiedenen selten gewordenen Tier- und Pflanzenarten eine Heimat und dem Menschen Ruhe und Erholung bietet. Ohne Sanierungsmassnahmen würde das flache Gewässer durch die Zufuhr von Nährstoffen aus der umliegenden Landwirtschaft in wenigen Jahrzehnten verlanden und mit ihm ein wertvolles Biotop für seltene, einheimische Arten verschwinden (HORISBERGER 2004).



Abb. 1: Der Bellacher Weiher bei Sanierungsbeginn, am 28.06.2005,
© Fotostudio Jeker, Solothurn

Vor Beginn des Pilotprojektes im Jahr 2004 war der Weiher in einem klar eutrophen Zustand. Grosse Teile der Wasserfläche waren überwachsen (*Abb. 1*) und das Tausendblatt und weitere Wasserpflanzen füllten zeitweise fast den gesamten Unterwasserbereich aus. Das durch den übermässigen Nährstoffeintrag verursachte Algen- und Wasserpflanzenwachstum musste manuell bekämpft werden. Die Familie Stöckli hat dafür eigens eine Rampenkonstruktion mit Rechen erstellt (*Abb. 2*) und zusammen mit vielen Helfern den Weiher jährlich entkrautet.



Abb. 2: Rampenkonstruktion zur manuellen Reduktion des Wasserpflanzenbestandes

Das Hauptproblem, welches durch die Eutrophierung verursacht wird ist – neben der beschränkten Schiffbarkeit des Weihers – die Ansammlung von Faulschlamm am Weihergrund, welche sich bei anaeroben Verhältnissen infolge der hohen Sauerstoffzehrung der Abbauprozesse bildet (*Abb. 3*).



Abb. 3: Darstellung des Weiherbeckens ohne Schlamm (links) und mit Schlamm (rechts). Die Darstellungen sind 10-fach überhöht (aus Stöckli 2007).

Von 1987 bis 2004 hat die maximale Wassertiefe dadurch von knapp 3 m auf 2.2 m abgenommen (HORISBERGER 2004). Dies entspricht einem jährlichen Wachstum der Faulschlammschicht von 4.7 cm. Der Weiher wäre somit in knapp 50 Jahren komplett aufgefüllt und würde in ein Flachmoor übergehen, welches nicht mehr die gleiche Artenvielfalt wie ein Weiher mit offener Wasserfläche und allen Sukzessionszonen aufwiese (vgl. Kap. 5.1: *Erwägungen zum Sanierungsziel*).

2.2 Pilotprojekt zur sanften Sanierung

Angesichts der Überdüngungsproblematik des Bellacher Weihers entschied sich die Familie Stöckli zur Durchführung eines Pilotprojekts. Anstelle der sonst üblichen Absaugung von Seesediment¹ wurde eine sanfte Sanierung durch den Einsatz der auf biokatalytische Weise wirkenden Plocher-Produkte² angestrebt. Das Pilotprojekt startete 2004 mit einer versuchsweisen Behandlung des Weihers, welche durch ehrenamtliche Tätigkeit der Familie Stöckli gewährleistet wurde.

Im Rahmen dieses Programms wurden Plocher-Biokatalysatoren im Weiher verankert (Abb. 4) und während der Vegetationsperiode ca. alle 3 Wochen 3g/m² Plocher-Quarzmehl auf der Seeoberfläche verteilt (Abb. 5). Zudem wurden die wichtigsten Wasserparameter durch gelegentliche Probenahmen überwacht, welche an der ARA Bellach ausgewertet wurden (RUTISHAUSER 2008). Die Sanierung wurde durch ein Unterrichtsprojekt von Dr. Thomas Stöckli begleitet (STÖCKLI 2007).



Abb. 4: Plocher-Biokatalysator



Abb. 5: Ausbringung des Quarzmehls

Als Ergebnis dieser ersten vierjährigen Phase des Pilotprojekts, konnte das Wachstum der Schlammschicht gestoppt werden (RUTISHAUSER 2008). Das Wachstum der Wasserpflanzen ging leicht zurück, was durch periodische, manuell durchgeführte Schilfschnitte unterstützt wurde. Die Algenproblematik blieb jedoch weiterhin bestehen. An diesem Punkt entschied sich die Familie Stöckli das Projekt deutlich auszuweiten und liess von NUFERscience ein umfassendes Konzept zur Fortführung des Pilotprojekts erarbeiten, welches die Eutrophierung des Weihers nachhaltig beheben sollte.

¹ Diese Methode kommt beispielsweise bei der Sanierung des Inkwiliersees zum Einsatz (SCHRAG 2011), welcher eine mit dem Bellacher Weiher vergleichbare Problematik aufweist.

² Zur sanften Sanierung des Bellacher Weihers kommen die Produkte des deutschen Erfinders Roland Plocher zur Anwendung, welche biokatalytische Prozesse mit Hilfe von auf Trägermaterialien (z.B. Quarzmehl) aufgeprägten Informationen (z.B. Sauerstoff) katalysieren können (NUFER 2012).

Die Gemeinde Bellach übernahm 2010 unter dem damaligen Gemeindepräsidenten Anton Probst die Leitung des Pilotprojekts, da das kommunale Interesse an diesem Naherholungsgebiet den Aufwand rechtfertigte und das Konzept bezüglich Finanzierbarkeit und Nachhaltigkeit überzeugte. In erster Linie wurde eine Ausweitung der Sanierungsmassnahmen auf das gesamte landwirtschaftlich genutzte Einzugsgebiet des Weihers beschlossen, welches sich über drei Gemeinden erstreckt: Bellach, Selzach und Lommiswil.

Der von der Ausweitung des Pilotprojekts erhoffte Erfolg stellte sich nach wenigen Jahren ein und konnte bis heute aufrechterhalten werden. Wie in *Abb. 6 und 7* ersichtlich, präsentiert sich der Weiher heutzutage während des ganzen Jahres klar und vollständig ohne Bewuchs.



Abb. 6: Aufnahme des Bellacher Weihers vom Ruderboot am 02.05.2017



Abb. 7: Aufnahme des Bellacher Weihers vom Ruderboot am 04.10.2017

2015 wurde das Pilotprojekt um ein wissenschaftliches Begleitprogramm ergänzt, damit der Erfolg wissenschaftlich dokumentiert wird und ein zuverlässiges Monitoring der Sanierungsmassnahmen erfolgen kann. Zudem wurde das Projekt in die lokalen ökologischen Vernetzungsbestrebungen eingebunden und Schritte zur breiteren Bekanntmachung des Pilotprojekts eingeleitet. Eine vollständige Übersicht des Ablaufs mit den verschiedenen Projektphasen bis zum vorläufigen Planungsende findet sich auf in *Tab. 1*:

Tab 1: Ablauf des Pilotprojekts

Jahr	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Projektphase	Phase I				Phase II		Phase III				Phase IV						
Weiberbehandlung	Weiberbehandlung durch Fam. Stöckli																
Messungen im Weiher	Messungen durch ARA Bellach				Messungen durch AFU/ARP des Kantons Solothurn												
Landwirtschaftsprogramm							Landwirtschaftsprogramm Teil 1				Landwirtschaftsprogramm Teil 2						
Fragebogen für die Bauern							Umfrage 1			Umfrage 2			Umfrage 3			Umfrage 4	Umfrage 5
Wissenschaftliches Begleitprogramm												HAFL, Zollikofen & ZHAW, Wädenswil					
Finanzierung	<ul style="list-style-type: none"> • Weiberfonds: Legat der Familie Schwarz 						<ul style="list-style-type: none"> • Gemeinde Bellach • ARP+AFU Kanton Solothurn (Messungen) 				<ul style="list-style-type: none"> • Gemeinden Bellach, Selzach, Lommiswil • ARP+AFU Kanton Solothurn (Messungen) • Alpiq Ökofonds und Fachhochschulen 						
Bemerkungen	Weiber eutroph				Wachstum der Schlammsschicht gestoppt			Biber siedelt sich an			Weiber vegetationsfrei		Kleines Fischsterben		Schlammsschicht durchgehend locker und teilweise hellbraun		

3 Durchführung Pilotprojekt

3.1 Sanfte Sanierung Bellacher Weiher

Startpunkt des Pilotprojekts war der Versuch, den Bellacher Weiher durch die Anwendung von Plocher-Produkten sanft zu sanieren. Im Gegensatz zum Ausbaggern soll der Schlamm am Weihergrund, welcher sich durch die anaeroben Verhältnisse über die Jahrzehnte angesammelt hat, unter Wasser kompostiert werden. Dies funktioniert analog der Güllekompostierung mit Hilfe von Plocher-Produkten, welche auf diesen Einsatzbereich abgestimmt sind.

Erste Erfahrungen mit dieser Methode wurden in der Schweiz beim Heidsee³ in der Lenzerheide gesammelt. Aufgrund der unterschiedlichen Voraussetzungen, liess sich daraus jedoch keine Prognose für den Bellacher Weiher ableiten. Es war auch nicht klar, ob mit der Plocher-Methode nur die oberste Schicht des Sediments kompostiert werden kann oder ob sich der Prozess in die Tiefe vorarbeitet, bzw. wie lange dies dauern würde. Das Ziel für den Bellacher Weiher war in erster Linie das Verhindern einer Sauerstoffarmut und damit der Ansammlung von weiterem Faulschlamm.

Die Plocher-Produkte werden einerseits als zylinderförmige Biokatalysatoren, welche permanent wirken, im Weiher verankert und andererseits in Form eines während der Vegetationszeit alle drei Wochen über der Weiheroberfläche verteilten Pulvers angewendet (Abb. 4 & 5). Beim Pulver handelt es sich um informiertes⁴ Quarzmehl⁵, welches von einem Ruderboot aus mit einer kleinen Schaufel ausgebracht wird. Zu Beginn des Projekts betrug die ausgebrachte Menge 3 g/m², was einer gesamten Aufwandsmenge von 90 kg pro Anwendung entspricht.

Als nach Abschluss der vierjährigen ersten Phase klar wurde, dass die Schlamm-schicht am Weihergrund nicht weiterwuchs, war dieses Sanierungsziel eigentlich erreicht. Da aber oft immer noch unansehnliche Algenteppeiche im Weiher trieben und der Wasserkörper weiterhin praktisch vollständig von Wasserpflanzen durchwuchert wurde, war dies als Sanierungsziel unbefriedigend. Deshalb wurde das Landwirtschaftsprogramm ins Leben gerufen, welches ebenfalls durch die Anwendung von Plocher-Produkten auf allen Landwirtschaftsbetrieben im Einzugsgebiet die Nährstofffracht im Zufluss des Weihers verringern soll.

Der gewünschte Erfolg des Landwirtschaftsprogramms stellte sich nach wenigen Jahren ein und der Weiher ist heute durchgehend frei von Algenteppeichen und Unterwasserpflanzenbewuchs. Somit konnte die Dosierung des Quarzmehls im Weiher schrittweise reduziert werden und betrug zuletzt nur noch 1 g/m². Als sich im Herbst 2016 nach einem schlagartigen Kälteeinbruch ein kleines Fischsterben ereignete, wurde die Dosis im Sommer und Herbst wieder auf 2 g/m² angehoben.

³ Der Heidsee hatte vor allem ein Geruchsproblem. Der durch Schwefelwasserstoff verursachte Gestank konnte durch Anwendung des Plocher-Systems reduziert werden und das Wachstum der Unterwasserpflanzen wurde nachweislich verringert (NUFER 2009).

⁴ Die Plocher-Produkte enthalten biokatalytisch wirksame Informationen, beispielsweise Sauerstoff, welche in diesem Fall das Entstehen eines aeroben Milieus katalysieren.

⁵ Quarzmehl wird als Trägermaterial für das Einbringen der wirksamen Informationen verwendet, da es in der Handhabung unproblematisch und für die Seebiologie nicht belastend ist.

Ziel des Programms ist der Aufbau eines natürlichen Bodenlebens, welches Düngestoffe zurückhält und diese ohne viel Verlust an die Kulturpflanzen abgeben kann. Dadurch soll die Auswaschung von Nährstoffen ins Oberflächen- und Drainagewasser verringert, und somit der Weiher bezüglich Nährstoffzufuhr entlastet werden. Mit der Zeit kann aufgrund der besseren Düngeneffizienz auf dem Feld zudem eine Reduktion der Mineraldüngergaben erfolgen. Dies soll aber ausschliesslich auf freiwilliger Basis geschehen und in Absprache mit der offiziellen Düngeberatung.

Ab dem Jahr 2017 wurden dann auf einigen Betrieben die neueren Plocher-Produkte plocher flüssighumus für die Güllebehandlung und plocher humusboden für die Bodenbehandlung eingesetzt. Die beiden älteren Produkte werden schrittweise aus dem Verkehr genommen. Die Handhabung der neuen Produkte ist gegenüber den älteren etwas vereinfacht. Bei der Gülle muss nicht mehr nach Tierart (Rinder- oder Schweinegülle) unterschieden werden. Bei der Bodenbehandlung muss nur noch ein Produkt statt deren dreien eingesetzt werden. In *Abb. 9* sind die Anwendungsvorschriften zusammengefasst:



Abb. 9: Anwendungsvorschriften für die Plocher-Produkte in der Landwirtschaft

Gegenüber dem Vorprodukt plocher bodenaktivator 1-2-3, welches aus den drei Komponenten Dolomitsteinmehl, Zuckerrübenmelasse und Magnesiumsulfat bestand, welche vor der Anwendung gemischt werden mussten, besteht plocher humusboden nur noch aus Melasse. Das neue Produkt muss am Anfang etwas höher dosiert werden, als der alte Bodenaktivator. Nach drei Jahren Anwendung kann die Dosierung dann reduziert werden, ohne allfällige Wirkungseinbussen⁷ in Kauf zu nehmen.

⁷ Plocher-Produkte können im Laufe der Zeit bei erfolgreicher Anwendung in der Dosierung zurückgefahren werden, da das gewünschte Milieu bereits entstanden ist und zur Aufrechterhaltung weniger Produkt benötigt wird, als zur Schaffung. Die Anwendung von Plocher Produkten ist somit als ausgesprochen nachhaltig zu betrachten, da die Dosierung der Produkte laufend verringert werden kann und am Ende sogar überflüssig wird.

Zur Feststellung des Erfolgs des landwirtschaftlichen Begleitprogramms dient in erster Linie der Zustand des Weihers selbst. Verbessert er sich, ist aufgrund der Dominanz der landwirtschaftlichen Nutzung im Einzugsgebiet, von einer positiven Wirkung der Produkte auszugehen. Als weitere Monitoringmassnahme wird den Landwirten jedes zweite Jahr ein Fragebogen zur Beurteilung der Wirkung auf ihrem Hof abgegeben und ausgewertet (NUFER 2011, 2013, 2015, 2017). Zudem wird das Programm durch die Düngeberaterin des Wallierhofs, Frau Anja Latscha professionell begleitet.

Wichtig für das Gelingen des Landwirtschaftsprogramms ist der enge Kontakt zu den 18 Landwirten im Einzugsgebiet. Sämtliche Landwirte werden jährlich durch Adrian Nufer und den Plocher-Vertreter René Zimmermann, welcher selbst Landwirt ist, besucht. Dabei werden die Produkte für ein Jahr abgegeben und Gespräche über die Anwendung und den Erfolg des Einsatzes geführt. Im Laufe der Jahre entstand so ein persönliches Verhältnis zu den Landwirten. Zudem wird jeweils Anfang des Jahres eine Informationsveranstaltung im Gemeinderatssaal der Gemeinde Bellach durchgeführt, zu welcher alle beteiligten Landwirte eine persönliche Einladung erhalten.

An der Informationsveranstaltung werden jeweils die neusten Erkenntnisse zum Bellacher Weiher und zur Anwendung der Plocher-Produkte in der Landwirtschaft präsentiert. 2016 wurde zudem eine Bachelorarbeit der ZHAW Wädenswil aus dem wissenschaftlichen Begleitprogramm des Projekts an dieser Veranstaltung vorgestellt, was für die Studentin gleichzeitig die offizielle Präsentation ihrer Arbeit war. Die Informationsveranstaltung bietet eine immer wiederkehrende Gelegenheit für die Landwirte, Fragen zu stellen und das Programm intensiv und offen untereinander und mit den Verantwortlichen zu diskutieren.

3.3 Wissenschaftliches Begleitprogramm

NUFERscience führt im Auftrag des Kantons Solothurn seit 2009 jährlich vier Messreihen zur Überwachung und Dokumentation des chemisch/physikalischen Zustandes des Bellacher Weihers durch. Die wichtigsten Messresultate wurden zuletzt im Zwischenbericht von 2015 (NUFER 2016) veranschaulicht und interpretiert. Um den Sanierungserfolg beim Bellacher Weiher besser beurteilen zu können, wurde 2015 ein wissenschaftliches Begleitprogramm unter Beteiligung zweier Fachhochschulen ins Leben gerufen. Dank dieses Begleitprogramms soll das Pilotprojekt künftig auch als Muster für weitere Sanierungsprojekte dienen, welche vorab einer wissenschaftlichen Bestätigung der Wirksamkeit dieser Sanierungsmethode bedürfen. Das Begleitprogramm umfasst zwei Teilprogramme:

Untersuchung Bellacher Weiher durch die ZHAW Wädenswil

Um vertiefte Informationen über den Zustand des Bellacher Weihers während des Pilotprojekts zu erhalten, wurde die ZHAW Wädenswil mit der Untersuchung und Dokumentation des aktuellen Zustands beauftragt. Die Untersuchung erstreckte sich über die beiden Jahre 2016 und 2017. Sie beinhaltete eine Bachelorarbeit mit Gewässerbeurteilung. Zudem wurden in den beiden Jahren je acht ergänzende Messreihen durchgeführt. Damit steigt die zeitliche Auflösung der jährlich vier Messungen des Kantons und erlaubt so eine bessere Einschätzung der vorhandenen Messreihen, beispielsweise in Bezug auf Extremereignisse.

Landwirtschaftlicher Begleitversuch an der HAFL Zollikofen

Aus wissenschaftlicher Sicht interessiert insbesondere die Frage, ob und inwiefern das Landwirtschaftsprogramm im Einzugsgebiet des Bellacher Weiher zu dessen Sanierung beitragen konnte. Für eine diesbezügliche Einschätzung können die Messungen im Zufluss des Weiher herangezogen werden, was jedoch die Frage nach der Wirksamkeit der im Einzugsgebiet eingesetzten Plocher-Produkte nicht wirklich beantwortet, da für einen Rückgang der Nährstoffe im Zufluss auch ein vorsichtigerer Umgang der Landwirte mit Düngern verantwortlich sein könnte.

Weil über die Wirkung der Plocher-Produkte allgemein kaum wissenschaftliche Untersuchungen existieren, hat die HAFL Zollikofen unter der Leitung von Prof. Andreas Keiser einen entsprechenden Versuch konzipiert und führt ihn im Rahmen des Pilotprojekts auf in der Nähe des Weiher liegenden Flächen durch. Untersucht wird ausschliesslich die Wirkung von plocher bodenaktivator 1-2-3 und seines Nachfolgeprodukts plocher humusboden, da diese sich gut für Feldversuche eignen. Die Auswirkungen der Gülle- und Mistbehandlung auf den Boden ist ungleich schwieriger innerhalb eines praxisnahen Exaktversuches festzustellen.

Gegenstand der Untersuchung ist, mögliche Auswirkungen der Plocher Bodenaktivierungsprodukte auf den Zustand des Bodens festzustellen. Dazu sind auf drei verschiedenen Feldern je 8 Quadrate eingemessen worden, auf welchen die Produkte während fünf Jahren angewendet werden. Auf je 4 Quadraten werden die Plocher Bodenaktivatoren und auf den anderen 4 Quadraten ein Placebo ausgebracht, welches bezüglich der chemischen Zusammensetzung zu 100% identisch mit den Plocher-Produkten ist. Die Landwirte, welche die Versuchsflächen bewirtschaften, wissen nicht wo die per GPS eingemessenen Quadrate liegen. Zudem wurden Felder ausgewählt, welche noch nie in Kontakt mit den Versuchsprodukten gekommen sind, weshalb sie ausserhalb Projektperimeters liegen, aber dennoch auf dem Gebiet der Projektgemeinden.

Nach Abschluss dieses Versuchs im Jahr 2020 sollten folgende Fragen beantwortet werden können:

- Hat die Anwendung der Plocher Bodenaktivatoren einen nachweislichen Einfluss auf die Bodenqualität und die landwirtschaftliche Nutzung?
- Beruht die biokatalytische Wirkung der Plocher Bodenaktivatoren auf deren chemischer Zusammensetzung?

Falls die erste Frage mit Ja und die zweite mit Nein beantwortet werden kann, ist die Wirksamkeit der Bodenaktivatoren zweifelsfrei bewiesen. Es darf dann mit einer hohen Wahrscheinlichkeit vermutet werden, dass der Einsatz der Plocher-Produkte im Einzugsgebiet für den Rückgang der Nährstoffe im Bellacher Weiher verantwortlich ist. Definitiv beweisen lässt sich dies durch diesen Versuch jedoch nicht.

Dafür wären Lysimeterversuche⁸ nötig, welche vom Aufwand her ungleich umfangreicher wären und den Rahmen dieses Pilotprojekts definitiv sprengen würden. Sie wären der nächste notwendige Schritt auf dem Weg zu einem vollständigen Beweis der Wirksamkeit dieses Sanierungsverfahrens. Für einen begründeten Einsatz der Methode in weiteren Seesanierungsprojekten, sollte ein positiver Nachweis der Wirksamkeit des Bodenaktivators an der HAFL jedoch genügen.

⁸ In einer Lysimeteranlage, wie z.B. von Agroscope betrieben, lassen sich die Einflüsse von Produkten auf den Boden genau untersuchen, da das Sickerwasser aufgefangen und analysiert werden kann.

3.4 Trägerschaft und Finanzierung

Die Trägerschaft des Pilotprojekts besteht aus verschiedenen Parteien, welche sich im Laufe der Entwicklung des Projekts zusammengefunden haben. Den Anfang machte Thomas Stöckli mit seiner Familie, welcher sich an den damaligen Präsidenten der Gemeinde Bellach Ernst Walter wandte, um die Überdüngungsproblematik des seit kurzer Zeit in seinem Besitz befindlichen Weihers anzugehen. Die Gemeinde Bellach hatte immer ein grosses Interesse am Zustand des Weihers, da er sich auf ihrem Gemeindegebiet befindet und seine Umgebung der Bevölkerung als ein wichtiges Naherholungsgebiet dient.

Die beiden riefen dann das Pilotprojekt «Sanfte Sanierung des Bellacher Weihers» ins Leben, welches in der ersten Phase hauptsächlich die Anwendung der Plocher-Produkte innerhalb des Weihers beinhaltete. Finanziert wurde dieser erste Schritt aus dem «Weierfonds», einem unter Obhut der Gemeinde Bellach stehenden Legat der Familie Schwarz, welche vorher Besitzerin des Bellacher Weihers war. Nach Abschluss der ersten Phase war dieses Legat aufgebraucht.

Beizug von NUFERscience

Noch während der ersten Phase wurde NUFERscience für das Monitoring und die weitere Entwicklung des Pilotprojekts beigezogen. Nachdem klar wurde, dass die Behandlung des Weihers zwar das Wachstum der Schlammschicht am Grund zumindest stark verlangsamen konnte, aber das Algenproblem nach wie vor ungelöst war, arbeitete Adrian Nufer eine Strategie für den Einbezug der Landwirtschaft im umliegenden Einzugsgebiet des Weihers aus. Die Finanzierung wurde anfangs vollumfänglich durch die Gemeinde Bellach übernommen, da das Projekt gemäss Aussage des damals amtierenden Gemeindepräsidenten Anton Probst sonst kaum zustande gekommen wäre.

Das Projekt wurde zu dieser Zeit von Thomas Stöckli, Anton Probst und Adrian Nufer geleitet. Um die Tätigkeit auf das gesamte Einzugsgebiet des Weihers auszuweiten, wurde 2009 eine Vernehmlassung bei sämtlichen, potenziell vom Projekt betroffenen Ämtern durchgeführt. Das Ergebnis war, dass das Landwirtschaftsprogramm grundsätzlich in die Praxis umgesetzt werden kann und vom Düngerberater des Wallierhofs, damals Bernhard Strässle, begleitet wird. Mit Hilfe der Ackerbaustellenleiter der Gemeinden wurden dann die betroffenen Landwirte bestimmt, welche schliesslich einen Informationsflyer zum geplanten Projekt erhielten.

Die Landwirte wurden einzeln vom damaligen Plocher-Vertreter Bernhard Hunziker besucht und erklärten sich daraufhin überraschenderweise allesamt bereit, auf freiwilliger Basis am Projekt mitzuwirken. Am 19.01.2010 fand dann die erste Versammlung der Landwirte im Gemeindehaus der Gemeinde Bellach statt, wo Fragen gestellt werden konnten und das vorerst auf fünf Jahre angelegte Projekt ausführlich diskutiert wurde. Die Haltung der meisten Beteiligten war kritisch aber offen. Da sich die Gemeinde Bellach bereit erklärte, die gesamten Kosten der Produkte für alle Landwirte zu übernehmen, stand einem versuchsweisen Ausprobieren nichts mehr im Wege.

Das Landwirtschaftsprogramm wurde innerhalb weniger Jahre zu einem grossen Erfolg, da sowohl die Landwirte selbst grösstenteils positive Erfahrungen mit den Produkten machten, als auch im Weiher deutlich sichtbare Veränderungen festgestellt werden konnten. Nach Ablauf von vier Jahren stellte sich die Frage, wie das Projekt fortgesetzt werden konnte. Alle Beteiligten waren der Überzeugung, dass durch einen Stopp des Projekts nach den geplanten fünf Jahren den Weiher rasch wieder in den veralgten Ausgangszustand zurückversetzt würde.

Breitere Abstützung der Trägerschaft

Für eine Fortsetzung des Pilotprojekts war entscheidend, das Projekt breiter abzustützen, da eine Finanzierung durch die Gemeinde Bellach allein nicht beliebig lange fortgesetzt werden konnte. Das Projekt wurde den Gemeindeversammlungen der beiden ebenfalls im Einzugsgebiet des Weihers liegenden Gemeinden Selzach und Lommiswil vorgestellt, welche sich schliesslich gerne bereit erklärten, sich finanziell an einer Fortsetzung des Projekts für weitere fünf Jahre zu beteiligen.

Ein weiteres Anliegen war der Einbezug von Forschungsanstalten, welche das Projekt aus wissenschaftlicher Sicht abstützen und das Monitoring verbessern können. Die beiden Fachhochschulen HAFL in Zollikofen und die ZHAW in Wädenswil konnten für dieses Vorhaben gewonnen werden. Dafür war eine entsprechende Finanzierung vonnöten, welche schlussendlich durch einen substanziellen Beitrag des Alpiq Ökofonds sowie Eigenbeteiligungen der beiden Fachhochschulen gewährleistet wurde.

Seit 2015 beruht das Pilotprojekt nun auf einer deutlich breiteren Trägerschaft mit den drei Gemeinden, den beiden Fachhochschulen und dem Lenkungsausschuss des Alpiq Ökofonds. Geleitet wird das Projekt nach wie vor vom Weiherbesitzer Thomas Stöckli, dem derzeitigen Bellacher Gemeindepräsidenten ad interim Fritz Lehmann, der die Geschäfte des unerwartet verstorbenen Roland Stadler übernahm und Adrian Nufer. Weitere Hauptbeteiligte sind der vorherige Gemeindepräsident Anton Probst, Reto Fedeli vom Lenkungsausschuss des Alpiq Ökofonds, Prof. Andreas Keiser und Claudia Degen von der HAFL sowie die Repräsentanten der betroffenen Amtsstellen des Kantons Solothurn, dem Amt für Raumplanung (ARP), Amt für Umwelt (AFU) und dem Wallierhof.

Wichtig für das Projekt ist auch der Einbezug in die regionalen ökologischen Vernetzungsaktivitäten, welche durch Martin Huber vom Büro BSB + Partner koordiniert wird. In den Jahren 2016 und 2017 hat ebenfalls Christa Gufler von der ZHAW Wädenswil mitgewirkt, da in dieser Zeit die entsprechenden Untersuchungen stattfanden. Eine erneute Mitwirkung der ZHAW Wädenswil wird angestrebt, sobald die nächste Planungsphase für die Fortsetzung des Pilotprojekts in Angriff genommen werden kann. Dann wäre insbesondere auch eine Untersuchung des Sedimentes ins Auge zu fassen.

3.5 Öffentlichkeitsarbeit

Mit wachsendem Erfolg des Pilotprojekts wird das Thema Öffentlichkeitsarbeit immer wichtiger. Einerseits hat die lokale Öffentlichkeit ein Recht auf Information über die Aktivitäten rund um den Weiher und andererseits sollte der Erfolg der Sanierungsmethode einer breiteren Öffentlichkeit zur Kenntnis gebracht werden, damit diese auch in weiteren Fällen mit ähnlicher Problematik angewandt werden kann. Das erste Bedürfnis wird durch regelmässige Berichterstattungen im Lokalteil der Solothurner Zeitung erfüllt, welche jeweils durch die Gemeinde Bellach ange-regt werden. Der zweite Punkt wird durch NUFERscience abgedeckt.

Die Amtsstellen, welche bei den Nachbarkantonen von Solothurn für den Gewässerschutz zuständig sind, werden von Adrian Nufer mit aktuellen Informationen über das Pilotprojekt versorgt. Momentan sind dies hauptsächlich die Kantone Bern und Luzern. Zudem wurde beim Kanton Solothurn eine Eingabe getätigt, welche die Sanierungsmethode des Bellacher Weiher als langfristige Massnahme zur nachhaltigen Erhaltung der jetzt stattfindenden Sanierung des Inkwilersees⁹ empfiehlt. Mit Hilfe des vorliegenden Berichts werden zukünftig weitere Kantone im Schweizerischen Mittelland über dieses Projekt informiert.

Vor einer weitergehenden öffentlichen Bekanntmachung des Sanierungserfolgs beim Bellacher Weiher werden die Ergebnisse des Versuchs an der HAFL Zollikofen abgewartet. Falls die Wirksamkeit des Bodenaktivators im Exaktversuch der Fachhochschule zweifelsfrei nachgewiesen werden kann, bedeutet dies für die Sanierungsmethode einen Durchbruch, da an einer Schweizerischen Forschungsanstalt noch nie ein wissenschaftlicher Nachweis der Wirksamkeit von Plocher-Produkten erbracht wurde und somit ein verbreitetes Gegenargument hinfällig würde.

Im Jahr 2019 werden die ersten Resultate des Versuchs erwartet. Der Schlussbericht wird im Jahr 2020 erscheinen. Bis dahin muss auch die Fortsetzung des Projekts geplant sein, welche ein entsprechendes Konzept für die Bekanntmachung der Resultate beinhalten sollte. Zudem muss die weitere Finanzierung des Projekts gesichert sein.

⁹ Der Inkwilersee liegt auf den Kantonsgebieten von Bern und Solothurn. Er hat eine mit dem Bellacher Weiher sehr vergleichbare Problematik, welche sich vor allem in einem raschen Anwachsen der Schlammschicht am Seegrund zeigt. Der Schlamm wird nun im Rahmen eines grösseren Projekts unter der Leitung des Kantons Solothurn abgesaugt. Mit der beim Bellacher Weiher angewandten Methode könnte die Neubildung von Schlamm verhindert oder zumindest stark verlangsamt werden, womit die Sanierung deutlich nachhaltiger würde.

4 Aktueller Zustand

Wie in der Einführung bereits geschildert, befindet sich der Bellacher Weiher aktuell in einer guten Verfassung, vor allem wenn man ihn mit benachbarten Gewässern, wie dem Inkwilersee oder dem Lobsigensee¹⁰ vergleicht, welche eine ähnliche Überdüngungsproblematik aufweisen. Es gibt aber auch kritische Stimmen, welche das fast vollständige Wegfallen des Seerosenbewuchses als ein Indiz für eine übertriebene Sanierung halten, welche über das Ziel hinausschiesst. Überraschenderweise trat 2016 jedoch ein einmaliges kleines Fischsterben auf, welches darauf hindeutet, dass die Überdüngungsproblematik nach wie vor besteht. In der Folge wird versucht, anhand von Luftbildanalysen, Messwerten und Fotoreihen den aktuellen Zustand möglichst objektiv zu beschreiben:

4.1 Luftbildanalyse

Eine dramatische und offensichtliche Veränderung, welche beim Bellacher Weiher im Laufe der sanften Sanierung augenscheinlich wurde, war der Wegfall des Bewuchses im Wasser. Sowohl die Wasseroberfläche, welche in der zweiten Jahreshälfte mehrheitlich von Schwimmblattgewächsen bedeckt war, als auch der Weihergrund, welcher praktisch flächendeckend von Wasserpflanzen überwachsen war, sind heute durchgehend vegetationsfrei. Um diese Veränderung zu dokumentieren, wurde eine Zeitreihenanalyse anhand von Luftbildern durchgeführt.

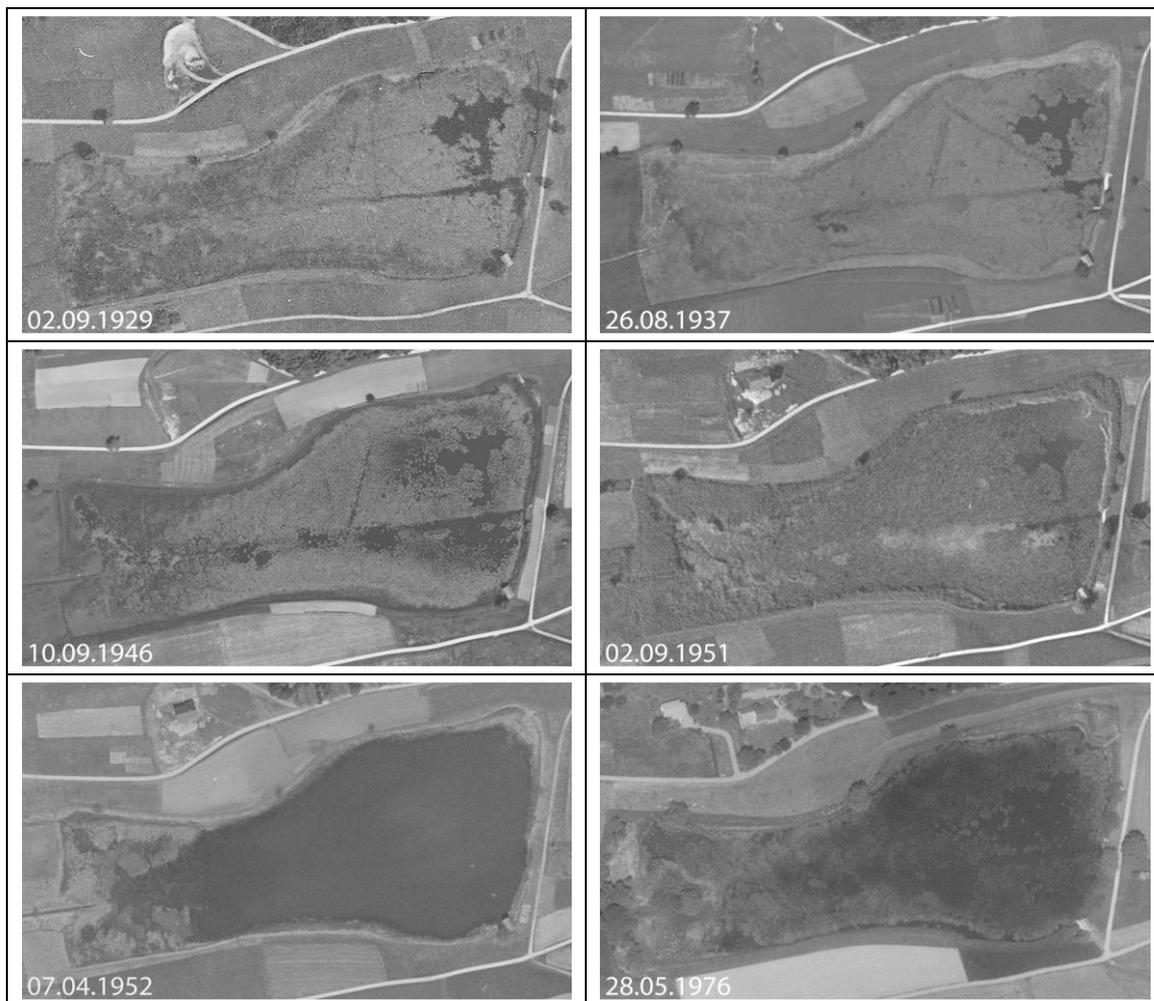
Alle verfügbaren Luftbilder der swisstopo, sowie des Kantons Solothurn wurden für diese Analyse herangezogen. Das früheste Luftbild stammt aus dem Jahr 1929 und das letzte verfügbare ist von 2016. Da die Analyse im Auftrag der Gemeinde Bellach in Zusammenarbeit mit dem Kanton Solothurn erfolgt, sind alle Aufnahmen, auch die hochaufgelösten swissimage Orthofotos der swisstopo, welche in den Jahren 2008, 2011 und 2014 gemacht wurden kostenfrei verfügbar. Sie wurden von swisstopo für die vorliegende Arbeit aus dem Gesamtdatenbestand extrahiert.

Da der Bellacher Weiher auf den Luftbildern eine relativ kleine Fläche belegt und das Gelände in unmittelbarer Nähe zum Weiher keine grossen Höhenunterschiede aufweist, ist die Verzerrung auf den herkömmlichen Luftbildern gegenüber den Orthofotos, welche zuvor perspektivisch entzerrt wurden, praktisch vernachlässigbar. Die in *Tab. 2 und 3* dargestellten Ausschnitte wurden mit Hilfe von Adobe Photoshop alle gleich skaliert und ausgerichtet, sowie minimal bezüglich Helligkeit und Kontrast aneinander angeglichen.

¹⁰ Der Lobsigensee befindet sich im Kanton Bern bei Seedorf und ist bezüglich Grösse und Verlandungsthematik sehr gut mit dem Bellacher Weiher vergleichbar. Die Überdüngungsproblematik ist jedoch so gross, dass keine Fische mehr im Weiher leben können. Konzepte zur Rettung des Weihers, welcher ohne Gegenmassnahme innerhalb weniger Jahrzehnte komplett verlanden wird, gibt es zurzeit keine *ernsthaften* (siehe *Wikipedia, Lobsigensee, bzw. Artikel im Bieler Tagblatt vom 20.10.2015 und 04.06.2017*).

Auf den Luftbildern von 1929 bis 1976, welche in schwarz/weiss vorliegen, sieht man, dass der Weiher, soweit die Aufnahmen zurückreichen, immer komplett überwachsen war. Nur beim Luftbild von 1952 war dies nicht der Fall. Dieses wurde als einziges im April aufgenommen, als die Vegetation noch nicht so weit gediehen war. Dass der Weiher bereits 1929 während der Vegetationsperiode immer überwachsen war erstaunt, da die Landwirtschaft im Einzugsgebiet zu dieser Zeit sicher weniger intensiv war als heute. Die ersten Drainagen im Zuflussgebiet wurden allerdings bereits im 19. Jahrhundert erstellt (WOODTU 2016) und eine Kanalisation für die Hausabwässer gab es zu jener Zeit sicher auch noch nicht.

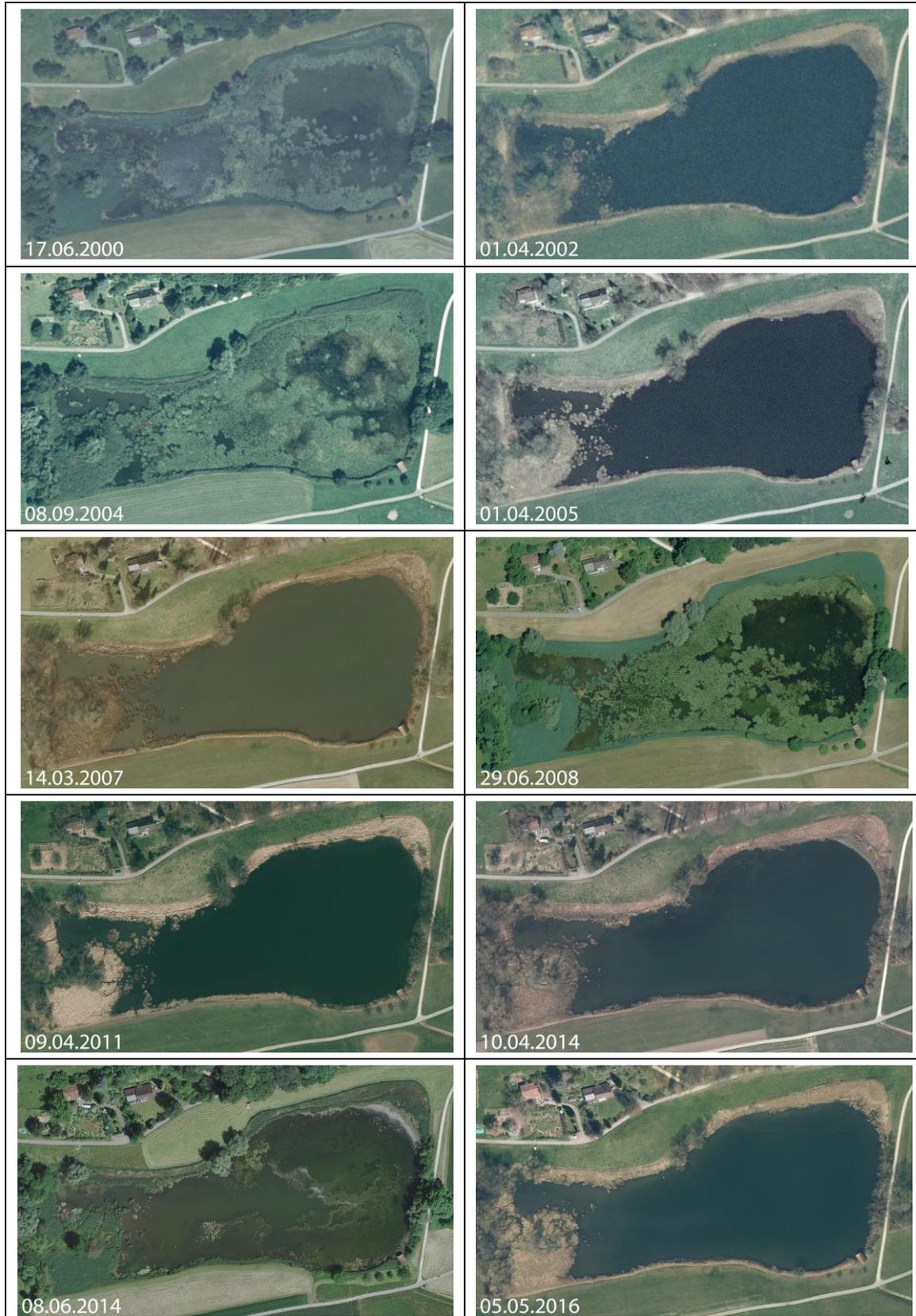
Tab. 2: Luftbilder Bellacher Weiher 1929 – 1976 in schwarz/weiss



Alle Luftbilder: © swisstopo, Bundesamt für Landestopografie

Zwischen 1976 und 2000 liegen keine Aufnahmen vom Bellacher Weiher vor. In Tab. 3 sieht man die Entwicklung in den Jahren 2000 bis 2016 anhand von farbigen Orthofotos. Auch hier ist ersichtlich, dass die Aufnahmen von der zweiten Jahreshälfte immer einen komplett überwachsenen Weiher zeigen, mit Ausnahme der swissimage Orthofoto vom 08.06.2014. Auf diesem Bild erkennt man zweifelsfrei den Erfolg des Pilotprojekts Bellacher Weiher, da zum ersten Mal seit Existenz von Luftaufnahmen des Weihers, dieser während der zweiten Jahreshälfte nicht überwachsen war.

Tab. 3: Orthofotos Bellacher Weiher 2000 – 2016 in Farbe



Orthofotos von 2002, 2007, 2011 und April 2014 © SO!GIS, Amt für Geoinformation des Kantons Solothurn.
 Übrige: © swisstopo, wobei 2008 und Juni 2014 aus swissimage extrahiert wurden

Heute präsentiert sich der Weiher stets in einem aufgeräumten Zustand und ist problemlos das ganze Jahr über schiffbar. Er ist stark durch die Tätigkeit des während der Sanierung zugewanderten Bibers geprägt und bedarf keiner grossen Unterhaltsarbeiten mehr. Die Notwendigkeit der Weiterführung des bis 2013 periodisch durchgeführten Unterwasser-Schilfschnittes (MERSMANN 2013) besteht dank des sauberen Übergangs vom Schilfgürtel zum Wasser, der auf *Abb. 10* ersichtlich ist nicht mehr. Laut Aussage von Jonas Lüthy vom Amt für Raumplanung ARP des Kantons Solothurn, befindet sich der Weiher seit einigen Jahren nicht mehr in einem überdüngten Zustand.



Abb. 10: Aufnahme des Übergangs vom Wasser zum Schilfgürtel am 02.10.2014

Unter Berücksichtigung dieser Luftbildanalyse, welche bis ins Jahr 1929 zurückreicht, darf das heutzutage festgestellte ganzjährige Fehlen einer pflanzlichen Wasserbedeckung als Sensation gewertet werden. Bisher wurde eher davon ausgegangen, dass der überwachsene Zustand erst durch Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung ab Mitte des letzten Jahrhunderts hervorgerufen wurde. Umso erstaunlicher ist es, dass die «sanfte Sanierung» ein solches Resultat hervorgebracht hat und damit ein Zustand verändert werden konnte, welcher zuvor während mindestens 80 Jahren unveränderlich war.

Allerdings wird dadurch die Frage umso stärker aufgeworfen, was denn als «natürlicher Zustand» dieses vor mehreren Hundert Jahren künstlich angelegten Weihers anzusehen sei und wohin die Entwicklung schliesslich gehen soll. Auf diese Frage wird in *Kapitel 5* detailliert eingegangen.

4.2 Messungen

Vom Bellacher Weiher gibt es regelmässige Erhebungen der Wasserqualität ab 2009. Seit diesem Jahr führt NUFERscience für das Amt für Raumplanung des Kantons Solothurn vier Mal jährlich eine Probenahme durch, welche jeweils vom Amt für Lebensmittelkontrolle im Auftrag des Amtes für Umwelt ausgewertet wird. Diese Erhebungen werden bis mindestens Ende 2019 fortgesetzt. Erhoben werden diverse chemische Wasserqualitätsparameter, der Sauerstoffgehalt auf drei verschiedenen Tiefen und die Sichttiefe, welche mit einer Secci-Scheibe bestimmt wird.

Vorangehend gab es eine Messserie in den Jahren 2004-2007, welche im Labor der Abwasserreinigungsanlage Bellach ausgewertet wurde (RUTISHAUSER ET AL 2008). Zudem gibt es einige Messdaten aus dem Jahr 1986, welche anlässlich eines ökologischen Gutachtens (IMHOF 1987) erhoben wurden. Ebenfalls wird seit 2004 jährlich im Herbst das Schlammniveau gemessen und Anhand einer Markierung im Bootshaus, welche mit dem aktuellen Wasserstand verrechnet wird, der tatsächliche Wert bestimmt. In diesem Bericht werden nicht alle Messwerte¹¹ wiedergegeben und nur die aussagekräftigsten ausgewertet.

In *Abb. 11* sind die Messpunkte im Weiher eingezeichnet. Sie wurden sowohl für die Messserie 2004-2007 als auch für die aktuellen Messungen des Kantons Solothurn verwendet. Messpunkt Nr. 1 entspricht dem Hauptzufluss (eingedolter Zufluss des Chalenbachs) und Nr. 2 dem Abfluss. Die meisten Messungen stammen, wenn nicht anders bezeichnet, von Messpunkt Nr. 5, der tiefsten Stelle des Weihers.



Abb. 11: Messpunkte im Bellacher Weiher. Nr. 1 ist der Zufluss und Nr. 2 der Abfluss

¹¹ Die vollständigen Messreihen können bei NUFERscience oder direkt vom AFU des Kantons Solothurn angefordert werden.

Die Messwerte schwanken teilweise stark. Dies ist die Folge von Extremereignissen, welche zufälligerweise mit dem Zeitpunkt der Messung zusammenfallen. Beispielsweise kann der Phosphatwert im Zufluss nach ergiebigen Niederschlägen stark erhöht sein, da viel Phosphor aus dem Boden ausgewaschen wurde. Bei nur vier Messungen pro Jahr ist es schwierig, diese Ausreisser zu erkennen.

Deshalb hat die ZHAW Wädenswil im Rahmen des wissenschaftlichen Begleitprogramms in den Jahren 2016 und 2017 jeweils acht weitere Messreihen erhoben. So stehen in diesen beiden Jahren jeweils insgesamt zwölf Messungen zur Verfügung. Diese Messungen stehen aus Kostengründen nur am Zufluss, am Abfluss und an Messpunkt Nr. 4 zur Verfügung und dort nur in 50 cm Tiefe. Deshalb ist in den Diagrammen, welche Werte der ZHAW beinhalten jeweils der Messpunkt Nr. 4 aufgeführt, welcher in der Mitte des Weihers liegt.

Sauerstoffgehalt des Weihers

In *Abb. 12* ist der Sauerstoffgehalt des Weihers in drei verschiedenen Tiefen dargestellt. Während am Anfang der Sanierung der Sauerstoffwert vor allem in den grösseren Tiefen zeitweise unterhalb die kritischen 4 mg/l absank, war dies nach 2007 auch auf 1.5 m Tiefe nie mehr der Fall. Seither hat sich der Weiher klar im aeroben Bereich stabilisiert und die für Edelfische kritischen Sauerstoffkonzentrationen traten gemäss dieser Messreihe seither nie mehr auf. Die unüblich hohen Messwerte im Mai 2014 von deutlich über 20 mg/l wurden mehrfach überprüft. Ein ähnlich hoher Wert wurde auch von der ZHAW im Jahr 2016 gemessen (*Abb. 13*). Es kann sich somit nicht um einen Messfehler handeln.

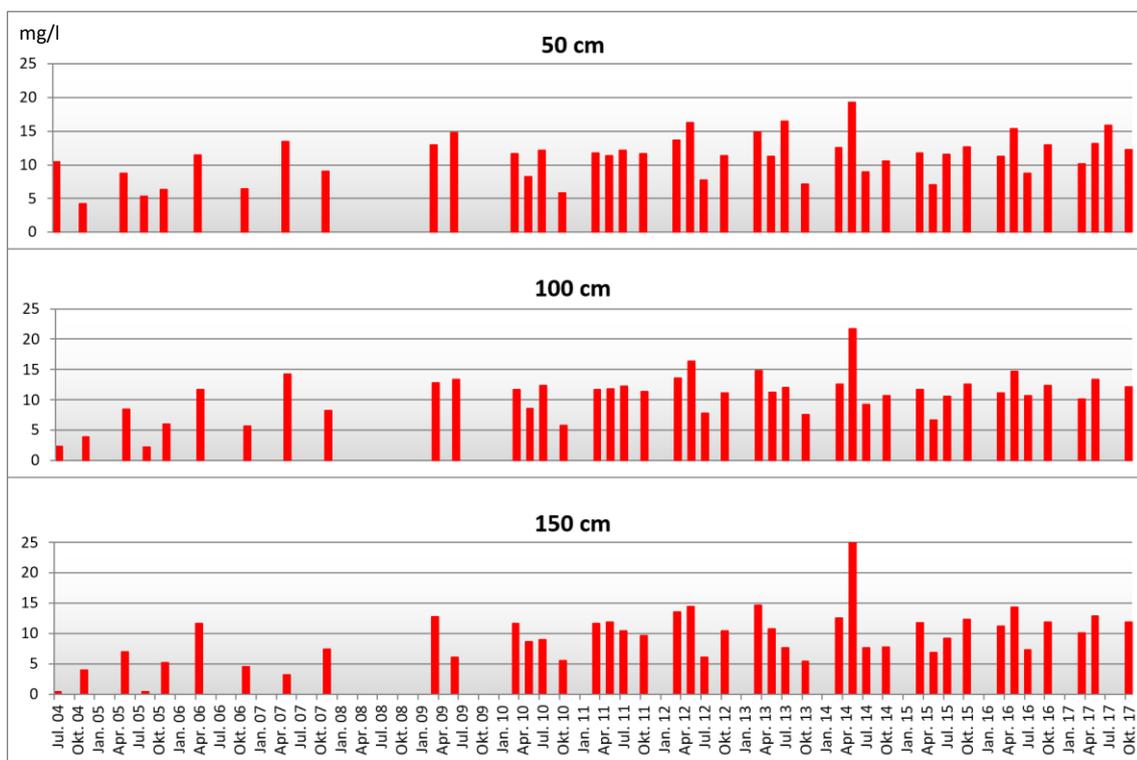


Abb. 12: Sauerstoffgehalt des Bellacher Weihers 2004-2017 in verschiedenen Tiefen

In *Abb. 13* sind die Messwerte von Messpunkt 4 in der Mitte des Weihers dargestellt, an welchem es in den letzten beiden Jahren je acht zusätzliche Messungen der ZHAW Wädenswil gibt. Wie aufgrund der besseren zeitlichen Auflösung zu erkennen ist, hat der Sauerstoffgehalt im Jahr 2016 stark geschwankt. Wenn der Sauerstoffgehalt in der Messtiefe von 50 cm bereits tief ist, liegt er am Seegrund vermutlich unter 4 mg/l, was jedoch aufgrund des Fehlens einer entsprechenden Messung nicht überprüft werden kann. In diesem Jahr trat zum Herbstbeginn dann auch ein einmaliges Fischsterben auf, wo ca. 100 Brachsen verendeten. 2017 war der Sauerstoffgehalt dagegen wieder sehr stabil.

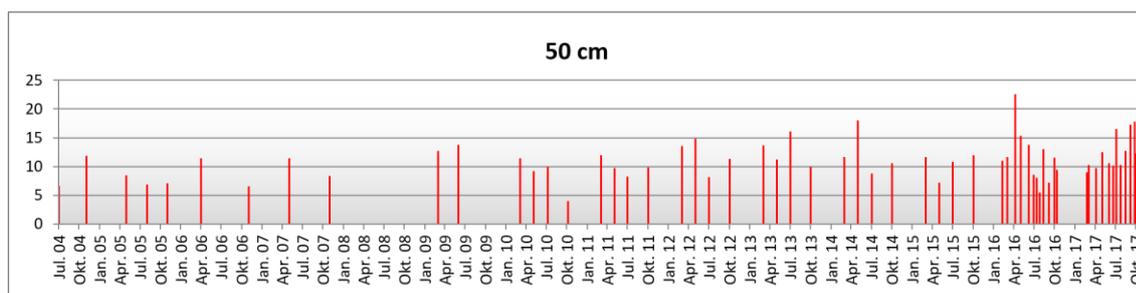


Abb. 13: Sauerstoffgehalt des Bellacher Weihers 2004-2017 in 50 cm Tiefe an Messpunkt Nr. 4, in den Jahren 2016 und 2017, inklusive Messungen der ZHAW Wädenswil

Analyse des Zuflusses

Dank der zusätzlichen Messungen der ZHAW Wädenswil kann die Belastung des Wassers an der Einmündungsstelle des Chalenbachs, welcher der Hauptzufluss des Bellacher Weihers ist, in den Jahren 2016 und 2017 viel besser eingeschätzt werden. In *Tab. 5 und 6* sind die Messwerte für die Hauptnährstoffe dargestellt und gemäss dem Modulstufenkonzept für Fließgewässer (vgl. WOODTLI 2016) anhand eines Farbschemas (*Abb. 14*) bewertet.

Tab. 5: Beurteilung des Zuflusses im Jahr 2016

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

Darstellung aus GUFLER ET AL 2017

In den Darstellungen (Tab. 5 & Tab. 6) sind jeweils die 12 Messwerte eines Jahres wiedergegeben. In Abb. 14 ist die dazugehörige Legende ersichtlich. Die Werte decken das gesamte Spektrum von sehr gut bis schlecht ab, je nachdem was vor der Messung im Einzugsgebiet an Regen- und Düngeereignissen stattfand.

	sehr gut
	nicht eindeutig zuweisbar
	gut
	mässig
	unbefriedigend
	schlecht

Abb. 14: Legende zu Tab. 5&6

Die Ammoniumwerte sind im Jahr 2016 durchgängig sehr gut und auch 2017 mit einer Ausnahme gut oder sehr gut. Die Nitratwerte sind in beiden Jahren immer gut, womit auch der Gesamtstickstoff stets im guten Bereich liegt. Der Stickstoff wird also vor allem in der oxidierten Form des Nitrats in den Weiher eingetragen. Die Nitritwerte liegen ebenfalls zwischen gut und sehr gut. Der schlechte Ammoniumwert am 05.04.2017 hat vermutlich mit der Ausbringung von Gülle zu tun, bleibt aber eine Ausnahme, welche möglicherweise durch sorgfältigeren Umgang mit Hofdüngern hätte vermieden werden können.

Tab. 6: Beurteilung des Zuflusses im Jahr 2017

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
22.02.2017	0.034	<0.015	4.52	4.60	<0.01	0.013	<3
02.03.2017	0.025	0.025	7.04	8.50	0.033	0.096	3.30
05.04.2017	0.361	0.015	4.24	4.80	<0.01	0.011	10.80
02.05.2017	0.025	0.025	3.87	4.60	0.011	0.045	<1.0
01.06.2017	0.039	0.014	3.75	4.58	<0.01	0.010	5.24
20.06.2017	0.031	<0.015	4.24	4.55	<0.01	0.013	4.98
06.07.2017	0.027	0.025	3.73	4.40	0.009	0.012	<1
24.07.2017	0.044	0.025	3.63	6.77	0.132	0.189	4.58
16.08.2017	0.045	0.014	3.48	5.02	<0.01	<0.01	3.70
05.09.2017	0.066	0.015	2.24	4.56	<0.01	<0.01	4.20
26.09.2017	0.052	0.015	1.87	4.24	<0.01	<0.01	3.89
04.10.2017	0.029	0.025	3.79	4.20	0.010	0.019	<1

Darstellung aus GUFLER ET AL 2017

Bezüglich des Phosphatgehaltes gibt es in beiden Jahren grosse Schwankungen. Bei den meisten Messungen liegt er sehr tief und entspricht einem sehr guten Wert gemäss dem Modulstufenkonzept für Fliessgewässer. Einzelne Messungen liegen aber im orangen oder roten Bereich und sind damit unbefriedigend bis schlecht. Dies hängt vermutlich mit Regenereignissen zusammen, welche mit vorangehenden Düngungsaktionen mit phosphatreichen Mineral- oder Hofdüngern einhergehen.

Besonders die sehr hohen Messwerte am 05.09.2016 und 24.07.2017 deuten in diese Richtung, da gleichzeitig der Orthophosphatwert stark erhöht ist, welcher auf das lösliche Phosphat anspricht. Am 05.09.2016 wurde an der Messstation Grenchen 14.9 mm Niederschlag¹² gemessen und am 24.07.2017 eine Regenmenge von 7.2 mm, womit diese Vermutung bestätigt werden kann.

Der DOC-Wert (dissolved organic carbon) schliesslich liefert ein Mass für den im Wasser gelösten organischen Kohlenstoff. Erhöhte DOC-Werte deuten auf eine organische Belastung des Wassers durch abgeschwemmtes Erdreich oder Hofdünger hin, können aber auch durch den Eintrag von organischem Material, wie z.B. Laub in die Fließgewässer zustande kommen, welches sich auf dem Weg zum Weiher bereits zersetzt hat. 2016 sind die gemessenen Werte überwiegend gut, 2017 sind sie eher im mittleren, als mässig beurteilten Bereich angesiedelt. Am 05.04.2017 ist der DOC schlecht und gleichzeitig das Ammonium sehr stark erhöht. Dies könnte auf einen Eintrag von Gülle aus dem Einzugsgebiet hindeuten, da es zu dieser Zeit an der Messstelle Grenchen kaum geregnet hat (nur 0.1 mm am 04.04.2017).

Phosphorgehalt des Weihers

Zur Beurteilung des Überdüngungszustandes (Trophiegrad) des Weihers ist in erster Linie der Phosphatgehalt ausschlaggebend, da er sich limitierend auf die biologische Produktion im Weiher auswirkt. In *Abb. 15* ist der Gesamtphosphatgehalt des Zulaufs und des Wassers im Weiher dargestellt. Der Messwert¹³ im Jahre 1986 stammt aus IMHOF 1987 und zeigt mit einem Wert von über 0.1 mg/l eine deutliche Überdüngung des Weihers an. Die Werte von 2004-2007 finden sich in RUTISHAUSER ET AL 2008. Alle weiteren Werte wurden durch den Kanton Solothurn erhoben.

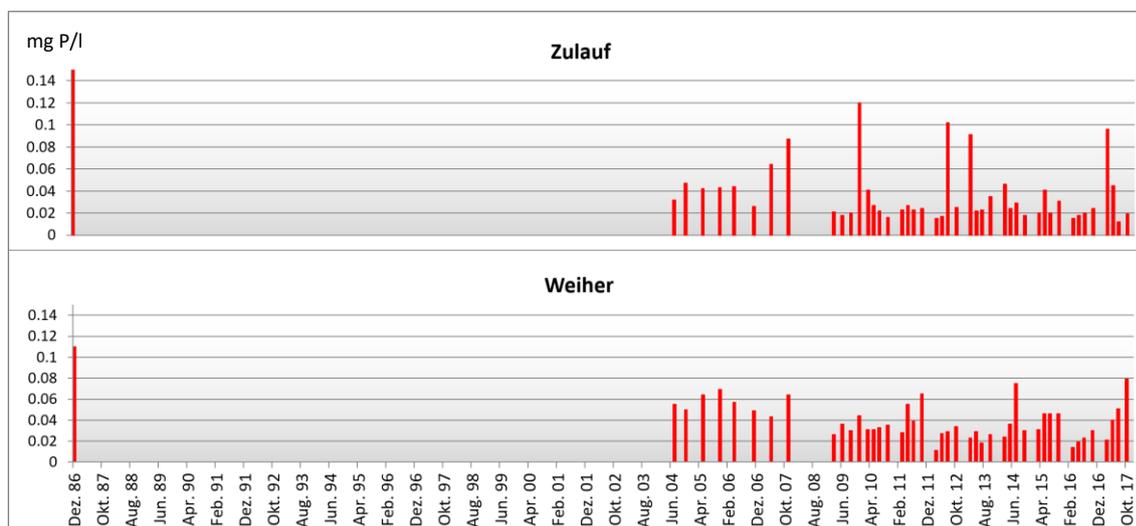


Abb. 15: Phosphatgehalt des Zulaufs und des Bellacher Weihers 1986-2017

¹² Alle nachfolgenden Angaben zu Niederschlagsmengen sind Messwerte der MeteoSchweiz an der SwissMetNet Bodenstation Grenchen.

¹³ In der Untersuchung von Imhof 1987 wurden die Phosphatwerte als Orthophosphat gemessen. Damit diese Messwerte mit den restlichen, als Gesamtphosphat ausgedrückten Werten verglichen werden können, muss man sie durch 3.066 (vgl. z.B. www.wasser.de) dividieren.

Der Phosphatgehalt im Weiher reduzierte sich von 1986-2004 aufgrund des Anschlusses der umliegenden Häuser an eine Abwasserleitung und ebenfalls aufgrund von Düngebeschränkungen in der Landwirtschaft gemäss IP- und Bionorm. Während der Zeit der ersten Phase des Sanierungsprogrammes bewegte er sich zwischen 0.05 und 0.06 mg/l, was immer noch einem klar eutrophen Zustand entspricht.

In den Jahren 2012 und 2013 wurde die Schwelle von 0.03 mg/l dann kaum mehr überschritten. Somit hat sich der Weiher in den beiden Jahren ausschliesslich im mesotrophen Bereich bewegt und gilt seither nicht mehr als überdüngt. 2014 und 2015 gab es dann wieder leicht höhere Werte und einen Spitzenwert, welcher klar im eutrophen Bereich liegt. Solche Spitzenwerte können durch vorgängige Regengüsse kombiniert mit Düngegaben in der Landwirtschaft zustande kommen. Da aber die Werte im Zulauf gleichzeitig niedrig sind, könnte auch eine Entgiftungsreaktion des Weihers, welche mit der Ausschwemmung von Phosphaten aus dem Sediment verbunden ist, der Grund sein.

Im Jahr 2016 war der Phosphatgehalt im Zufluss und im Weiher dann wiederum sehr tief und somit klar im mesotrophen Bereich angesiedelt. 2017 stiegen die Werte erneut. In *Abb. 16* erkennt man anhand einer vertieften Analyse der letzten beiden Jahre, welche durch die je acht Messungen der ZHAW möglich wird, dass vor allem der Messwert im Juli ausserordentlich hoch war. Da gemäss *Tab. 6* gleichzeitig ein hoher Wert im Zufluss gemessen wurde, ist dies klar ein Eintrag aus der Landwirtschaft, welcher trotz des Begleitprogramms durch das zusammenfallen ungünstiger Bedingungen von Zeit zu Zeit stattfinden kann.

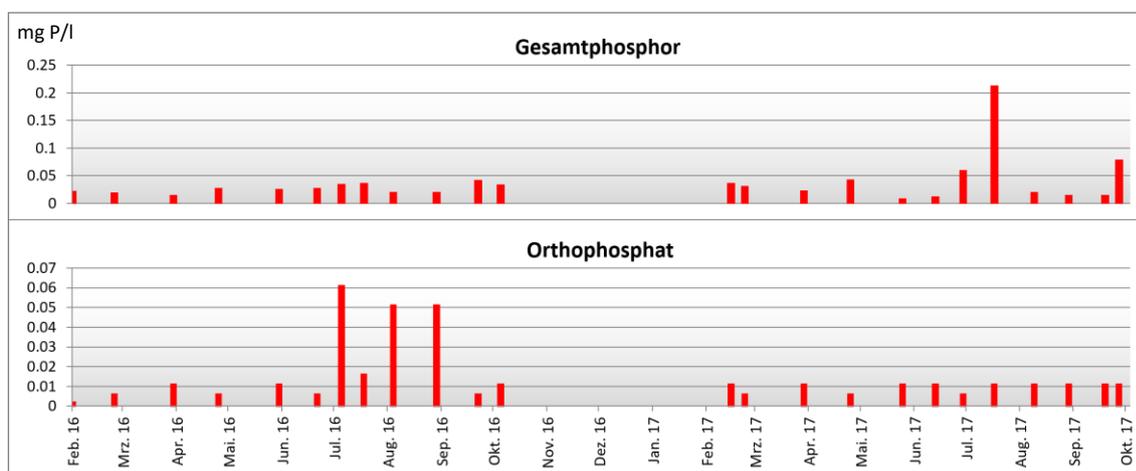


Abb. 16: Gesamtphosphor und Orthophosphat im Bellacher Weihers 2016-2017, Messstelle Nr. 4

Anhand des Beispiels aus dem Jahr 2017 erkennt man den Nutzen, welche die zusätzlichen Messungen der ZHAW bringen. Einerseits täuschen die vier Messungen des Kantons in diesem Jahr einen zu hohen Phosphatgehalt vor, da die übrigen sehr tiefen Messwerte nicht erfasst werden. Andererseits wird auch der sehr hohe Messwert vom Juli nicht erfasst. Der Phosphatgehalt kann im Jahresverlauf um den Faktor 10 schwanken, weshalb nur vier Messungen pro Jahr ein verzerrtes Bild ergeben können. Im Jahr 2016 waren die Schwankungen hingegen geringfügig und die vier Messungen liefern hier ein adäquates Bild.

Die Orthophosphatmessungen zeigen das Gegenteil. Hier wurden 2016 hohe Schwankungen gemessen und im 2017 waren diese Werte sehr konstant. Orthophosphat berücksichtigt nur das im Wasser gelöste Phosphat, während beim Gesamtphosphat auch an Schwebeteilchen angelagertes Phosphat sowie Polyphosphate berücksichtigt werden, welche aber im Bellacher Weiher keine grosse Bedeutung haben sollten. Sie wurden früher in Waschmitteln verwendet. Interessant ist, dass die erhöhten Orthophosphatwerte mit dem Fischsterben 2016 zusammenfallen. Da nur der letzte der hohen Messwerte am 05.09.2016 mit einem erhöhten Wert im Zulauf gemäss *Tab. 5* einhergeht, könnte das Orthophosphat auch aus einer Rücklösung vom Sediment stammen.

Stickstoffverbindungen im Weiher

Die Stickstoffverbindungen sind wichtig für das Wachstum der Algen und Wasserpflanzen, aber normalerweise nicht limitierend. Sie spielen deshalb bei der Überdüngung des Weihers keine so grosse Rolle. Sie treten in Form von Ammonium und Nitrat auf. Das Nitrit ist eine Übergangsform, welche bei der Umwandlung von Ammonium zu Nitrat entsteht und toxisch ist. Es sollte eine Konzentration von 0.1mg/l (Grenzwert für Trinkwasser) nicht überschreiten, kann aber schon bei leicht geringeren Konzentrationen chronisch fischtoxisch wirken.

In *Abb. 17* sind die Verläufe der Stickstoffverbindungen im Bellacher Weiher aufgezeichnet. Das Nitrit verläuft immer unterhalb des Grenzwertes und ist meist recht niedrig, womit es kein Problem darstellt. Die Ammoniumwerte sind im Vergleich zu den Nitratwerten eher tief, da das Ammonium durch die Tätigkeit der aeroben Mikroorganismen schnell oxidiert und somit zu Nitrat umgewandelt wird. Der hohe Ammoniumwert im Sommer 2015 ist vermutlich durch eine ausgiebige Düngungsaktion im Einzugsgebiet mit kurz danach einsetzendem Regen bedingt.

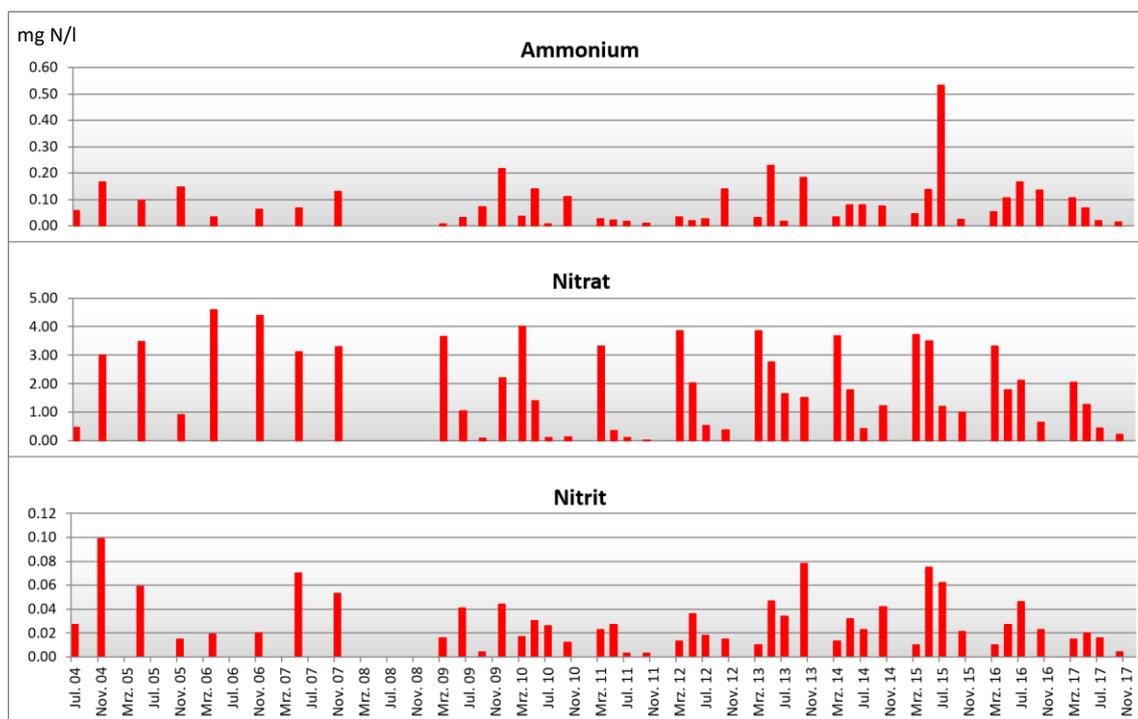


Abb. 17: Stickstoffverbindungen im Bellacher Weiher 2004-2017

In *Abb. 18* ist der Verlauf des Gesamtstickstoffes an der Messstelle Nr. 4 für die Jahre 2016 und 2017 abgebildet, welcher wiederum durch die je acht Messungen der ZHAW ergänzt ist. Wie schon in *Abb. 17* zu erkennen, ist der Stickstoffgehalt des Bellacher Weihers im Jahrverlauf 2017 so tief wie noch nie, seit die Messungen gemacht werden. In *Abb. 18* sieht man deutlich, dass die Werte im Vergleich zum Vorjahr gesunken sind. Dies ist genau das Ziel, welches mit dem Landwirtschaftsprogramm im Einzugsgebiet erreicht werden soll. Es bleibt abzuwarten, wie sich die Werte in Zukunft entwickeln.

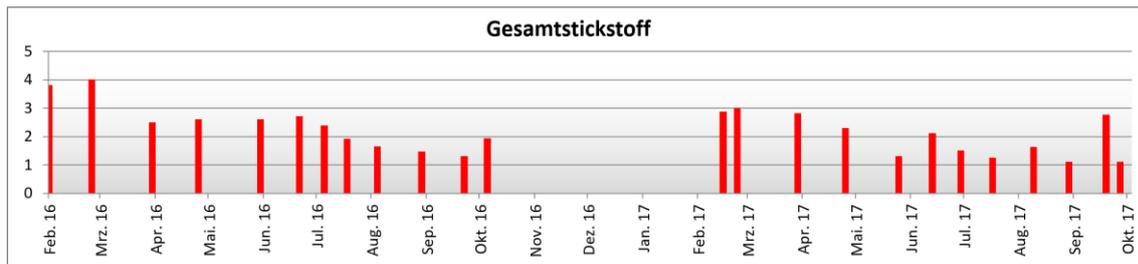


Abb. 18: Gesamtstickstoff im Bellacher Weiher 2016-2017 an der Messstelle Nr. 4

Nährstoffbilanzierung

Die Messungen am Zulauf und Auslauf erlauben eine Bilanzierung der Nährstoffe, also wie viele von den zugeführten Nährstoffen im Weiher bleiben und wie viele ihn über den Abfluss wieder verlassen. Anhand der Differenz dieser Werte lässt sich die Bilanz für die Hauptnährstoffe Phosphor und Stickstoff errechnen. Allerdings ist mit dieser einfachen Berechnungsweise ein methodischer Fehler verbunden, da die Durchflusszeit durch den Weiher unberücksichtigt bleibt. Die Verweilzeit des Wassers im Weiher beträgt rund 14 Tage¹⁴. Für eine genauere Bilanzierung müsste die Messung am Abfluss zeitversetzt um den Betrag der Durchflusszeit gegenüber der Messung am Zufluss erfolgen.

In *Abb. 19* sind die Zuflüsse und Abflüsse an Phosphor einander gegenübergestellt. Es fällt auf, dass die Konzentration des Gesamtphosphors im Ablauf oft höher ist, als im Zulauf. Im Schnitt über 13 Jahre, beträgt die Differenz 0.005 mg/l. Dies ist eine erhebliche Menge Phosphor, welche dem Weiher entzogen wird. Das über den Abfluss ausgespülte zusätzliche Phosphat kann nur aus abgebauter Biomasse oder aus dem Sediment stammen. Diese negative Phosphorbilanz ist ein Indikator dafür, dass der Weiher tatsächlich gesundet und sich von dem durch jahrzehntelange Überdüngung angesammelten Nährstoff befreit.

¹⁴ Die Aufenthaltszeit berechnet sich aus dem Wasservolumen geteilt durch die Abflussmenge: $6'000 \text{ m}^3 : 0.3 \text{ m}^3/\text{min} = 20'000 \text{ min} = 333 \text{ h} = 13.8 \text{ Tage}$. Die Angaben dafür stammen aus HORISBERGER ET AL 2004.

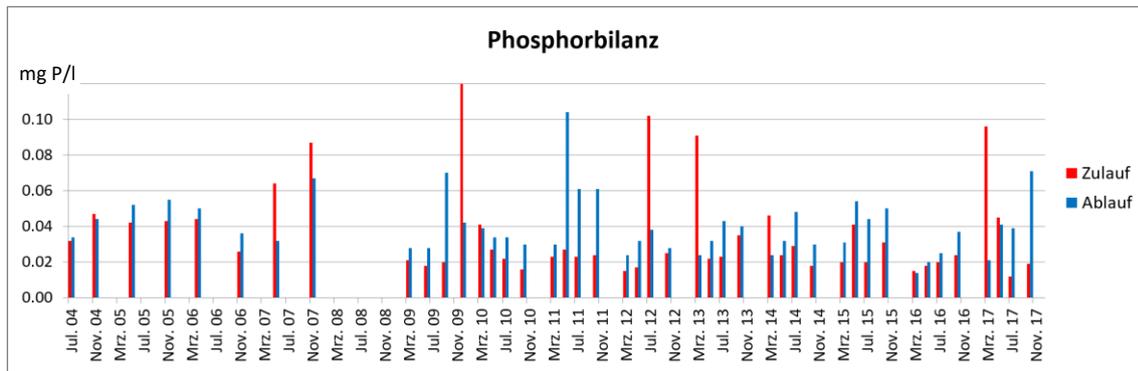


Abb. 19: Phosphorbilanz im Bellacher Weiher 2004-2017

In Abb. 20 sind Zu- und Abflüsse bezüglich Gesamtstickstoff dargestellt. Die Zufuhr an Stickstoff beträgt ziemlich konstant etwa 4-5 mg/l, womit sie ca. einen Faktor 100 über der Phosphorkonzentration liegt. Für den Aufbau von Biomasse wird grob geschätzt 10x mehr Stickstoff als Phosphor benötigt¹⁵. Phosphor ist im Bellacher Weiher also klar der für das Pflanzen- und Algenwachstum limitierende Nährstoff und der Stickstoffüberschuss führt somit nicht zur Überdüngung.

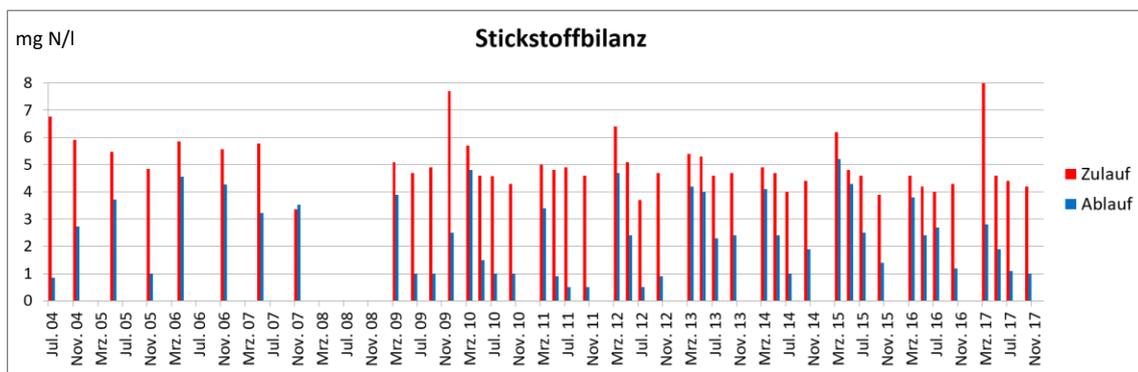


Abb. 20: Stickstoffbilanz im Bellacher Weiher 2004-2017

Im Gegensatz zur Phosphorbilanz sind die Konzentrationen der Stickstoffverbindungen im Ablauf immer geringer als im Zulauf. Die Differenz über die gesamte Messperiode beträgt durchschnittlich 2.58 mg/l. Der zugeführte Stickstoff dient als Nährstoff für das Pflanzen- und Tierwachstum. Entfernt wird er durch Fischen, Schilfschnitt und Denitrifikation. Anders als beim Phosphor kann Stickstoff durch Denitrifikation in die Luft entweichen. Dies erfolgt unter anaeroben Bedingungen, welche trotz des hohen Sauerstoffgehalts im Wasser an bestimmten Stellen lokal auftreten können.

Ein Vergleich der beiden Bilanzen zeigt, dass die Vernachlässigung der Aufenthaltszeit das Gesamtbild nicht wesentlich beeinflusst, da das unterschiedliche Verhalten der beiden Nährstoffe klar zum Ausdruck kommt. Für eine bessere Analyse müsste ausserdem die tatsächliche Durchflusszeit berücksichtigt werden, welche je nach Regenmenge noch variieren kann und deshalb schwierig zu bestimmen ist.

¹⁵ Gemäss Redfield-ratio beträgt das atomare Verhältnis P:N ca. 1:16, was umgerechnet als Masseverhältnis rund 1:8 beträgt.

Leitfähigkeit

In *Abb. 21* ist die Messung der Leitfähigkeit des Zuflusses über die gesamte Messperiode aufgezeichnet. Es ist erkennbar, dass die Leitfähigkeit seit Beginn der Messungen im Jahr 2009 von rund 600 mS/m auf etwa 500-550 mS/m in den Jahren 2016/2017 zurückging. Dies ist eine deutliche Abnahme, welche einen signifikanten Rückgang der Ionenbelastung im Zufluss anzeigt (WOODTLI 2016, *Seite 108*). Diese Abnahme ist als eine Folge der geringeren Belastung mit Mineraldüngern und unverrotteten Hofdüngern im Einzugsgebiet, welche Düngestoffe in Form von wasserlöslichen Ionen (Nährsalzen) freisetzen, und somit die Leitfähigkeit erhöhen anzusehen. Die signifikante Verringerung der Leitfähigkeit im Weiher widerspiegelt ebenfalls den Erfolg des Landwirtschaftsprogramms.

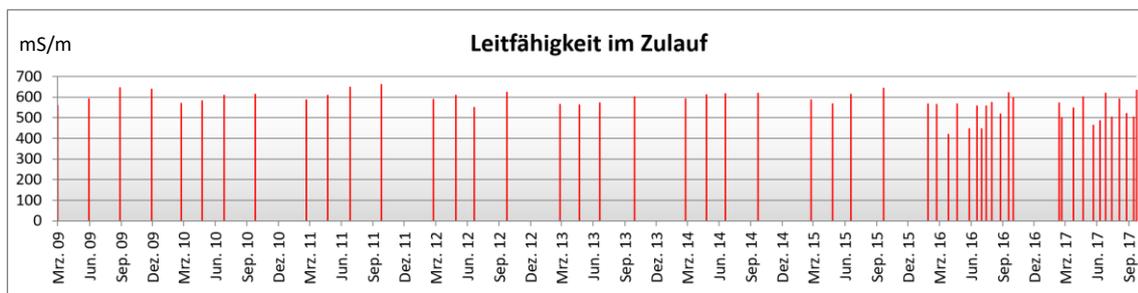


Abb. 21: Leitfähigkeit im Zulauf des Bellacher Weihers 2009-2017

Sichttiefe und Trübung

Die Sichttiefe gibt hauptsächlich Auskunft über die Klarheit des Wassers. Sie wird mit der Secchi-Scheibe gemessen. Entweder wird die tatsächliche Sichttiefe bis zum optischen Verschwinden der Scheibe bestimmt oder die Tiefe, bis die Scheibe auf dem Bodenbewuchs zum Aufliegen kommt. Eine Erhöhung der Sichttiefe kann somit einerseits durch eine bessere Transparenz des Wassers oder andererseits durch einen höheren Wasserspiegel, verminderten Aufwuchs am Weihergrund, beziehungsweise sogar durch eine Rückbildung der Schlammschicht und die damit verbundene Erhöhung der Wassertiefe zustande kommen.

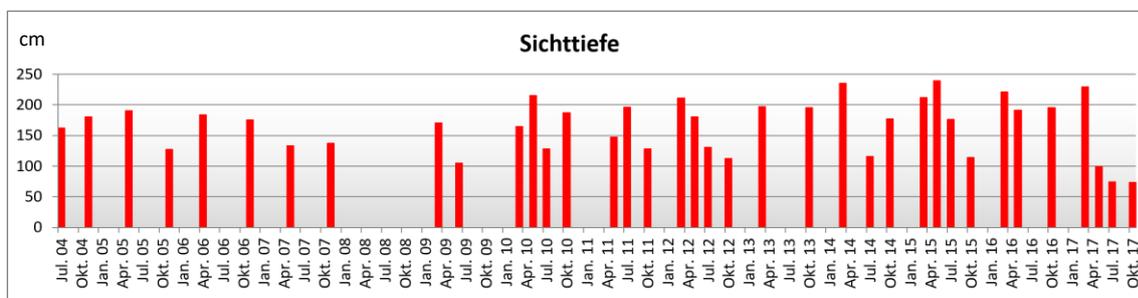


Abb. 22: Entwicklung der Sichttiefe im Bellacher Weiher 2004-2017 (mit Secchi-Scheibe gemessen)

In *Abb. 22* ist der Verlauf der Sichttiefe von 2004-2007 an Messpunkt Nr. 5, der tiefsten Stelle des Weiher dargestellt. Wie zu erwarten, nimmt die Sichttiefe im Jahresverlauf ab. Im Frühjahr ist der Weiher jeweils klar und gegen den Sommer wird das Wasser infolge der Algenproduktion trüber. Im Herbst sollte dann die Sichttiefe wieder zunehmen, was allerdings in der oberen Darstellung nur in den Jahren 2010 und 2014 deutlich ersichtlich ist, da nicht in allen Jahren sämtliche Messwerte bestimmt wurden und die lediglich vier Messwerte den Jahresverlauf nicht immer korrekt wiedergeben.

Einerseits, über den langen Zeitraum von 2004 bis 2017 betrachtet, nimmt die Sichttiefe deutlich zu. Wie bereits erwähnt, kann dies mit einem Anstieg der durchschnittlichen Wasserhöhe, entweder durch einen erhöhten Wasserspiegel oder einer Verringerung der Sedimenthöhe erklärt werden, allerdings nur wenn das Wasser so klar ist, dass man bis zum Grund sehen kann, was in den letzten Jahren regelmässig gegeben war. Andererseits fällt auf, dass die Sichttiefe im Jahr 2017 so tief war, wie noch nie. Dies ist durch eine verringerte Transparenz des Wassers im letzten Jahr bedingt, welche keine Grundsicht mehr zulässt.

Die Farbe des Wassers wechselte zwischen intensivem Grün und bräunlich, was auf die Tätigkeit des Planktons zurückzuführen ist. Die grüne Farbe entsteht durch das Phytoplankton, welches sich aufgrund der Lichteinstrahlung stark vermehrt und dann vom Zooplankton gefressen wird, was eine bräunliche Färbung verursacht. Diese Farbzyklen wechseln sich ab. Weshalb das Plankton im letzten Jahr so viel aktiver war hat vermutlich mehrere Gründe. Das Fehlen einer Wasserbedeckung ist sicherlich ein wichtiger Punkt, da so mehr Licht in den Wasserkörper eindringen kann. Dies war aber auch bereits in den vorangehenden Jahren seit 2014 der Fall. Weitere Gründe können vermehrte Düngeeinträge aus Landwirtschaft beziehungsweise Sediment oder eine erhöhte Wassertemperatur sein.

Die ZHAW hat in den beiden letzten Jahren während den jeweils acht Messungen an Messpunkt Nr. 4 zusätzlich die Trübung¹⁶ bestimmt. Diese Messwerte liefern das Gegenteil zur Sichttiefe und nehmen zu, wenn die Sichttiefe abnimmt. Allerdings wird nur der Wert auf einer bestimmten Tiefe wiedergegeben, während die Sichttiefe die gesamte Wassersäule erfasst. Die in *Abb. 23* dargestellten Messwerte widerspiegeln die bereits bei der Sichttiefe festgestellten Beobachtungen. Die Trübung nimmt gegen den Sommer hin zu und im Herbst, wenn die Wassertemperatur zurückgeht wieder ab. Im Gegensatz zur Sichttiefe wird die Messung nicht durch weitere Faktoren, die mit der Wassertiefe zusammenhängen beeinflusst.

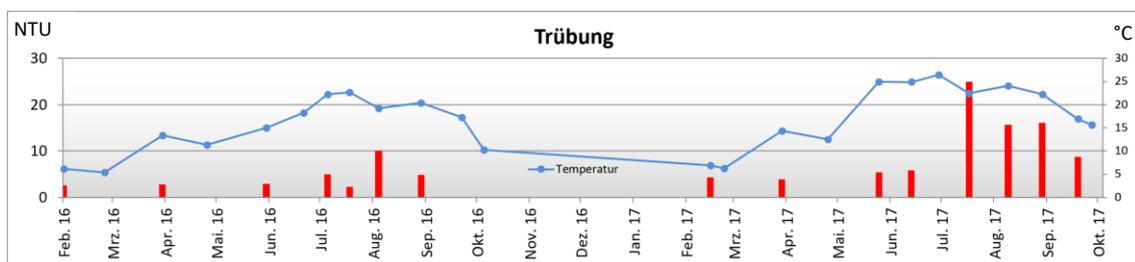


Abb. 23: Trübung im Bellacher Weiher 2016-2017 an Messstelle Nr. 4 mit Temperaturverlauf

¹⁶ Die Trübung wurde von der ZHAW Wädenswil mit dem Hach 2100Q Messgerät anhand einer Wasserprobe aus 50 cm Tiefe gemessen und wird in der Einheit NTU (Nephelometric Turbidity Unit) angegeben.

Auch in *Abb. 23* fällt die gegenüber dem Vorjahr stark erhöhte Trübung von 2017 auf. Das Maximum wird gegen Ende Juli erreicht. Anfang Oktober ist die Trübung immer noch fast so hoch wie im Sommer des Vorjahres. Diese auch optisch während des letzten Jahres deutlich erkennbare Färbung des Wassers wird durch die Aktivität des Planktons verursacht, welche von der Lichteinstrahlung, der Nährstoffversorgung und der Temperatur abhängt.

Die Temperatur war 2017 denn auch deutlich erhöht gegenüber 2016. Die Schwelle von 20°C wurde 2017 bereits Anfang Juni erreicht, 2016 erst Mitte Juli. Gemäss *Tab. 6* fand am 24.07.2017 ein starker Phosphateintrag via den Zufluss statt, worauf gleichzeitig der Trübungsmesswert in die Höhe schoss. Im Vorjahr fand ein vergleichbarer Phosphateintrag erst am 05.09.2016 statt (*Tab. 5*) und hatte deshalb wohl weniger starke Auswirkungen auf den Jahresverlauf.

Es bleibt abzuwarten, wie sich das Plankton in Zukunft entwickelt. Aufgrund der globalen Temperaturentwicklung kann davon ausgegangen werden, dass die durchschnittliche Wassertemperatur eher steigen wird. Die im Jahr 2017 deutlich sichtbaren Wasserverfärbungen können aber auch ein einmaliges Ereignis sein, welches durch den Zusammenfall von Düngebelastungen mit Temperaturerhöhungen oder Entgiftungsreaktionen des Sediments verursacht wurden. Dies ist nicht nur limnologisch von Bedeutung, da die Farbe des Planktons einen grossen Einfluss auf das gegenwärtige nicht mehr hauptsächlich von Wasserpflanzen geprägte optische Erscheinungsbild des Weihers und damit auf seine Wahrnehmung seitens der Bevölkerung hat.

4.3 Entwicklung der Schlammschicht

Zur Bestimmung des Schlammniveaus wird die Wassertiefe erhoben. Dazu wird die Secci-Scheibe heruntergelassen, bis sie am Weihergrund aufliegt. Die normierte Wassertiefe wird anhand einer Markierung beim Bootshaus mit Hilfe des Wasserspiegels bestimmt. Zusätzlich werden Messungen zur Schlammmächtigkeit gemacht, welche durch das Durchstossen der Schlammschicht mit einem dünnen Aluminiumrohr bis zum Aufsetzen auf dem Untergrund ermittelt werden. Letztere Werte liefern aufgrund der Unregelmässigkeit des Untergrunds und der ungenauen Position der Messstellen bisher keine wirklich verwertbaren Daten. Die Auswertung des Schlammniveaus (*Abb. 24*) lässt jedoch deutliche Schlussfolgerungen in Bezug auf die Wirksamkeit der Sanierungsmassnahmen zu:

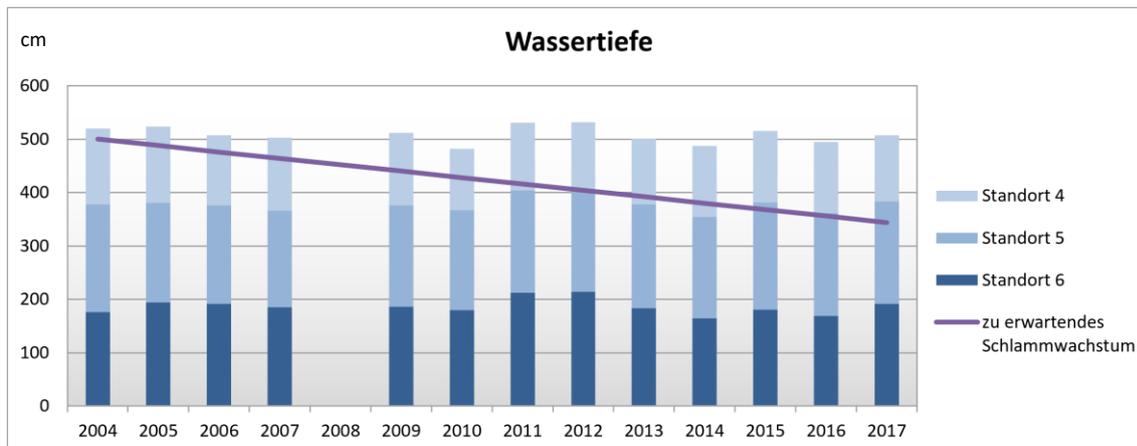


Abb. 24: Verlauf der genormten Wassertiefe im Bellacher Weiher 2004-2017 an 3 Messpunkten kumuliert. Die violette Linie bezeichnet die zu erwartende Abnahme der Wassertiefe durch das vor der Sanierung stattfindende Schlammwachstum von ca. 4 cm jährlich, welches durch die Sanierung gestoppt wurde.

Abb. 24 gibt die kumulierten Messwerte des Schlammniveaus an drei Messpunkten wieder. Die Messungen werden jeweils im Herbst gemacht und wurden mit Ausnahme von 2008 jedes Jahr durchgeführt. Bei der Interpretation der Werte ist zu beachten, dass die Stellen für die Probenahmen nur ungefähr bestimmt werden und Abweichungen von mehreren Metern in Bezug auf die Position möglich sind. Bodenunebenheiten können so zu Schwankungen der Messwerte führen, welche aufgrund von Verlagerungsprozessen des Schlammes jedoch auch normal sind.

Zum Ausgleich dieser Abweichungen wurden die Messwerte von drei Messpunkten kumuliert. Multipliziert man das früher beobachtete Wachstum der Schlammschicht von rund 4 cm mit den 13 Jahren, erhält man eine potenzielle Abnahme der Schlammschicht von ca. 50 cm über den gesamten Zeitraum. In Abb. 24 ist dies in Form einer ins Diagramm eingezeichneten Linie dargestellt, welche aufgrund der kumulierten Darstellung um den Faktor drei stärker geneigt ist. Statt des erwarteten Verlaufs, schwanken die Werte über die gesamte Zeit nur um wenige Zentimeter.

Aufgrund dieser Messungen kann davon ausgegangen werden, dass die Schlammmächtigkeit während der letzten 13 Jahren höchstens im Zentimeterbereich zugenommen hat und damit der Verlandungsprozess im Weiher definitiv zum Erliegen gekommen ist. Dies ist angesichts der Verlandungsproblematik in vergleichbaren Gewässern, wie dem Inkwilersee, der ausgebaggert werden muss oder dem Lobsigensee, welcher unaufhaltsam verlandet, als weitere Sensation zu werten.

Die Schlammschicht des Bellacher Weihers bestand noch bis vor wenigen Jahren aus einer schwarzgrauen, übelriechenden Masse, welche sich nur schwer vom Untergrund ablösen liess und vom Bootsanker nur mittels heftigem Reiben abzuwaschen war. Beim Setzen des Ankers wurde jeweils Methan freigesetzt, welches in Form von grossen Blasen an die Wasseroberfläche gelangte. Dieser Zustand der Schlammschicht wurde leider nie richtig dokumentiert. In den letzten beiden Jahren hat sich die Beschaffenheit der Schlammschicht deutlich verändert. In *Abb. 25* sieht man eine Probe, welche mit der Secci-Scheibe an die Oberfläche geholt wurde und den aktuellen Zustand der Sedimentschicht sichtbar macht.



Abb. 25: Aufnahme einer Probe der Schlammschicht an Standort 5 am 04.10.2017



Abb. 26: Auf der Secci-Scheibe angetrocknete Probe der Schlammschicht am 06.07.2017

In *Abb. 26* ist erkennbar, in welche Richtung sich die Schlammschicht verändert hat. Die im Sonnenlicht während wenigen Minuten auf der Secci-Scheibe ange-trocknete Schlammprobe zeigt eine hellbraune Farbe, welche auf eine fortgeschrit-tene Mineralisierung hindeutet. Die Konsistenz ist feinkörnig und locker. Eine Geruchsbildung ist nicht mehr feststellbar. Die Schlammprobe kann ohne weiteres mit Wasser abgewaschen werden.

Die Methan- oder allenfalls CO₂-Freisetzung erfolgt in Form von kleinen Bläschen und nicht mehr als riesige Gasblasen mit mehreren Zentimetern Durchmesser. Es wäre sehr sinnvoll, den Zustand der Schlammschicht und der daraus entweichenden Gase genauer zu erheben, wofür allerdings eine geeignete Methodik benötigt wird. Bei der Konzeption einer zukünftigen wissenschaftlichen Begleitforschung ist diesem Punkt viel mehr Beachtung zu schenken.

4.4 Biologische Beschreibung und Bewertung

Die biologische Beschreibung des Weihers kann grob in drei Zustände eingeteilt werden, welcher der Weiher während den letzten gut dreissig Jahren nacheinander eingenommen hat. Um diese Zustände zu dokumentieren, wurden verschiedene Anhaltspunkte aus drei Arbeiten herangezogen, welche in *Tab. 7* aufgeführt sind. In den 1980er Jahren war der Bellacher Weiher demnach stark eutroph, mit der Problematik des Schilfsterbens infolge von Schwefelwasserstofftoxizität in der Schlammschicht. Dieser Zustand wurde umfassend in einem Gutachten des dama-ligen Ökobüros AONL beschrieben (IMHOF 1986).

Tab. 7 Relevante Arbeiten für die biologische Beschreibung des Bellacher Weihers

	Autor	Thema	Biologische Beschreibung des Weihers
1986	IMHOF	Gutachten Ökologische Diagnose Sanierungsvorschläge	Stark eutroph, deutlich sichtbarer Algenbefall, Auflösung des Schilfgürtels aufgrund der toxischen Wirkung von Schwefelwasserstoff im Sediment.
2013	MERSMANN	Praktikumsbericht	Wasserkörper stark mit Pflanzen durchwach-sen, Algenbefall, Durchführung von Schilf-schnitten zur Eindämmung der Ausbreitung des Schilfgürtels. Deutlich eutrophes Gewäs-ser mit eingeschränkter Schiffbarkeit.
2016	WOODTLI	Bachelorarbeit ZHAW	Bewuchsfreies, eher mesotrophes Gewässer, Untergrund und Wasseroberfläche ohne Pflanzen, hohe biologische Vielfalt am Wei-hergrund mit 35 Taxa, aber Gastropoden ungenügend vertreten. Problemlos schiffbar.

Zu Beginn der Sanierung ab dem Jahr 2004 war diese Problematik nicht mehr vor-handen, sondern ins Gegenteil verdreht, da der Schilfgürtel übermässig wuchs und somit der Verlandung Vorschub leistete. Das übermässige Schilfwachstum wurde von 2007 bis 2013 mit Unterwasserschilfschnitten bekämpft. Der Wasserkörper war stark mit Wasserpflanzen durchwachsen und das Erscheinungsbild von deutli-chen Algenbefällen gekennzeichnet. Die Schiffbarkeit mit dem Ruderboot war in-folge des Unterwasserbewuchses stark eingeschränkt.

Die umfassendste aber nicht immer fehlerfreie¹⁷ Beschreibung dieses Zustands findet sich in einem Bericht, welcher anlässlich des Naturschutzpraktikums von Christoph Mersmann im Rahmen seines Aufnahmeverfahrens an der ZHAW angefertigt wurde (MERSMANN 2013). Ab 2014 zeigte der Weiher dann ein gänzlich verändertes Erscheinungsbild, da er am Grund und an der Wasseroberfläche komplett vegetationsfrei wurde, ein Zustand welcher ausführlich im Rahmen einer Bachelorarbeit an der ZHAW von Florence Woodtli beschrieben ist (WOODTLI 2016).

Aus dem Jahr 1986 liegen leider keine Bilder vor. Ab Beginn des Pilotprojekts gibt es reichlich Bildmaterial von David Horisberger (HORISBERGER 2004), Adrian Nufer und Christoph Mersmann. Letztere sind grösstenteils auf www.bellacherweiher.ch einsehbar. Nachfolgend sind einige dieser Aufnahmen zur Verdeutlichung des Veränderungsprozesses abgebildet und bedarfsweise mit Kommentaren versehen:

In *Abb. 27 bis 31* sieht man den Weiher in überdüngtem Zustand mit vielen Seerosen (*Nymphaea alba*), welche zur Blütezeit die Weiherbesucher erfreuten. Gleichzeitig war aber fast der gesamte Wasserkörper mit Wasserpflanzen durchwuchert und zeitweise herrschte starker Algenbefall, welcher das Erscheinungsbild lange Zeit prägte und Auslöser für die Durchführung der Sanierungsmassnahmen war.

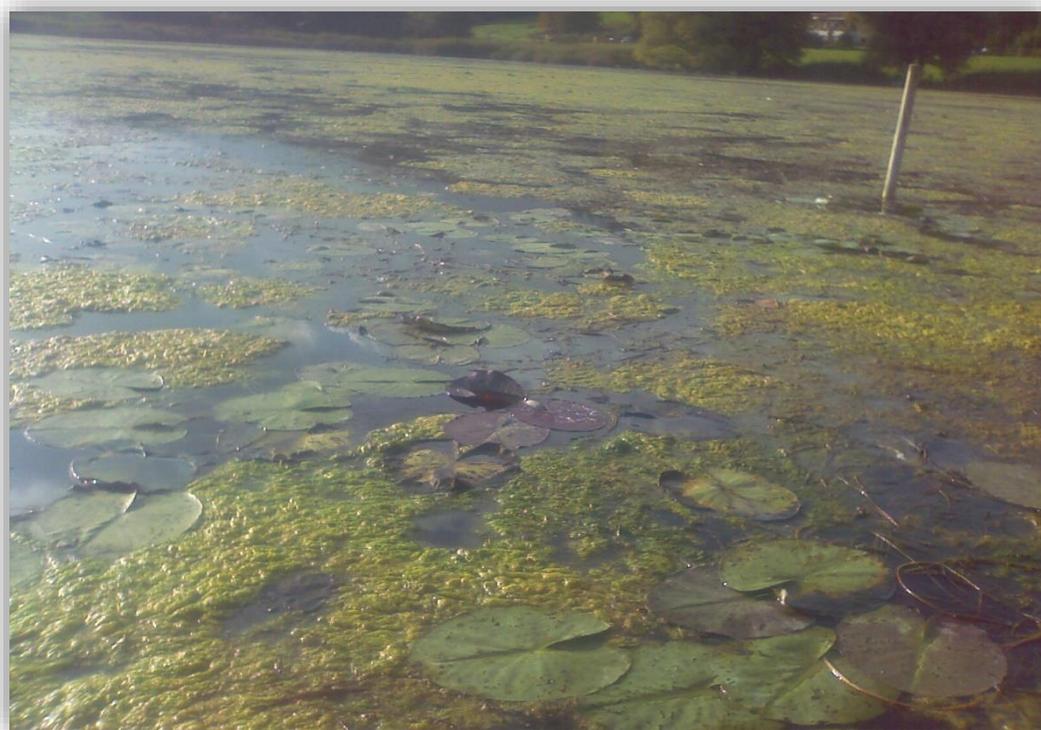


Abb. 27: Aufnahme des überdüngten Bellacher Weihers am 14.10.2008, Weihermitte

¹⁷ Auf Seite 7 wird irrtümlicherweise eine Luftaufnahme des Kantons Solothurn auf den 04.09.2011 datiert, welche am 09.04.2011 aufgenommen wurde und deshalb aufgrund der unterschiedlichen Jahreszeit nicht mit der aufgeführten Luftaufnahme vom 31.10.2009 vergleichbar ist. Die Quelle der Aufnahme von 2009 konnte nicht verifiziert werden, das Datum scheint aber mit der Vegetationsentwicklung übereinzustimmen und so zeigt diese Aufnahme letztmals den überwachsenen Zustand des Weihers in der zweiten Jahreshälfte. Zudem wird auf Seite 13 das im Bellacher Weiher zu dieser Zeit häufig vorkommende Tausendblatt als *Myriophyllum verticillatum* identifiziert, was von der ZHAW anhand der Fotos nicht bestätigt werden konnte.



Abb. 28: Bereich vor dem Bootshaus über die gesamte Wassertiefe von fadenartigen Wasserpflanzen durchwachsen (09.06.2009)

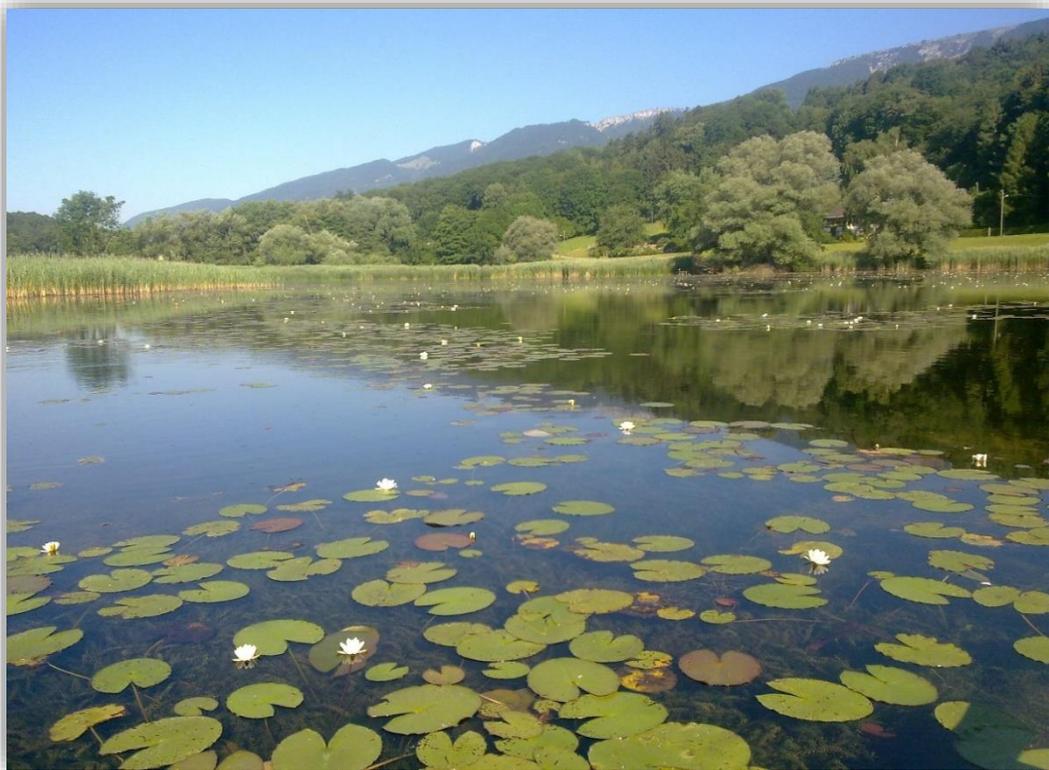


Abb. 29: Ausbreitung der Seerosen am 07.07.2010



Abb. 30: Deutlicher Algenbefall am 25.04.2011



Abb. 31: Algenprobe auf dem Ruder am 03.05.2011

Bis und mit dem Jahr 2013 war der Weiher noch stark bewachsen, wie in der Anhand der Darstellung in *Abb. 32* gut erkannt werden kann. Diese von Christoph Mersmann aufgrund eigener Messungen angefertigte Darstellung zeigt deutlich, dass an vielen Stellen die Unterwasservegetation noch bis zur Wasseroberfläche reichte. Der typische Pflanzenbestand waren zur Hauptsache Seerosen und das Tausendblatt (*Myriophyllum* sp., *Abb. 33/34*).



Abb. 32: Höhe der Unterwasserpflanzen am 20.08.2013 (aus MERSMANN 2013)

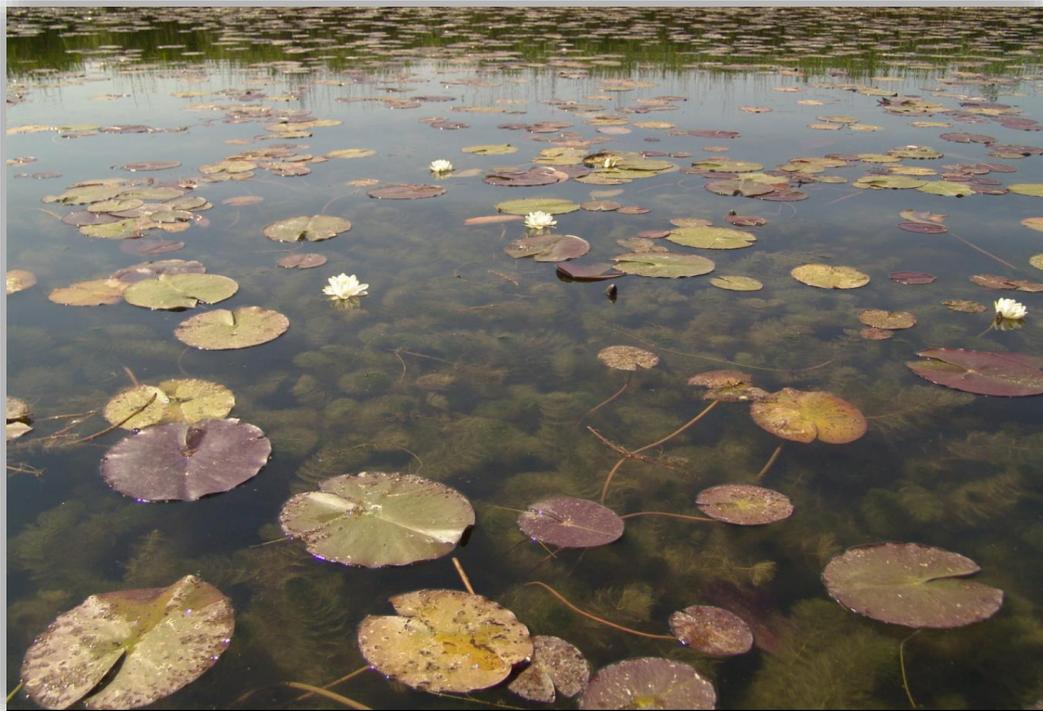


Abb. 33: Seerosen und Tausendblatt, um 2012 (www.bellacherweiher.ch)



Abb. 34: Blütenstände des Tausendblatts, um 2012 (www.bellacherweiher.ch)

An den Stellen, an welchen das Pflanzenwachstum nicht bis zur Oberfläche reichte, herrschte die Wasserpest (*Elodea canadensis*) vor (Abb. 35 und 36).

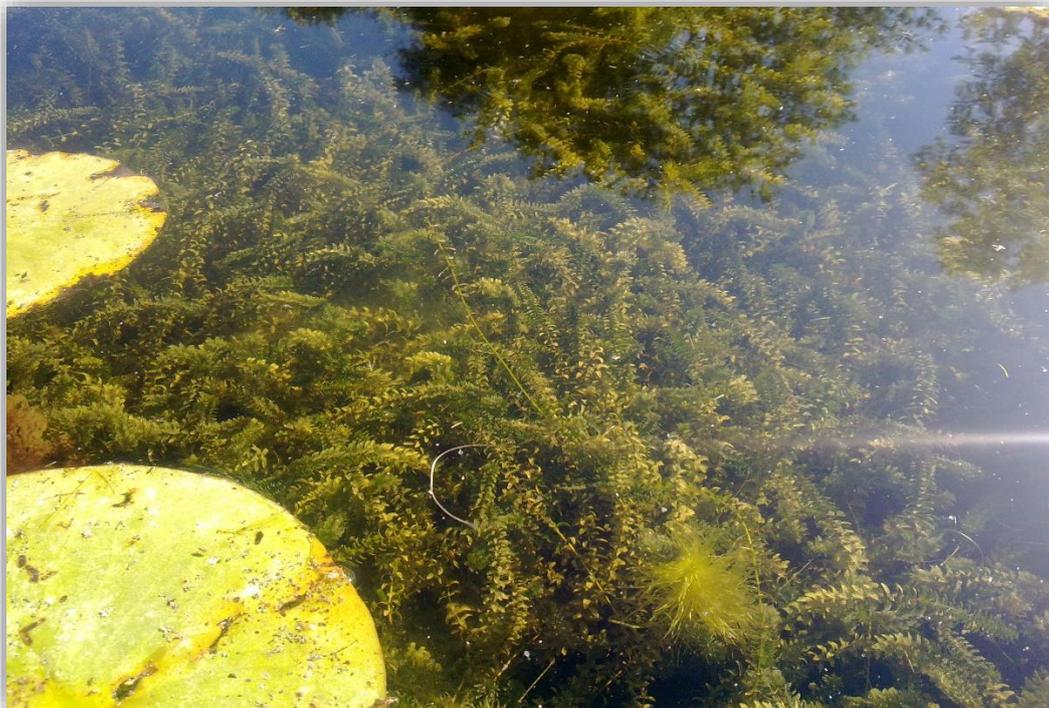


Abb. 35: Wasserpest (*Elodea canadensis*) am 07.07.2010



Abb. 36: Wasserpestbefall um 2012 (www.bellacherweiher.ch)

Das Jahr 2013 war dann das letzte mit einer grossflächigen Wasserbedeckung. In *Abb. 37* ist die in Auflösung begriffene Schwimmblattvegetation ersichtlich. Ab 2014 war der Weiher dann vegetationsfrei, wie in *Abb. 38* sichtbar. 2016 fand eine intensive biologische Beurteilung des Weihers durch die ZHAW Wädenswil statt. Es wurden die biologischen Qualitätsindizes IBEM und CIEPT bestimmt, welche einen Vergleich mit anderen Gewässern erlauben.



Abb. 37: Schwimmblattvegetation in Auflösung begriffen (08.10.2013)

Der Bellacher Weiher wurde gemäss IBEM als gut und nach CIEPT als mässig beurteilt (WOODTLI 2016). Beim IBEM wurden vor allem das Vorkommen der Gastropoden (Schnecken) als unbefriedigend befunden. Die Gastropoden sind auf dem Weihergrund anzutreffen und als Grund für ihr unbefriedigendes Abschneiden wird das Fehlen einer Unterwasservegetation genannt. Es ist davon auszugehen, dass der Weiher eine weitere Entwicklung durchmachen wird, durch welche der Lebensraum am Weihergrund wieder attraktiver für pflanzlichen Bewuchs wird.

Bezüglich der anderen am Seegrund lebenden Organismen (Makrozoobenthos) weist der Bellacher Weiher mit 35 Taxa hingegen deutlich mehr Arten auf, als vergleichbaren Kleinseen im Kanton Bern, wie z.B. der Lobsigen- oder Inkwilersee, welche nur einzelne Arten, wie Fadenwürmer (Nematoden) oder Schlammröhrenwürmer (Tubificidae) aufweisen (WOODTLI 2016, *Seiten 41-43*). Diese weisen auf teilweise anaerobe Bedingungen hin, welche beim Bellacher Weiher offenbar kaum mehr vorkommen.

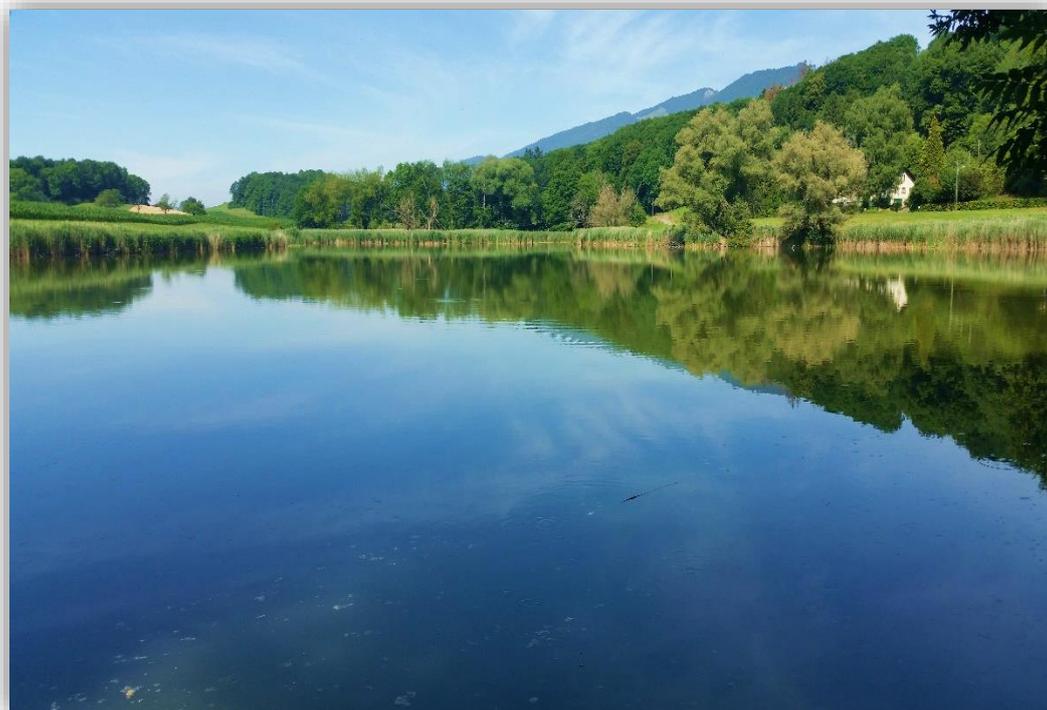


Abb. 38: Aufnahme des vegetationsfreien Bellacher Weihers vom Ostufer am 07.06.2017

4.5 Umfrage bei den Landwirten

Zur Dokumentation und Überwachung der Produktwirkungen bei den Landwirten wird in zweijährigem Abstand eine Umfrage durchgeführt. Die beteiligten Landwirte erhielten jeweils am Ende der Jahre 2010, 2012, 2014 und 2016 einen Fragebogen mit Fragen zum Landwirtschaftsbetrieb und den feststellbaren Produktwirkungen. Die Auswertung dieser Umfragen wurde jeweils in einem Bericht festgehalten (NUFER 2011, 2013, 2015, 2017).

Güllequalität

Die Verbesserung der Güllequalität durch das Aktivieren eines aeroben Kompostprozesses mittels des entsprechenden Plocher-Produkts, ist die am ersten feststellbare Wirkung des Einsatzes auf dem Landwirtschaftsbetrieb. Durch das Anregen eines mikrobiellen Umwandlungsprozesses wird die Gülle fließfähiger, homogener, stinkt weniger und ist besser pflanzenverträglich. Die normalerweise als wasserlösliche Ionen vorliegenden Nährstoffe werden in Form von lebendiger Biomasse gebunden. Dadurch verringert sich das Auswaschungspotenzial und somit die Zufuhr von Nährstoffen in den Weiher über das Oberflächen- und Drainagewasser. Gleichzeitig verbessert sich die langfristige Düngewirkung der Gülle.

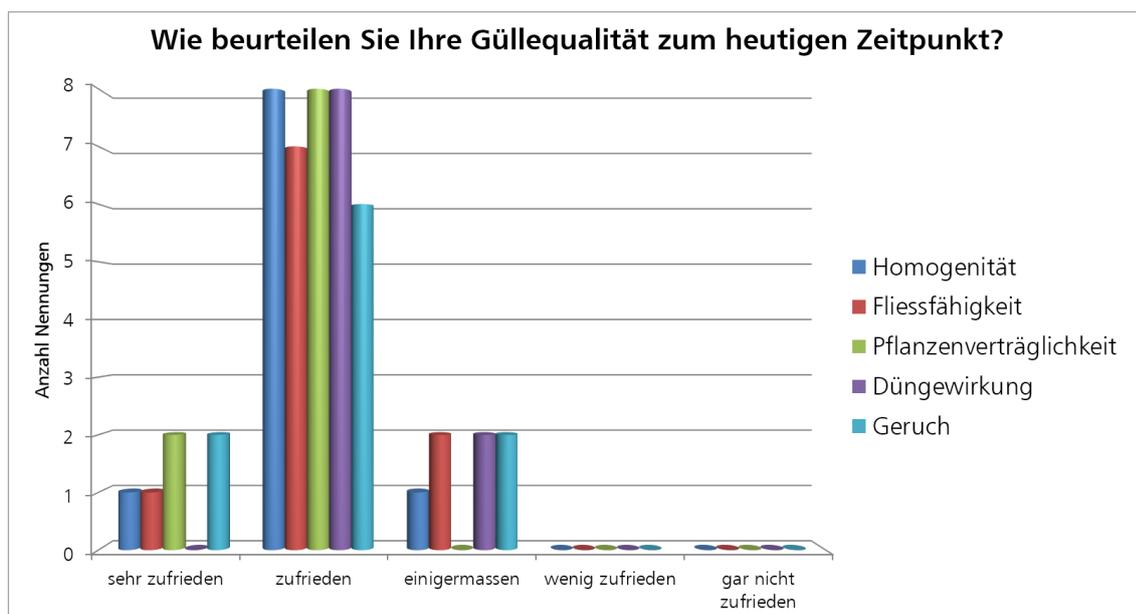


Abb. 39: Selbstbeurteilung der Güllequalität der viehhaltenden Landwirte im Jahr 2016

In Abb. 39 ist die Beurteilung der Güllequalität durch die viehhaltenden Landwirte, welche am Projekt teilnehmen ersichtlich. Die Zufriedenheit der Landwirte bezüglich der verschiedenen Eigenschaften ihrer Gülle ist beachtlich, vor allem hinsichtlich der Pflanzenverträglichkeit. Die Ergebnisse sind über den gesamten Verlauf des Landwirtschaftsprojekts von bisher sieben Jahren stabil und werden von der Düngberatung des Wallierhofs anerkannt.



Abb. 40: Foto der Abdeckung des Güllelochs bei einem am Projekt beteiligten Landwirt

In *Abb. 40* erkennt man die Abdeckung eines Güllelochs auf dem Hof eines Landwirtes, welcher beim Projekt mitmacht. Durch die Schlitze hindurch kann man die vielen Bläschen sehen, welche sich durch die aerobe Aufbereitung der Gülle gebildet haben. In *Abb. 41* sieht man eine Detailaufnahme der Gülleoberfläche, welche durch einen der Schlitze hindurch fotografiert wurde. Die Bläschen sind deutlich erkennbar. Diese Gülle ist geruchslos, bleibt homogen ohne aufzurühren und bildet keine Sink- oder Schwimmschichten.



Abb. 41: Detailaufnahme durch einen Schlitz der Abdeckung des Güllelochs. Die Bläschen, welche durch die Güllebehandlung entstehen, sind deutlich sichtbar.

Bodenvitalität

Neben den Hofdüngern werden die Ackerflächen und das Grünland zweimal jährlich mit den entsprechenden Plocher-Produkten behandelt. In Kombination mit den aufbereiteten Hofdüngern sorgt dies für eine Aktivierung des Bodenlebens, welche die Nährstoffverfügbarkeit für die Kulturpflanzen erhöhen und gleichzeitig den Nährstoffverlust durch Oberflächenabfluss und Drainage verringern soll. Durch das Schaffen aerober Bedingungen sollen auch die Denitrifikationsverluste beim Stickstoff, und damit die Belastung der Atmosphäre durch Lachgas vermindert werden. Eine Verringerung der Ammoniakemissionen wird ebenfalls angestrebt (vgl. Kap. 5.4: Weitere Beiträge zum Umweltschutz).

Die Zeichen erhöhter Bodenvitalität, wie mehr Regenwürmer, erhöhte Krümeligkeit des Bodens und bessere Befahrbarkeit bei Nässe wurden wiederholt mittels Fragebogen abgefragt. Sämtliche Punkte konnten von einer Mehrheit der Landwirte bestätigt werden (NUFER 2015). Im letzten Fragebogen von 2016 wurde nur nach Veränderungen während der letzten zwei Jahre gefragt, da ein Vergleich mit dem Ausgangszustand vor sieben Jahren aus dem Gedächtnis heraus wohl nicht mehr möglich ist.

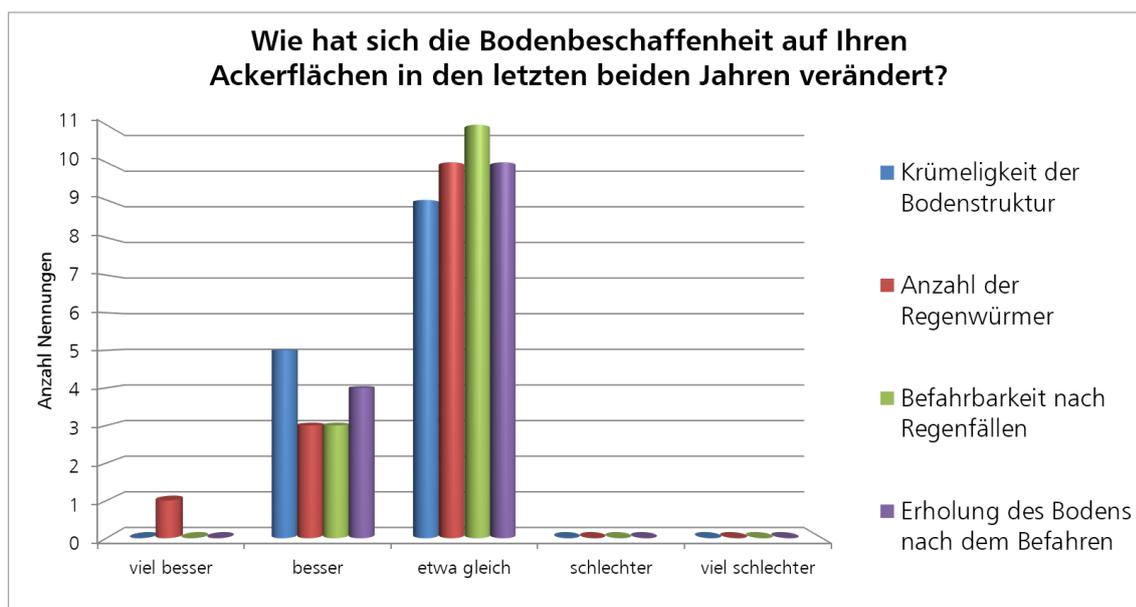


Abb. 42: Antworten der Landwirte bezüglich einer Veränderung von Bodeneigenschaften während der letzten beiden Jahren

Gemäss Abb. 42 werden die abgefragten Bodeneigenschaften von etwa zwei Drittel der Landwirte als gegenüber dem Zustand von 2014 als unverändert beschrieben. Besonders bezüglich der Krümeligkeit der Bodenstruktur findet aber ein gutes Drittel der Landwirte, dass es in den letzten beiden Jahren weitere Verbesserungen gab. Diese sehr subjektiven Einschätzungen müssen unbedingt durch Exaktversuche belegt werden. Ein solcher wird zurzeit an der HAFL in Zollikofen durchgeführt.

Eine bessere Bodenvitalität sollte auch zu höheren Erträgen führen, da der eingesetzte Dünger von den Pflanzen vermehrt aufgenommen und weniger ausgewaschen wird. Ersteres ist zwar für die Weihersanierung unbedeutend, für die Landwirte jedoch sehr motivierend. Grundsätzlich ist hier eine win-win Situation gegeben, bei der Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz im Einklang sind. In *Abb. 43* ist die Beurteilung der Landwirte bezüglich des Grünlandertrages wiedergegeben. Beim Grünlandertrag fielen die Aussagen im Vergleich zu den Ackerkulturen wesentlich deutlicher aus, da diese viel unempfindlicher auf jährliche Schwankungen des Wetters oder der Bewirtschaftung reagieren.

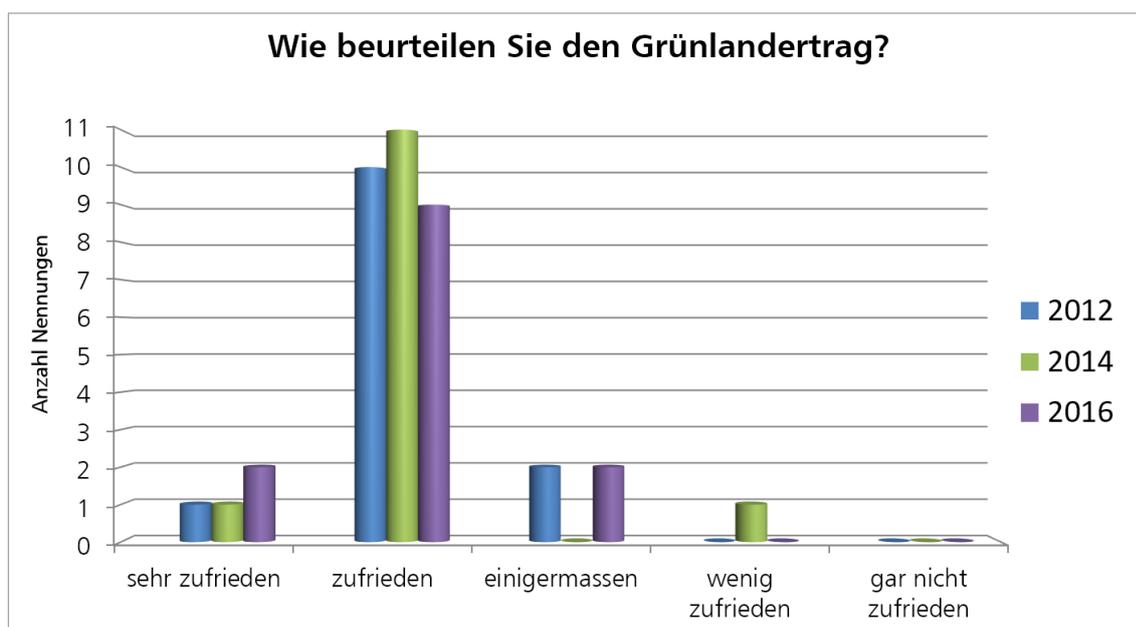


Abb. 43: Antworten der Landwirte bezüglich der Zufriedenheit des Grünlandertrags

Eine grosse Mehrheit der Landwirte war mit dem Grünlandertrag während den gesamten sieben Jahren zufrieden (*Abb. 43*). Spannender wird es, wenn man nach Verbesserungen gegenüber dem Vorzustand fragt. In *Abb. 44* erkennt man, dass fast die Hälfte der Landwirte den Grünlandertrag alle zwei Jahre wieder als verbessert angibt. Auch diese Feststellung muss durch eine statistisch abgesicherte, quantitative Erhebung mit Auswertung über mehrere Jahre gesichert werden. Die Resultate des HAFL-Versuchs, welche 2020 publiziert werden, sollten dies liefern.

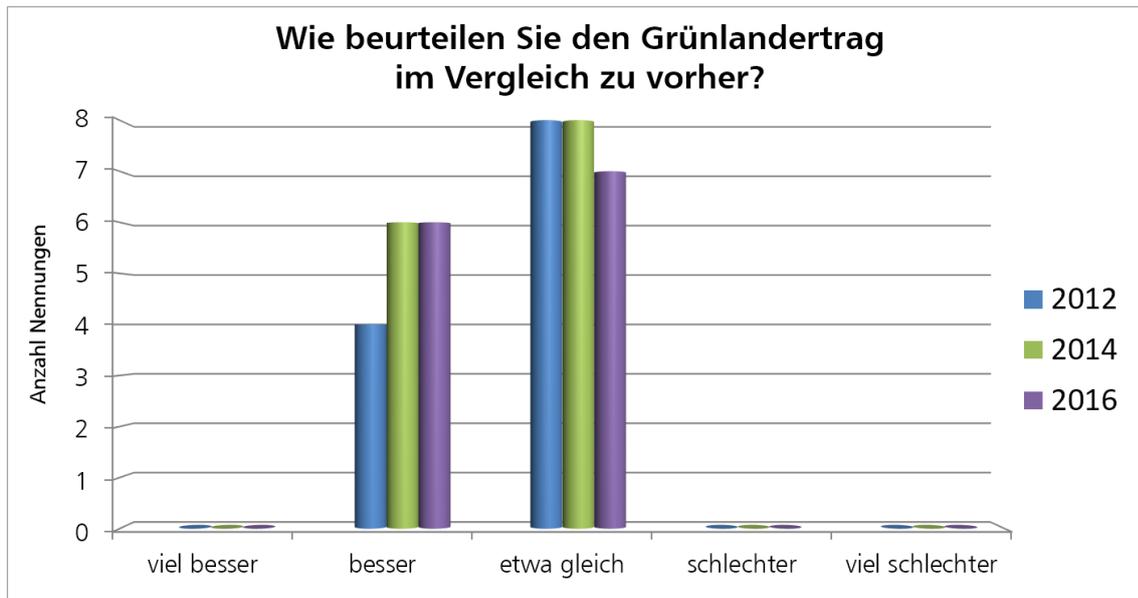


Abb. 44: Antworten der Landwirte bezüglich der Verbesserung des Grünlandertrags gegenüber der letzten Umfrage im Abstand von jeweils zwei Jahren

Produktwirkung

Schliesslich wurden die Landwirte direkt bezüglich der Zufriedenheit mit den Plocher-Produkten auf ihrem Betrieb befragt. In Abb. 45 sind die Antworten dazu seit Beginn des Landwirtschaftsprojekts im Jahre 2010 dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Zufriedenheit stetig stieg, während die Anzahl der nicht entschiedenen abnahm. Ein klares «Nein» gab es nur von einem einzigen Landwirt, welcher gegenüber den Produkten skeptisch eingestellt ist, obschon er sie im Stall erfolgreich einsetzt.



Abb. 45: Zufriedenheit mit der Produktwirkung gemäss Aussagen der Landwirte

4.6 Öffentlichkeitsarbeit und Vernetzung

Der Öffentlichkeitsarbeit kommt bei der Durchführung eines Pilotprojekts mit dem Umfang der nachhaltigen Sanierung des Bellacher Weiher eine grosse Bedeutung zu. Einerseits hat die lokale Bevölkerung Anrecht auf Informationen zum Projektfortschritt und andererseits besteht ein grosses öffentliches und wissenschaftliches Interesse an der Entwicklung neuer Sanierungsmethoden für belastete Gewässer, welches durch Informationen aus erster Hand gestillt werden sollte. Zudem muss ein entsprechendes Pilotprojekt auch in den Kontakt zu weiteren ökologischen Bestrebungen in der Region herstellen und pflegen, in diesem Fall mit den lokalen Vernetzungsaktivitäten. Nachfolgend sind die verschiedenen Standbeine der Öffentlichkeitsarbeit aufgeführt.

Internetauftritt

Die Familie Stöckli und der Verein Umwelt + Bildung betreiben die Internetplattform www.bellacherweiher.ch. Auf dieser Seite sind alle Informationen zum Sanierungsprojekt zugänglich. Die Berichte der verschiedenen Autoren können heruntergeladen werden und eine Fotogalerie steht zur Verfügung. Der Internetauftritt wird laufend gepflegt und erweitert. Weitere Informationen zum Projekt finden sich auf der Homepage von NUFERscience, www.nuferscience.ch und der gemeinnützigen GmbH von Roland Plocher, www.rp-ggmbh.de.

Pressearbeit

Die Pressearbeit beschränkte sich bisher auf die Solothurner Zeitung, welche zur az Nordwestschweiz gehört. Am 05.06.2010 erschien ein Artikel mit dem Titel „Pilotprojekt soll den Weiher retten“ in der damaligen Mittellandzeitung. Der nächste Artikel titelte am 08.05.2013 „Im Weiher ist die Wirkung sichtbar“. Anlässlich der jährlichen Informationsveranstaltung erscheint am 11.03.2017 ein weiterer Artikel über die Erfolge des Sanierungsprojekts. Die Reporter der Solothurner Zeitung werden von der Gemeinde mit Informationen versorgt und ebenfalls zur Informationsveranstaltung eingeladen. Der letzte Artikel, welcher am 05.02.2018 erschien, ist in *Abb. 46* wiedergegeben:

Vier Jahre blanke Wasserfläche

Bellach Weiher-Sanierungskonzept verzeichnet deutlichen Erfolg

VON GUNDI KLEMM

Teiche und Weiher in freier Natur vermitteln Naturfreunden beglückende Erlebnisse. Der 33 000 Quadratmeter grosse, seit 1945 unter Naturschutz stehende Bellacher Weiher bietet ein gern besuchtes Erholungsgebiet. Mit einem sanften Sanierungskonzept, das als Pilotprojekt die umgebende Landwirtschaft beinhaltet und von der Gemeinde Bellach seit 2008 ideell und finanziell mit rund 200 000 Franken unterstützt wird, wurde die durch Unterwasserurwald und Algenwachstum zunehmende Verlandungsgefahr gebannt. Begleitet und dokumentiert werden alle Massnahmen von Umweltwissenschaftler Adrian Nufer (Nufer-science, Zürich). Letzte Woche lud die Gemeinde zu einer Informationsveranstaltung ein, die sich dem augenblicklichen Zustand des Bellacher Weihers widmete.

Der Weiher gehört Thomas und Laura Stöckli, die seit Jahren mit Fachkenntnis und ehrenamtlichen Einsätzen den Weiher als vielfältigen Lebensraum erhalten wollen. Seit dem Frühherbst 2014 zeigt der Weiher inzwischen ganzjährig eine blanke Wasserfläche. Früher allerdings entfernte das Ehepaar Stöckli mit Helfern in grossem Arbeitsaufwand den Bewuchs im See, der überall in Gewässern mit wenig Durchfluss durch hohen Nährstoffgehalt verursacht wird. «Unseren Weiher soll es noch in hundert Jahren geben», betonte Thomas Stöckli im Rahmen der Versammlung, die zahlreiche Erfolge in der Wasserbehandlung anerkannte. Als Referent stellte Nufer vielgestaltige Analysen von Sichttiefe, erfreulicher Sauerstoffanreicherung sowie gut beurteilten Wasserproben aus dem Bellacher Weiher und deren wissenschaftliche Bewertung in den Mittelpunkt.

Der Bellacher Weiher wurde im 15. Jahrhundert als künstlicher Fischteich angelegt und steht seit 1945 unter Schutz.

MICHEL LÖTHI



Erfolg ist sicht- und messbar

Der als Fischteich im 15. Jahrhundert künstlich angelegte Bellacher Weiher litt immer schon - und nicht erst seit der Intensivierung der Landwirtschaft - unter Überwachsung der Wasserfläche und unter üppiger Vegetation in der Tiefe. Ein Luftbild aus dem Jahr 1929 bestätigt dies und führte wohl, wie sich Versammlungsbeteiligte erinnern, früher zum gelegentlichen Ablassen des Weihers und entsprechenden Reinigungsaktionen.

Zur sanften Sanierung des Weihers haben sich die Verantwortlichen auf den Einsatz von Plocher-Produkten verständigt, die biologische Behandlungen von Tiergülle, Mistestreue und Humus

anbieten. Für das Pilotprojekt konnten alle Landwirte im 3.8 Quadratkilometer umfassenden Einzugsgebiet rund um den Bellacher Weiher gewonnen werden. «Und dies ohne Bewirtschaftungsbeschränkung», unterstrich Nufer. Ausgebracht auf die Weiheroberfläche wurden zudem alle drei Wochen 3 Gramm pro Quadratmeter eines Plocher-Erzeugnisses auf Quarmehl-Basis. Seither haben sich der Nährstoffgehalt im Weiher und insbesondere die Phosphatwerte stabilisiert. Auch wenn ein «Ausreisser» im September 2017 - als Folge von auswaschenden Regentagen, wie Stimmen im Plenum vermuteten - plötzlich wieder einen starken, aber vorübergehenden Anstieg zeigte,

der zu einem kleinen Fischsterben führte.

«Wir können insgesamt aber, anders als bei vergleichbaren Mittellandseen, von einem wirklichen Erfolg sprechen», bekräftigte der Referent die Fortsetzung des Pilotprojektes bis 2020.

Allen Beteiligten gemeinsam ist die Hoffnung, dass mit der Zeit eine gesunde Struktur entsteht mit weiterer Ansiedlung von Lebewesen und Pflanzen im Wasser und an seinen Rändern. «Eine herausragende Rolle für den Endzustand mit nachhaltig biologischem Gleichgewicht in unserem Weiher spielt die Natur, auch wenn sie sich jetzt gelegentlich mit wasserfärbendem Plankton bemerkbar macht», so das Fazit des Referenten.

Abb. 46: Artikel in der Solothurner Zeitung vom 05.02.2018

Mit dem Erfolg des Sanierungskonzepts ist eine Ausdehnung der Pressearbeit auf weitere Schweizerische Tageszeitungen, Sonntagszeitungen, Magazine und andere Medien zur stärkeren Bekanntmachung der Methode sinnvoll. Spannend wird es insbesondere, wenn erste Ergebnisse des Versuchs an der HAFL vorliegen, was ab Anfang 2019 der Fall sein wird. Entsprechende Massnahmen werden in *Kapitel 6* vorgeschlagen.

Dokumentation

Zur Dokumentation des Pilotprojekts ist eine umfassende Berichterstattung notwendig, damit die Erkenntnisse aus dem Projekt zu dessen Monitoring, Beurteilung und zur weiteren Entwicklung von Sanierungsmethoden für Kleingewässer genutzt werden können. Folgende wissenschaftlichen Berichte zum Projekt sind zurzeit verfügbar oder geplant:

- Bachelorarbeit an der ZHAW von Florence Woodtli (WOODTLI 2016)
- Zwischenbericht der HAFL von Claudia Degen (DEGEN 2016)
- Abschlussbericht der ZHAW von Christa Gufler (GUFLER ET AL 2017)
- Abschlussbericht der HAFL zur Untersuchung des Bodenaktivators (geplant auf Ende 2020)

Die Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse aus den Messungen des Kantons Solothurn und den Fachhochschulen obliegt NUFERscience, da hier alle Informationen zum Projekt zusammenkommen. Der letzte Zwischenbericht stammt aus dem Jahr 2015 und wird nun durch diese aktualisierte, korrigierte und deutlich erweiterte Version von 2018 ersetzt. Der vorliegende Zwischenbericht bildet auch die Grundlage für den Abschlussbericht, welcher erst 2021 fertiggestellt werden kann, da die Ergebnisse des Versuchs an der ZHAW darin berücksichtigt werden sollen.

Information der Kantonalen Gewässerschutzfachstellen

Da weitere Kleingewässer, für welche sich diese Sanierungsmethode eignen würde, normalerweise nicht in Privatbesitz sind, müssen die zuständigen Stellen der Kantone zwecks einer weiteren Verbreitung der Methode informiert werden. Das Amt für Umwelt des Kantons Solothurn (AFU) ist durch die Beteiligung an den Messungen über die Erfolge des Projekts informiert und wird von NUFERscience regelmässig mit Informationen versorgt. Weiter sind die zurzeit die Fachstellen der Kantone Bern, Luzern und Thurgau über das Projekt informiert. Weitere Kantone werden nun im Rahmen der Verbreitung dieses Berichts informiert.

Vernetzungsmassnahmen

Da der Bellacher Weiher ein zentrales, naturschützerisch wertvolles Landschaftselement darstellt, muss er durch Vernetzungsmassnahmen in die Bestrebungen des regionalen Artenschutzes eingebunden werden. Die Förderung der ökologischen Vernetzung in der Umgebung des Weihers ist für die Weihersanierung ein wichtiges Anliegen.

Die Planung und Umsetzung dieser Vernetzungsmassnahmen im Einzugsgebiet des Bellacher Weihers obliegt den beiden Regionalplanungsgruppen repla espace-SOLOTHURN und Repla Grenchen-Büren. Im Rahmen des Pilotprojekts «Nachhaltige Sanierung des Bellacher Weihers» wird ein Informationsaustausch mit den beiden Regionalplanungsgruppen gepflegt, um die Vernetzungsaktivitäten mit den Bestrebungen der Weihersanierung zu koordinieren.

5 Diskussion des Projekts

Mit dem Pilotprojekt zur nachhaltigen Sanierung des Bellacher Weihers sollen anhand eines Praxisversuchs Erfahrungen zur Anwendung dieser neuen, vielversprechenden Methode gewonnen werden, welche das gesamte Einzugsgebiet miteinbezieht und die produktive Landwirtschaft ohne Bewirtschaftungseinschränkungen einschliesst. Zur Diskussion stehen einerseits der Erfolg des Projekts, gemessen an naturschützerischen Zielvorstellungen, und andererseits die Übertragbarkeit der Methodik auf weitere Sanierungsobjekte mit ähnlich gelagerter Problematik. Schliesslich steht auch ein möglicher Beitrag zu globalen Umweltschutzziele zur Debatte.

5.1 Erwägungen zum Sanierungsziel

Aus der Sicht des Naturschutzes sollen der Weiher und seine Umgebung einer möglichst grossen Anzahl an Tier- und Pflanzenarten dauerhaften, natürlichen Lebensraum bieten. Diesem Ziel widerspricht ein Stück weit die Tatsache, dass Kleingewässer wie der Bellacher Weiher natürlicherweise verlanden und sukzessive in ein Flachmoor übergehen, welche ebenfalls selten sind und vielen bedrohten Arten Unterschlupf gewähren. Dieser Prozess kann durch menschliche Einflüsse stark beschleunigt oder durch periodische Entnahme von Sediment ganz gestoppt werden. Je grösser der Nährstoffeintrag, desto schneller erfolgt dieser Verlandungsprozess.

Aus der Sicht des Landschaftsschutzes ist die menschliche Nutzung miteingeschlossen. Für den Schutz des Landschaftsbildes und des Naherholungsraumes ist die Erhaltung des Weihers, welcher schon im Jahre 1456 durch Menschenhand aufgestaut wurde zentral. Auch aus naturschützerischer Sicht kann die teilweise widernatürliche langfristige Erhaltung des Weihers begründet werden, da Kleingewässer (künstliche wie natürliche) selten geworden sind. Durch die infolge von Gewässerkorrekturen ausbleibende Gestaltungskraft von Hochwassern muss die fehlende Landschaftsdynamik ein Stück weit durch künstliche Eingriffe ersetzt werden.

Zudem kann durch das Erhalten einer kompletten Sukzessionsreihe von der offenen Wasserfläche über Schwimmblattbereich, Schilfgürtel, Seggenried bis zur Verbuschungszone der grösste Artenreichtum geschaffen werden, da so am meisten verschiedenartige Habitats auf kleinem Raum vorhanden sind. Die Lebewesen der Flachmoorzone finden so ebenfalls Unterschlupf. Zusammenfassend gilt es, den Verlandungsprozess nach Kräften aufzuhalten, um den Weiher in seiner heutigen Form zu erhalten, bzw. sogar eine Aufwertung seines Lebensraumes zu erreichen. Durch den Einsatz des Plocher-Systems erfolgt dies auf eine sanfte und nachhaltige Weise.

5.2 Anmerkungen zum «Natürlichen Zustand»

Nachdem durch die Luftbildanalyse offensichtlich wurde, dass der Weiher mindestens während der letzten 80 Jahre in der zweiten Jahreshälfte jeweils mit Wasserpflanzen bedeckt war und dies seit Greifen der Sanierungsmassnahmen nicht mehr der Fall ist, stellt sich die Frage nach dem natürlichen Zustand des Weihers. Die Beantwortung dieser Frage ist für die Ausrichtung von Naturschutzmassnahmen von zentraler Bedeutung, da man ja einen möglichst natürlichen Zustand erreichen und schützen möchte.

Beim Bellacher Weiher ist diese Frage von Anfang an schwierig zu beantworten, da das Gewässer im 15. Jahrhundert künstlich angelegt wurde. Vergleichbare Gewässer natürlichen Ursprungs, wie der Lobsigensee oder der Inkwilersee haben jedoch die gleiche Überdüngungsproblematik, welche sich in erster Linie dadurch zeigt, dass die Gewässer heutzutage mit grosser Geschwindigkeit verlanden und ohne Gegenmassnahmen innerhalb weniger Jahrzehnte von der Landkarte verschwinden würden.

Laut Berichten der anliegenden Bauern gab es dieses Problem beim Bellacher Weiher bereits früher, wenn auch in vermutlich viel geringerem Ausmass. Damals habe man den Weiher abgelassen und den Schlamm manuell entfernt. Da der Weiher durch seine Lage im schweizerischen Mittelland und die Beschaffenheit seines Einzugsgebiets als natürlicherweise eutroph eingeschätzt wird (WOODTLI 2016), könnte dies tatsächlich notwendig gewesen sein. In der Praxis ist es aber eher schwierig vorstellbar, den durch einen Erdwall aufgestauten Weiher regelmässig abzulassen.

Trotz der natürlichen Produktivität des Gewässers drängten sich Sanierungsmassnahmen auf, da die Verlandung mit bis zu 4 cm Tiefenverlust pro Jahr sehr schnell erfolgte und der Weiher in der zweiten Jahreshälfte aufgrund der von Algen überzogenen Wasseroberfläche sehr unansehnlich war (*Abb. 47*). Zudem war auch die für das Fischen wichtige Schiffbarkeit mit dem Ruderboot beeinträchtigt, da der gesamte Unterwasserbereich mit dicht wachsenden Wasserpflanzen aufgefüllt war.

Um den Weiher nicht innerhalb weniger Jahrzehnte vollständig zu verlieren und ihn der Bevölkerung in einem einigermaßen ansehnlichen Zustand zu präsentieren, hat die Familie Stöckli aufwändige Unterhaltsarbeiten geleistet und den Weiher jährlich in ehrenamtlicher Tätigkeit manuell von der übermässigen Verkrautung befreit. Mit dem durchschlagenden Erfolg der Sanierungsmassnahmen ist dies nicht mehr nötig und eine längerfristige Existenz des Weihers wurde so gesichert.

Einige Anrainer und Besucher stellen sich jetzt die Frage, ob mit diesen Massnahmen nicht über das Ziel hinausgeschossen wurde, da der Weiher deutlich anders aussieht als noch vor wenigen Jahren (*Abb. 48*). Insbesondere wurde das Fehlen der zur Blütezeit sehr hübsch anzusehenden Seerosen bemängelt. Diese können vermutlich aufgrund der Kompostierungsprozesse in der Sedimentschicht zurzeit nicht wurzeln und sind deshalb verschwunden.

Das Fehlen eines pflanzlichen Bewuchses auf der Sedimentschicht wird auch in der Bachelorarbeit von Florence Woodtli (WOODTLI 2016) bemängelt. Eine bessere Bewertung der Gastropoden bei der IBEM-Methode und eine höhere Gesamtbewertung bei der CIEPT-Methode wären ansonsten voraussichtlich möglich. Es ist zu vermuten, dass nach Abschluss der Umsetzungsprozesse im Sediment wieder Wurzelraum für Wasserpflanzen entsteht und damit das Gewässer schlussendlich eine grösstmögliche Natürlichkeit und Artenvielfalt erreichen kann.



Abb. 47: Detailaufnahme des überdüngten Bellacher Weihers am 14.10.2008



Abb. 48: Weiher mit vollständig vegetationsfreier Wasseroberfläche am 02.10.2014

5.3 Diskussion des Sanierungserfolgs

Wie bereits anhand der vorherigen Ausführungen erkennbar, wird das Sanierungsprojekt in diesem Zwischenbericht als sehr erfolgreich beurteilt und die erzielten Ergebnisse teilweise sogar als sensationell bezeichnet. Dies ist gut vertretbar, da das Schlammwachstum von jährlich ca. 4 cm nachweislich zum Erliegen kam und dadurch der Weiher vor der drohenden Verlandung gerettet wurde, welche unwiderruflich innerhalb weniger Jahrzehnte stattgefunden hätte. Zudem wurde die unansehnliche Algenproblematik dauerhaft gebannt und die vorher aufwändigen Unterhaltsarbeiten auf ein Minimum reduziert. Dass dieses ausserordentliche Ergebnis allein durch den Einsatz der sanften und ungefährlichen Plocher-Produkte erreicht wird, darf guten Gewissens als Sensation bezeichnet werden.

Allerdings ist anzumerken, dass die Erzielung eines Sanierungserfolgs auf diese Weise ein extrem langfristiges Vorhaben ist. Das Pilotprojekt läuft mittlerweile während fast 15 Jahren und die hoffentlich stattfindende mehr oder weniger vollständige Umsetzung der Sedimentschicht wird weitere Jahre beanspruchen. Für ein solches Projekt sollte also ein Zeithorizont von rund 20 Jahren einberechnet werden. Falls die Sedimentschicht tatsächlich vollständig kompostiert werden kann, ist das Sanierungsergebnis als wirklich nachhaltig zu bezeichnen und sollte danach mit einem reduzierten Einsatz von Plocher-Produkten langfristig aufrechterhalten werden können.

Bezüglich des grundsätzlichen Funktionierens der Plocher-Produkte bestehen trotz des deutlichen Erfolgs in diesem Pilotprojekt, welcher ohne die Annahme einer effektiven Wirksamkeit dieser Produkte nicht erklärt werden könnte, nach wie vor grosse Zweifel. Diese Zweifel kommen in erster Linie von der wissenschaftlichen Seite, da bisher keine Erklärung für die Wirkung dieser Produkte geliefert werden kann. Sollte der Versuch an der HAFL tatsächlich die Wirksamkeit des Plocher Bodenaktivators zweifelsfrei nachweisen, wird dadurch die Basis für eine weitere Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet geschaffen, womit diese grundsätzlichen Zweifel zukünftig angegangen werden könnten. Dies ist jedoch ebenfalls als eine eher langfristige Angelegenheit zu sehen.

Die anhand des Bellacher Weihers im Rahmen dieses Pilotprojekts erarbeitete Sanierungsmethode ist zur Sanierung weiterer Gewässer im Schweizerischen Mittelland von grossem Interesse. Klassische Sanierungsmassnahmen bei Gewässern mit vergleichbarer Problematik beschränken sich bisher auf:

- Künstliche Zirkulationshilfe oder Belüftung
- Tiefenwasserableitung oder Frischwasserzuführung
- Ausbaggern des Schlammes am Weiher- oder Seegrund
- Entfernen von Nährstoffen aus dem in das Gewässer eingeleiteten Wasser
- Extensivierung von Landwirtschaftsflächen im Einzugsgebiet des Gewässers
- Verbesserungen in der Landwirtschaft, wie z.B. Optimierung der Fruchtfolge, durchgängige Bodenbedeckung, Direktsaaten

Die am Bellacher Weiher angewandte Methode ist dagegen in der Lage, auf produktiven Landwirtschaftsflächen im Einzugsgebiet ohne Einschränkungen für die Landwirte eine wesentliche Reduktion der Nährstoffeinleitung in das betroffene Gewässer zu erreichen. Zudem kann bei Kleingewässern ohne Schichtung auf natürliche Weise eine Verstoffwechselung der bereits im Schlamm abgelagerten Nährstoffe erfolgen, wodurch eine aufwändige Schlammentnahme und Entsorgung entfallen kann. Beim Bellacher Weiher wird dafür ein Sanierungszeithorizont von rund 20 Jahren beansprucht. Es ist ein weiteres Verdienst dieses Pilotprojekts, solche praxisnahen Zahlen zu liefern, welche für die Beurteilung der Anwendbarkeit dieser Methode bei anderen Gewässern von erheblicher Bedeutung sind.

Um die Sanierung zu beschleunigen, könnte die Landwirtschaft von Anfang an miteinbezogen werden und nicht erst nach sechs Jahren, wie beim Bellacher Weiher. Eine weitere Beschleunigung wäre mit einer kombinierten Anwendung von klassischen Massnahmen zusammen mit dem Einsatz der Plocher-Produkte zu erzielen. Beispielsweise könnte ein schnelles Wiederverschlammen eines ausgebagerten Kleinsees durch den Einsatz der Plocher-Produkte vermieden, und so ein nachhaltigeres Resultat einer klassischen Sanierungsmassnahme erreicht werden.

Erfahrungen dazu müssten anhand weiterer Pilotprojekte gesammelt werden. Angesichts des teilweise stark überdüngten Zustandes vieler Kleingewässer im Schweizerischen Mittelland, wäre der Einsatz der Methode bei zahlreichen Gewässern ein vielversprechender Ansatz. Mit der Durchführung weiterer Pilotprojekte würde sich die Erfahrungsbasis vergrössern und die Anwendung bei tieferen Gewässern mit einer geschichteten Wasserstruktur könnte ebenfalls ins Auge gefasst und Erfahrungen dazu gesammelt werden.

5.4 Weitere Beiträge zum Umweltschutz

Nebst der Sanierung des Weiher gibt es weitere positive Beiträge des Einsatzes von Plocher-Produkten in vielen Bereichen des Natur- und Umweltschutzes, welche grösstenteils durch die Optimierungen in der Landwirtschaft zustande kommen. Tab. 8 fasst die wichtigsten Auswirkungen zusammen:

Tab. 8 Umweltschutz durch Einsatz von Plocher-Produkten in der Landwirtschaft

	Wirkung der Plocher-Produkte	Positive Auswirkungen auf die Umwelt
Boden	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau von humusreichen Böden 	<ul style="list-style-type: none"> • Langfristiger Erhalt der Bodenfruchtbarkeit
Wasser	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktion der Nährstoffauswaschung durch Nährstoffbindung im Boden • Reduktion des Pestizideinsatzes infolge besserer Pflanzengesundheit 	<ul style="list-style-type: none"> • Grundwasserschutz • Verringerung der Nährstofffracht in Fliessgewässern und geringere Eutrophierung von Seen • Verringerung der Pestizidbelastung in Gewässern
Luft	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktion der Ammoniakbelastung durch die Förderung aerober Prozesse 	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung von Stickstoffdüngung und Versauerung empfindlicher Ökosysteme • Verringerung der sekundären Feinstaubbildung
Klima	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau von humusreichen Böden • Reduktion der Methan- und Lachgasbildung durch Förderung aerober Prozesse • Energieeinsparung bei der Produktion von Kunstdüngern und Pestiziden durch reduzierte Verwendung dieser Stoffe 	<ul style="list-style-type: none"> • Kohlendioxid Sequestrierung (dauerhafte Speicherung von CO₂ in Form von Humus im landwirtschaftlichen Boden) • Verringerte Freisetzung klimaschädlicher Gase aus der Landwirtschaft sowie bei der Produktion von Düngern und Pestiziden

Durch die Verwendung der Plocher-Produkte kann die Stickstoffdüngung auf den Landwirtschaftsflächen schrittweise reduziert werden, da Stickstoff durch die Aktivität des Bodenlebens geliefert, bzw. gar nicht gebraucht wird, weil er sich im landwirtschaftlichen Kreislauf befindet. Dadurch entfällt bereits der Anteil an CO₂, welcher bei der energieintensiven Produktion des Düngers anfallen würde. Die weiteren Einsparungen von Treibhausgasen werden durch konsequentes Vermeiden anaerober Verhältnisse geschaffen und betreffen die Freisetzung von Methan und Lachgas, welche sich in noch viel stärkerem Mass auf das Klima auswirken als das CO₂. Gemäss Tab. 9 wirkt sich Methan 21-mal stärker auf den Treibhauseffekt aus, als Kohlendioxid und Lachgas gar 310-mal stärker (VON WITZKE ET AL 2007).

Tab. 9 Klimarelevanz der wichtigsten Treibhausgase

	Formel	Klimafaktor	Entstehung	Reduktion mit Plocher-System
Kohlen-dioxid	CO ₂	1 x	Bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe und beim Humusabbau im Boden	Einsparung von fossiler Energie bei der Düngerproduktion und Förderung des Humusaufbaus im Boden
Methan	CH ₄	21 x	Beim Abbau organischer Substanz unter anaeroben Bedingungen, auch in Rinderpansen	Reduktion durch Schaffung aerober Verhältnisse in der Gülle, im Kompost und im Boden
Lachgas	N ₂ O	310 x	Beim Stickstoffabbau unter teilweise anaeroben Bedingungen, v.a. im Boden bei Staunässe	Reduktion durch Aufbereitung von Hofdüngern und Vermeidung von Staunässe im Boden

Das Plocher-System kann in einem weiteren Punkt zur Reduktion der Treibhausgase beitragen. Durch die Erhöhung des Humusanteils im Boden kann zusätzliches CO₂ fixiert werden, welches der Atmosphäre dauerhaft entzogen wird. Prof. A. Raggam hat dazu folgende Rechnung aufgestellt: „Wenn in den landwirtschaftlich genutzten Trockenflächen der Welt von fünf Milliarden Hektar zusätzlich 6% Humus bis zu 25 cm Tiefe aufgebaut werden, werden ca. 500 Milliarden Tonnen Kohlenstoff aus der Atmosphäre genommen. Damit würde die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre von derzeit 400 ppm auf einen Wert vor der chemischen Landwirtschaft von etwa 180 ppm gesenkt werden.“ (RAGGAM 2004).

Die durch die Plocher-Bodenaktivatoren, Hofdüngerbehandlung und konsequentes Kompostieren geförderten Bodenaufbauprozesse haben somit vielfältige positive Auswirkungen auf den Stoffhaushalt der Böden und auf den langfristigen Erhalt der Bodenfruchtbarkeit. Für die Gesundung des Bellacher Weihers ist aber die Verhinderung der Auswaschung von Nährsalzen am wichtigsten. Dadurch dass die Nährstoffe nicht als im Porenwasser des Bodens gelöste Salze vorliegen, sondern in Form von lebendiger Biomasse, können sie nicht ausgewaschen werden und somit auch nicht zur Eutrophierung des Weihers beitragen. Gleichzeitig gehen sie der Landwirtschaft nicht verloren und tragen so zu guten Erträgen bei. Schliesslich entstehen keine Treibhausgasemissionen, sondern zusätzliches CO₂ wird im Boden fixiert (CO₂ Sequestration). Das Projekt liefert also sowohl lokal, regional als auch global einen positiven Beitrag an den Umweltschutz.

6 Fortsetzung des Projekts

Das Pilotprojekt ist in seiner jetzigen Form gemäss *Tab. 1* bis Ende 2019 definiert. Die Resultate aus dem Forschungsprojekt der HAFL werden erst Ende 2020 publiziert, da der Versuch infolge ungünstiger Witterungsbedingungen mit einem Jahr Verspätung begann. Bis dahin ist die Finanzierung gesichert, mit Ausnahme der Aufwendungen für die Produkte des Landwirtschaftsprogramms, über welche die Gemeinde Bellach Jahr für Jahr befindet. Es ist jetzt an der Zeit, über eine geeignete Fortführung des Pilotprojekts, der Phase V nachzudenken und die nötige Finanzierung dafür in die Wege zu leiten.

6.1 Weiherbehandlung

Während der jetzt auslaufenden Phase IV des Sanierungsprojekts wird die Weiherbehandlung mit den Plocher-Produkten auf Quarzmehlbasis nach wie vor fortgeführt. Die Dosierung ist während den letzten Jahren auf 1 g/m^2 zurückgefahren worden und wird seit dem Fischsterben im 2017 während der wärmeren Jahreszeit jeweils auf 2 g/m^2 erhöht. Dies entspricht einer Menge von 30-60 kg Quarzmehl, welche während der Vegetationszeit regelmässig alle 3 Wochen über die gesamte Weiheroberfläche verteilt wird. Die Ausbringung erfolgt von Hand aus einem Ruderboot heraus und wird in ehrenamtlicher Arbeit von den Weiherbesitzern koordiniert und unter Mithilfe von Mitarbeitern bzw. Praktikanten ausgeführt.

Diese Weiherbehandlung muss unbedingt weitergeführt werden, bis der Um- oder Abbau der Sedimentschicht am Weihergrund zum Erliegen kommt und somit das Resultat des Sanierungsprojekts definitiv sichtbar wird. Falls das Landwirtschaftsprogramm über diesen Punkt hinaus fortgesetzt werden kann, ist es bestimmt möglich, die Behandlungsintensität des Weihers zu reduzieren oder die weiherrinternen Massnahmen sogar ganz auszusetzen. Während der Phase V ist dies aber voraussichtlich noch nicht der Fall und somit sollte die Behandlung im heutigen Umfang während weiteren fünf Jahren bis 2024 fortgesetzt werden.

6.2 Landwirtschaftsprogramm

Die langfristige Fortsetzung des 2010 begonnenen Landwirtschaftsprogramms ist zur nachhaltigen Stabilisierung des Weihers unabdingbar¹⁸. Würde es aufgehoben, würden die Phosphatwerte nach einigen Jahren voraussichtlich wieder ansteigen und die Überproduktion von Biomasse im Weiher erneut einsetzen. Die Basis des Landwirtschaftsprogramms ist die Subventionierung der Plocher-Produkte für die Landwirte im gesamten Einzugsgebiet des Weihers durch die Gemeinde Bellach. Die Landwirte setzen die Produkte ein, was einen gewissen Arbeitsaufwand zur Folge hat, mit dem Sie die Vorteile, welche sie selbst durch den Einsatz der Produkte haben, abgegolten sehen.

¹⁸ Zur nachträglichen Reduktion des Nährstoffeintrages in den Weiher könnte man auch eine Filterstrecke im Zufluss anlegen, wie IMHOF 1987 vorschlägt. Die Filterstrecke müsste mit schnellwachsenden Schilfarten bepflanzt und regelmässig abgeerntet werden. Der Kauf des dafür notwendigen Landes, die Bewirtschaftung der Filterstrecke und die Entsorgung des entnommenen Materials auf Kompost- oder Biogasanlagen ist jedoch mit sehr hohen Kosten verbunden und stehen in keinem Verhältnis zur Kosteneffizienz und dem Nutzen des bestehenden Landwirtschaftsprogramms.

Theoretisch könnten die Kosten für die Produkte vollständig von den Landwirten selbst übernommen werden, da mögliche Einsparungen bei Düngern und Pestiziden sowie allgemein geringere Komplikationen bei Pflanzen- und Tierproduktion den finanziellen Aufwand für die Produkte betriebswirtschaftlich vermutlich rechtfertigen würden. Dafür müssten aber entsprechende Empfehlungen der landwirtschaftlichen Beratung vorliegen, welche erst nach einer weitergehenden Erforschung der Produktewirkung ausgesprochen werden können. Das Forschungsprojekt der HAFL ist ein wichtiger Schritt in diese Richtung.

Weitere Erkenntnisse würden sich durch das Auswerten der betrieblichen Nährstoffbilanzen erschliessen. Damit könnte die Entwicklung des Düngebedarfs auf den Betrieben dokumentiert werden. Erfahrungsgemäss ist die Auswertung dieser Bilanzen jedoch nicht so einfach und die Anwendbarkeit und Aussagekraft dieser Methode für das Landwirtschaftsprogramm des Bellacher Weihers muss erst noch überprüft werden. Dies erfolgt in Zusammenarbeit mit der Düngeberaterin des Wallierhofs und ist für 2018/2019 geplant.

Parallel zum Landwirtschaftsprogramm wurde auch eine Umfrage bei den Landwirten durchgeführt, welche alle zwei Jahre wiederholt wird. Bisher wurden vier Fragebogen versandt und ausgewertet (NUFER 2011, 2013, 2015, 2017). Eine weitere folgt Ende 2018. Damit ist eine lückenlose Dokumentation der Wahrnehmung von Auswirkungen des Produkteinsatzes bei den Landwirten möglich. Ausserdem ist die Befragung ein gutes Mittel, den Kontakt zu den Landwirten aufrechtzuerhalten. Die Landwirte werden aber auch persönlich betreut. Zudem findet jeweils am Anfang des Jahres eine Versammlung statt, zu der die Landwirte eingeladen werden und persönliche Feedbacks geben, sowie die bereits erzielten Resultate einsehen können.

Zur Fortsetzung des Landwirtschaftsprogramms während der kommenden Phase V wird die Subvention der Produkte durch die Gemeinden oder andere Kostenträger weiterhin notwendig sein. Allenfalls kann mit den Landwirten über eine Kostenbeteiligung verhandelt werden, insbesondere falls die wissenschaftlichen Untersuchungen bis dahin eine klare Botschaft vermitteln sollten. Die Fortführung der Umfrage ist hingegen nicht mehr nötig, da dadurch keine neuen Erkenntnisse mehr zu erwarten sind. Die Ergebnisse der Umfrage waren bisher sehr nützlich, um den Erfolg zu dokumentieren sowie das Forschungsprogramm der HAFL zu definieren, da entsprechende Erfolgsparameter dafür erst festgelegt werden mussten.

Die jährliche Veranstaltung und die Besuche bei den Landwirten sollten hingegen beibehalten werden, da so die Kommunikation innerhalb des Projekts gut funktioniert und laufend praktische Erkenntnisse von den Betrieben über den Einsatz der Produkte gewonnen werden können.

6.3 Wissenschaftliche Begleitung

Eine wissenschaftliche Begleitung ist für eine sinnvolle Weiterführung des Pilotprojekts unerlässlich. Einerseits kann das Projekt langfristig nur fortgeführt werden, wenn mindestens einige der Ergebnisse durch Forschungsprojekte überprüft werden. Andererseits ist eine wissenschaftliche Untermauerung der Ergebnisse für die Verbreitung der Sanierungsmethode, welche in zahlreichen weiteren Problemfällen angewendet werden könnte, von zentraler Bedeutung. Nur so kann das Projekt den Pilotcharakter überwinden und sich zu einem Modellbeispiel für die Umsetzung einer nachhaltigen Sanierungsmethode und eine mit dem Umweltschutz im Einklang stehende Landwirtschaft entwickeln.

Während der aktuellen Projektphase IV und darüber hinaus findet ein Begleitforschungsprojekt an der Berner Fachhochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL in Zollikofen statt. Damit können zentrale Fragen, wie die Auswirkung des Plocher Bodenaktivators auf die Bodenbeschaffenheit, den Nährstoffhaushalt und den landwirtschaftlichen Ertrag beantwortet werden. Falls die Wirksamkeit des Bodenaktivators bzw. seines Nachfolgeprodukts plocher humusboden zweifelsfrei belegt werden kann, wird ein breites Feld von landwirtschaftlicher Forschung geöffnet, welches bis in die physikalische Grundlagenforschung bezüglich des Zustandekommens der Produktwirkung hineingehen kann.

Das Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen IUNR der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften ZHAW in Wädenswil hat in den Jahren 2016 und 2017 je acht zusätzliche Messungen aller Wasserparameter durchgeführt, um den jährlichen Verlauf der Messwerte besser erfassen zu können. Während des Jahres 2016 wurde zudem eine biologische Gewässerbeurteilung im Rahmen des Verfassens einer Bachelorarbeit vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Begleitforschung erlauben es, den Zustand des Weihers in der jetzigen Phase ohne Pflanzenbewuchs genau zu dokumentieren und mit dem Zustand ähnlicher Kleingewässer in der Schweiz zu vergleichen.

Die landwirtschaftliche Forschung kann nach Abschluss des Versuchs an der HAFL im Rahmen des Pilotprojekts Bellacher Weiher nicht weiter gefördert werden, da einerseits im Falle negativer Ergebnisse kein weiterer Forschungsbedarf bestehen würde und andererseits im Falle positiver Ergebnisse der Rahmen des Pilotprojekts deutlich gesprengt würde. Die Begleitforschung an der ZHAW Wädenswil ist hingegen unbedingt weiterzuführen, da die nachhaltige Sanierung des Bellacher Weihers eine einmalige Gelegenheit bietet, ein Kleingewässer dessen Sediment sich anscheinend in einem aeroben Umsetzungsprozess befindet, zu beobachten und die entsprechenden Ergebnisse zu dokumentieren.

Es wird deshalb vorgeschlagen, ab 2020 die ZHAW Wädenswil wiederum mit einem zwei- bis dreijährigen Begleitforschungsprojekt zu beauftragen, welches aber um eine wichtige Komponente erweitert werden müsste. Die Analyse des Sediments wurde bisher vernachlässigt, wäre jedoch zentral für die Dokumentation und Erfolgsbeurteilung des Sanierungsprojekts. Es bleibt abzuklären, ob die ZHAW die dafür nötigen Ressourcen hat oder ob dieser Teil der Begleitforschung in Zusammenarbeit mit der EAWAG erfolgen könnte.

6.4 Regelmässige Messungen und Dokumentation

Die regelmässigen Messungen des Kantons Solothurn vier Mal jährlich sollten ab 2020 für weitere fünf Jahre fortgeführt werden, das sie die langfristige Veränderung des unter Naturschutz stehenden Gewässers zuverlässig dokumentieren und für eine abschliessende Beurteilung des Sanierungserfolgs unerlässlich sind.

Angesichts des Pioniercharakters dieses Pilotprojektes kommt auch der Dokumentation der Vorgehensweisen und Resultate eine besondere Bedeutung zu. Nach diesem letzten Zwischenbericht ist ein Abschlussbericht geplant, welcher die Ergebnisse der Phase IV des Pilotprojektes wiedergibt. Dieser Bericht wird ebenfalls durch NUFERscience erstellt und dient auch der Zusammenfassung von Erkenntnissen aus dem wissenschaftlichen Begleitprogramm. Aufgrund des späteren Vorliegens des Berichts der HAFL kann er erst auf Anfang 2021 fertiggestellt werden. Zur Dokumentation der aktuell zu planenden Phase V ist ebenfalls ein Abschlussbericht vorzusehen, welcher ab dem Jahr 2025 in Angriff genommen werden könnte.

6.5 Bekanntmachung der Sanierungsmethode

Die lokalen Printmedien berichten bereits regelmässig über das Pilotprojekt infolge der aktiven Pressearbeit der Gemeinde Bellach, welche sich bisher bewusst auf die Solothurner Zeitung beschränkte. Diese jährliche Berichterstattung wird nach Möglichkeit in der gleichen Weise fortgesetzt. Mit dem Vorliegen der Resultate aus dem Begleitforschungsprojekt der HAFL ist eine Ausweitung der Öffentlichkeitsarbeit geplant. Aufgrund der sehr interessanten und nachhaltigen Ergebnisse dieses – auf der Welt einmaligen – Pilotprojektes, ist mit einem grösseren Medieninteresse zu rechnen. Es wäre deshalb ratsam, eine geeignete Agentur mit der weiteren Ausgestaltung der Öffentlichkeitsarbeit zu beauftragen. Die Erstellung und Umsetzung eines öffentlichen Bekanntmachungskonzepts, sollte zu einem wichtigen Bestandteil der Phase V gemacht werden.

Ein weiterer Ansatzpunkt zur Bekanntmachung des Sanierungskonzepts sind die kantonalen Ämter, welche für den Gewässerschutz im jeweiligen Kanton zuständig sind. Bisher wurden durch NUFERscience die Ämter der Kantone Bern, Luzern und Thurgau über das Projekt informiert. Mit dem Vorliegen dieses Zwischenberichts können die entsprechenden Ämter weiterer Kantone im Schweizerischen Mittelland angesprochen werden, namentlich: Aargau, Basel-Land, Schaffhausen, Schwyz, St. Gallen, Zürich und Zug. Später können auch Kantone in der französisch sprechenden Schweiz einbezogen werden. Die kantonalen Fachstellen sollen über das Projekt in Kenntnis gesetzt werden, eine entsprechende Dokumentation erhalten und nach Möglichkeit die Durchführung weiterer Projekte prüfen.

Falls die kantonalen Stellen selbst Vorschläge für weitere Pilotprojekte machen, werden die Möglichkeiten zur Durchführung eines entsprechenden Projektes von NUFERscience geprüft und Vorschläge zuhanden der beteiligten Stellen ausgearbeitet. Daneben wird NUFERscience auch selbst den Kontakt zu vielversprechenden Sanierungsvorhaben herstellen, indem lokale Gruppen kontaktiert werden, welche sich manchmal zum Schutze und Unterhalt eines Sees bilden. Entsprechende Vorschläge werden dann in Zusammenarbeit mit der lokalen Gruppe den kantonalen Stellen unterbreitet und eine geeignete Finanzierung gesucht.

6.6 Finanzierung

Am Anfang des Pilotprojekts konnten die Massnahmen aus dem Weiherfonds, welcher durch ein Legat des vorherigen Besitzers gespiesen wurde, finanziert werden. Während der Phase III hat die Gemeinde Bellach fast den gesamten finanziellen Aufwand getragen, welcher durch das Landwirtschaftsprojekt stark anstieg. Lediglich die Durchführung und Auswertung der Messungen wurden vom Kanton Solothurn übernommen.

Mit dem Begleitprogramm erhöhte sich der Aufwand ab Phase IV nochmals beträchtlich. Die Finanzierung wird durch eine breiter abgestützte Beteiligung aller drei im Einzugsgebiet des Bellacher Weiher liegenden Gemeinden (Bellach, Selzach und Lommiswil) sichergestellt, wobei Bellach nach wie vor den Hauptanteil trägt. Das wissenschaftliche Begleitprogramm wird hauptsächlich durch einen Fondsbeitrag des Alpiq Ökofonds sowie Eigenbeiträge der beiden Hochschulen finanziert. Der Kanton Solothurn übernimmt nach wie vor die Erhebung und Auswertung von 4 Messreihen pro Jahr bis Ende 2019.

Für den Erfolg der Phase V ist es wesentlich, dass das Messprogramm des Kantons Solothurn um weitere fünf Jahre verlängert wird. Die finanzielle Unterstützung für die Plocher-Produkte im Weiher und bei den Landwirten sollte ebenfalls beibehalten werden, jedoch nicht mehr jährlich über das Budget der Gemeinde Bellach abgerechnet, sondern regulär in den Projektkosten berücksichtigt werden. Auch die Begleitung durch NUFERscience ist für die weitere Betreuung des Pilotprojekts zentral und sollte weitergeführt werden. Der Umfang kann aber etwas reduziert werden, da die Durchführung der Umfrage bei den Landwirten zukünftig entfällt.

Die Kosten für das Landwirtschaftsprogramm könnten durch Verhandlungen mit den Landwirten gesenkt werden, falls die Wirksamkeit der Produkte offiziell von der landwirtschaftlichen Beratung bestätigt wird. Die Landwirte könnten beispielsweise einen Drittel der Produktkosten selber tragen. Die Kosten für die Produkte, welche im Weiher eingesetzt machen in der Gesamtrechnung wenig aus, da sie von der Firma Plocher zum Selbstkostenpreis zur Verfügung gestellt und von der Familie Stöckli ehrenamtlich ausgebracht werden.

Für die zweite Tranche des Begleitprogramms durch die ZHAW Wädenswil sollten mehr Mittel zur Verfügung stehen, da die Kostenabschätzung für die erste Tranche deutlich zu tief war und die ZHAW einen grossen Eigenaufwand erbringen musste. Zudem wäre die Durchführung einer Sedimentanalyse zentral, wofür genügend Finanzen vorgesehen werden sollten. Die beträchtlichen Kosten für den Versuch bei der HAFL hingegen entfallen in der Phase V.

Schliesslich fällt der Aufwand für die Ausarbeitung eines Bekanntmachungskonzepts durch eine geeignete Agentur und deren Umsetzung ins Gewicht. Hierfür sollten vorgängig Offerten eingeholt und im Budget für die Phase V aufgeführt werden. Zur Finanzierung der Phase V kann das Budget dann wiederum den beteiligten Gemeinden und dem Alpiq Ökofonds sowie weiteren möglichen Finanzierungspartnern vorgelegt werden.

7 Literatur

- DEGEN, CLAUDIA: „Untersuchung der Wirkung des Plocher-Bodenaktivators 1-2-3 im Rahmen des Bellacher Weiher Pilotprojekts – Beschreibung der Ausgangssituation“. Bericht der Berner Hochschule für Agrar-, Forst und Lebensmittelwissenschaften HAFL. Zollikofen 2016.
- GUFLER, CHRISTA ET AL: „Monitoring Bellacher Weiher – Untersuchungen des Nährstoffhaushaltes und des biologischen Zustandes“. Endbericht der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften ZHAW. Wädenswil 2017.
- HORISBERGER, DAVID ET AL.: „Bellacher Weiher, der Natur auf der Spur“. Bellach 2004.
- IMHOF, THOMAS ET AL.: „Bellacher Weiher“. Ökologische Diagnose, Sanierungsvorschläge. AONL, Büro für Angewandte Ökologie, Naturschutz und Landschaftspflege. Biel 1987.
- MERSMANN, CHRISTOPH: „Dokumentation des Praktikums am Bellacher Weiher“. Verein Umwelt und Bildung in Zusammenarbeit mit der ZHAW. Zürich 2013.
- NUFER, ADRIAN: „Luftbildauswertung zur Darstellung des Behandlungserfolgs im Heidsee“. Gutachten. Zürich 2009.
- NUFER, ADRIAN: „Auswertung der Umfrage bei den Landwirten im Projekt Bellacher Weiher“. Bericht 2010/2011. Zürich 2011.
- NUFER, ADRIAN: „Erforschung und Anwendung des Plocher-Systems im Umweltbereich“. Dossier, Version 3.24. Zürich 2012.
- NUFER, ADRIAN: „Auswertung der Umfrage II bei den Landwirten im Projekt Bellacher Weiher“. Bericht 2012/2013. Zürich 2013.
- NUFER, ADRIAN: „Auswertung der Umfrage III bei den Landwirten im Projekt Bellacher Weiher“. Bericht 2014/2015. Zürich 2015.
- NUFER, ADRIAN: „Nachhaltige Sanierung des Bellacher Weihers und seines Einzugsgebietes“. Zwischenbericht 2015. Zürich 2016.
- NUFER, ADRIAN: „Auswertung der Umfrage IV bei den Landwirten im Projekt Bellacher Weiher“. Bericht 2016/2017. Zürich 2017.
- RAGGAM, AUGUST: „Klimawandel – Biomasse als Chance gegen Klimakollaps und globale Erwärmung“. Ökosoziales Forum Österreich. Graz 2004 (Gerhard Erker).
- RUTISHAUSER, NIKLAUS ET AL.: „Sanierung des Bellacher Weihers mit der Plocher-Technologie“. Abschlussbericht Versuchsphase 2004-2007. Solothurn 2008.
- SCHRAG, DANIEL: „Inkwilersee - Konzept zur Sanierung“. Amt für Umwelt des Kantons Solothurn. 1. Nachführung. Solothurn 2011.

- STÖCKLI, THOMAS (HRSG): „Der Natur auf der Spur“. Ein Unterrichtsprojekt am Bellacher Weiher.“ Ipf Initiative für Praxisforschung. Solothurn 2007 (Books on Demand).
- VON WITZKE, HARALD; NOLEPPA, STEFFEN: „Methan und Lachgas – Die vergessenen Klimagase“. Studie im Auftrag des WWF Deutschland. Berlin 2007.
- WOODTLI, FLORENCE: „Monitoring Bellacher Weiher – Untersuchungen des Nährstoffhaushaltes und des biologischen Zustandes“. Bachelorarbeit an der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften ZHAW. Wädenswil 2016.