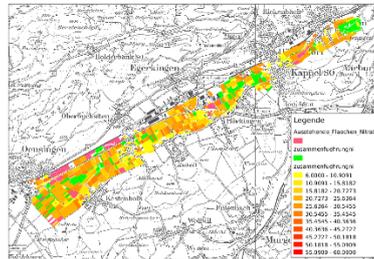




# Stickstoffeffizienz im Acker- und Gemüsebau für eine Reduktion des Nitrateintrages ins Grundwasser



## Akronym: NitroGäu

### Autorin

PD Dr. Else K. Bünemann, Departement für Bodenwissenschaften, FiBL

Dritte revidierte Fassung vom 15. Mai 2017

EXCELLENCE FOR SUSTAINABILITY

Das FiBL hat Standorte in der Schweiz, Deutschland und Österreich  
 FiBL offices located in Switzerland, Germany and Austria  
 FiBL est basé en Suisse, Allemagne et Autriche

**FiBL Schweiz / Suisse**  
 Ackerstrasse 113, Postf. 219  
 5070 Frick, Schweiz  
 Tel. +41 (0)62 865 72 72  
 info.suisse@fibl.org, www.fibl.org

# Inhalt

1. Ausgangslage, Stand der Forschung	3
2. Ziele und Aufgabenstellung	6
3. Rahmenbedingungen, Risikoanalyse	8
4. Vorgehen, Arbeitsplanung mit Arbeitspaketen	9
5. Projektablauf, Zeitplanung, Termine, Meilensteine	13
6. Projektkosten	16
7. Partnerorganisationen und Zusammenarbeit	20
8. Referenzliste	20
9. Literatur	21

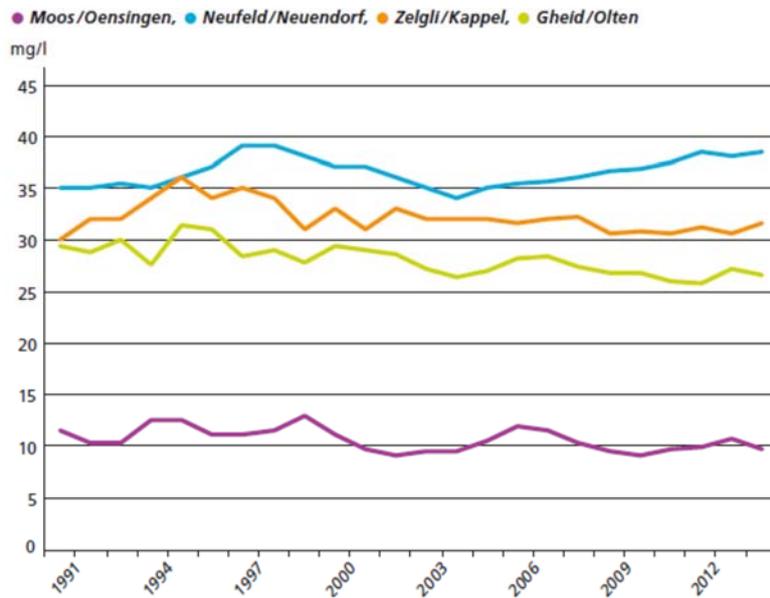
# 1. Ausgangslage, Stand der Forschung

**Stickstoff (N)** als **essentieller Pflanzennährstoff** limitiert auf den meisten Böden der gemässigten Breiten die Pflanzenproduktion und muss daher durch die **Düngung in mineralischer oder organischer Form** zugeführt werden. Dabei kommt es in der Regel zu **gasförmigen oder im Wasser gelösten Verlusten**, da nur ein Teil des Dünger-N von den Pflanzen aufgenommen oder langfristig im Boden stabilisiert wird. Die **Erhöhung der N-Ausnutzungseffizienz** in der Pflanzenproduktion ist sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht anzustreben.

In Regionen, in denen Grundwasservorräte für die **Trinkwassergewinnung** genutzt werden, stellt die Auswaschung von N in Form von Nitrat ein unmittelbares Problem dar, da für **Nitrat** im zu Trinkwasserzwecken genutzten Grundwasser ein **Qualitätsziel von 25 mg/l** (numerische Anforderung 5.6 mg NO<sub>3</sub>-N/l gemäss GSchV Anhang 2, Ziffer 22, Absatz 2) und für Trinkwasser ein **Toleranzwert von 40 mg/l** (Liste 4 der FIV) gelten. Darüber hinaus tragen Auswaschungsverluste zur Eutrophierung nationaler und internationaler Gewässer bei.

In der Schweiz wird das Qualitätsziel von 25 mg/l nach aktuellen Schätzungen auf knapp 380'000 ha überschritten (Prasuhn et al., 2016). Dabei wird die Nitratproblematik seit Annahme des Artikels 62a des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) in regionalen Projekten angegangen. Das flächenmässig grösste **Nitratprojekt** läuft seit dem Jahr 2000 in der Region **Gäu-Olten**. Teilnehmende Landwirte verpflichten sich dabei mit langjährigen Verträgen zu einer nitratarmen Bewirtschaftung. Das Auswaschungspotential von Nitrat wird anhand eines **Punktesystems**, genannt „**Nitratindex**“, beurteilt. Dabei werden die Faktoren **Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Bodenbedeckung im Winter** berücksichtigt, wobei die bedarfs- und zeitgerechte Düngung vorausgesetzt wird (Vetsch, 2000). Wenn der Nitratindex unter den vereinbarten Schwellenwert gesenkt wird, enthält der Landwirt eine Entschädigung, da viele Massnahmen Ertrags- und/oder Einkommenseinbussen zur Folge haben. Ein **struktureller Umbau** wurde in der Region **nicht angestrebt**, auch wenn eine Umwandlung von Ackerfläche zu Grasland besonders wirksam wäre (Prasuhn et al., 2016). Auch wurden bislang **keine Verträge für den Gemüsebau** abgeschlossen. Gemäss Vetsch (2000) sollte die Zielerreichung des Nitratindex regelmässig kontrolliert werden. **Nitratverluste unter Vertragsflächen** wurden aber bislang nur äusserst punktuell ermittelt, so dass eine **eigentliche Wirkungskontrolle und eine Überprüfung des Nitratindex fehlen**.

Die Wirksamkeit des Nitratindex sollte sich auch im geförderten Trinkwasser zeigen. Die **Nitratkonzentrationen in den Pumpwerken in der Region** zeigten jedoch zwischen 1991 und 2013 **keinen eindeutigen zeitlichen Trend** (Abb. 1). Lediglich im Pumpwerk Gheid/Olten war ein leicht rückläufiger Trend der Nitratkonzentration zu verzeichnen. In einer Untersuchung der Universitäten Neuchâtel und Bern wurde gezeigt, dass die **mittlere Aufenthaltsdauer des** Wassers in der ungesättigten Zone und im Grundwasser je nach Pumpwerk **zwischen 5 und 22 Jahren** beträgt, so dass eine Abnahme der Nitratkonzentration im Trinkwasser erst mit grosser zeitlicher Verzögerung nach Beginn der grundwasserschonenden Bewirtschaftung zu erwarten ist (AfU, 2015). Ausserdem wird insbesondere in den am stärksten belasteten Pumpwerken das Sickerwasser aus Flächen unter Acker- und Gemüsebau weniger stark durch Randzuflüsse aus bewaldeten Gebieten (Jura, Mittelgäuhügel) verdünnt, als bei Projektbeginn angenommen wurde. Entsprechend **kann das Qualitätsziel für Nitrat ohne eine zusätzliche Erhöhung der kurz- und mittelfristigen N-Ausnutzungseffizienz kaum erreicht werden**. Dies gilt auch für andere Gebiete in der Schweiz, in denen das genutzte Grundwasser hauptsächlich aus acker- und gartenbaulich genutzten Flächen stammt.



**Abb. 1: Nitratgehalte in Pumpwerken der Region Gäu-Olten (AfU, 2015). Das Pumpwerk Moos/Oensingen erhält eine starke Verdünnung aus der Klus und wird wenig durch Ackerbauflächen beeinflusst. Das Nitratprojekt Gäu-Olten läuft seit dem Jahr 2000.**

Da Massnahmen oft nur mit Verzögerung in Pumpwerken wirken, sind für die unmittelbare Wirkungskontrolle **Nitratmessungen im Boden und im Sickerwasser notwendig**. Die Bedeutung insbesondere der ungesättigten Zone als Nitratzwischenpeicher wurde auch in anderen Nitratprojekten betont (von Niederhäusern et al., 2010). **Messungen von mineralischem N ( $N_{min}$ )** in Bohrkernen geben jedoch immer nur eine **Momentaufnahme**, während die Bestimmung von Boden- und **Sickerwasserkonzentrationen** es erlaubt, eine **zeitliche Dynamik** zu erfassen. Beide Methoden sind **aufwendig** und liefern keine direkten Daten zu tatsächlichen Nitratfrachten. Insofern wäre eine **einfache Methode zur Bestimmung der tatsächlichen Nitratverlagerung** wünschenswert, um die Wirksamkeit verschiedener Bewirtschaftungsmassnahmen beurteilen zu können. In diesem Projekt sollen v.a. die „**Selbstintegrierenden Akkumulatoren (SIA)**“ der Firma TerrAquat getestet werden, die auf Ionenaustauschern beruhen (Bischoff, 2007).

Die Selbst-Integrierenden Akkumulatoren (SIA) beruhen auf dem Prinzip, dass das Sickerwasser unterhalb der durchwurzelt Zone (Grundwasserneubildung) durch ein **Sand-Adsorber-Gemisch** mit bekannter Fläche geleitet wird. Dabei entziehen die eingesetzten Ionentauscher-Adsorber dem Sickerwasser Nitrat und Ammonium, bei Bedarf auch weitere Ionen, während das Wasser weiter sickert. Durch Machart und Einbaumethode (Patent: DE197 26 813) wird sichergestellt, dass unter vielen Bodenbedingungen repräsentative Flüsse gemessen werden. Um die heterogenen Fließverhältnisse im Boden zu berücksichtigen und abzubilden, werden pro Fläche/Variante mindestens 10 Wiederholungen benötigt (Bischoff, 2007). Als Ergebnis bekommt man den **Nitrat-/Ammoniumverlust mit dem Sickerwasser als Fracht in kg N pro ha und Jahr**. Unter Berücksichtigung von Düngung und Entzug kann so die N-Massenbilanz geschlossen werden. Vorteil der Methode ist, dass **während der Messzeit keine Betreuung und kein Eingriff auf der Fläche nötig** ist, so dass sie auch **auf Praxisbetrieben ohne Einschränkung des Betriebsablaufs** eingesetzt werden kann. Nachteil ist die **geringe zeitliche Auflösung** (ein kumulierter Verlustwert pro Messperiode).

In den 16 Jahren seit der Entwicklung des Beurteilungsinstruments „Nitratindex“ sind viele Studien zu bekannten und neuen grundwasserschonenden Bewirtschaftungsmassnahmen publiziert worden. Es gibt Metaanalysen über Teilaspekte wie N-Ausnutzungseffizienz bei Einsatz von Nitrifikationshemmern (Abalos et al., 2014; Hu et al., 2014), N-Verluste in Versuchen mit <sup>15</sup>N-markiertem Mineraldünger (Gardner & Drinkwater, 2009) und Auswirkungen reduzierter Bodenbearbeitung (Anken et al., 2003; Soane et al., 2012) und Zwischenfruchtanbau von Nicht-Leguminosen (Valkama et al., 2015) auf die Nitratauswaschung. Andere Aspekte wie die Nitratverluste aus Hof- und Recyclingdüngern, die Bedeutung der N-Bilanz für die Höhe der Verluste sowie der Vergleich von biologischer und konventioneller Bewirtschaftung sind noch nicht in quantitativen Metaanalysen ausgewertet worden. Eine **gründliche Aufarbeitung der jüngeren Literatur** wäre eine wichtige **Grundlage für eine Weiterentwicklung des „Nitratindex“**, einschliesslich der Berücksichtigung **möglicher neuer Massnahmen** wie des Einsatzes von **Mineraldüngern mit verzögerter Freisetzung** (Timilsena et al., 2015) und **tiefwurzelnden oder schnellwachsenden Zwischenfrüchten** (Thorup-Kristensen & Rasmussen, 2015; Tribouillois et al., 2015). Tatsächliche und potentielle Nitratfrachten unter aktueller sowie zukünftiger Bewirtschaftung sollten dabei sowohl gemessen als auch mit Hilfe von Modellierungstools wie z.B. SALCA-NO<sub>3</sub> (Richner et al., 2014) abgebildet werden, um die Plausibilität des „Nitratindex“ zu prüfen.

Ein Positionspapier der Konferenz der Landwirtschaftsämter der Schweiz (KOLAS) zur Weiterentwicklung des Gewässerschutzprogramms vom Mai 2016 betont insbesondere, dass das **Risiko von N-Auswaschung bei intensivem Einsatz von organischen Düngern (Hof- und Recyclingdünger inklusive Ernterückstände) verbunden mit dem geringen angerechneten N-Ausnutzungsgrad gemäss GRUDAF (2009) geprüft werden muss**. Die Konferenz der Umweltschutzämter (KVU) stellt in einem weiteren Positionspapier (2016) die Frage, ob Risikokulturen wie der Gemüsebau in Zuströmbereichen verboten werden sollten. Vor dem Hintergrund dieser Diskussion ist eine **Überprüfung des „Nitratindex“** und eine mögliche **Erweiterung auf Aspekte der Düngung** und eine **Anwendung im Gemüsebau** dringend notwendig. Ein aktualisierter, erweiterter Nitratindex wäre möglicherweise schweizweit einsetzbar.

Das Amt für Umwelt (AfU) des Kanton Solothurn hat im Februar 2016 zu einem Ideenwettbewerb zum Thema N-Effizienz im Acker- und Gemüsebau eingeladen und die von Agroscope, FiBL, Inforama und Uni Neuchâtel eingereichten Projektideen mit allen Beteiligten anlässlich eines Workshops im März 2016 diskutiert. Im April 2016 haben Bernhard Strässle (BZ Wallierhof) und Rainer Hug (AfU) den **Forschungsbedarf in einem Konzept zusammengefasst** und das FiBL beauftragt, als Projektleiter ein entsprechendes Forschungsprojekt zu entwickeln, das die Wirksamkeit des Nitratindex wissenschaftlich aufarbeitet, Massnahmen zur Verbesserung der N-Effizienz und gleichzeitigen Verringerung der N-Auswaschung prüft und Vorschläge zur Umsetzung der Ergebnisse z.B. in einem „Nitratindex 2.0“ oder in verbesserten Werten für das Stoffflussmodell MODIFFUS von Agroscope macht. Das FiBL hat in der Folge mit den Projektpartnern Kontakt aufgenommen und ein umfassendes Projekt entwickelt, das es erlauben würde, sowohl im Acker- als auch im Gemüsebau deutliche Fortschritte in der nachhaltigen grundwasserschonenden Bewirtschaftung zu machen. Potentiell könnte damit eine grundwasserverträgliche duale Nutzung (Acker-/Gemüsebau und Trinkwasserförderung) nicht nur in der Region Gäu-Olten, sondern auch in anderen betroffenen Regionen der Schweiz langfristig möglich bleiben. Ein wichtiges Ziel ist es dabei, die **Wirksamkeit getroffener Massnahmen** nachzuweisen, lange bevor die Wirkung im Grundwasser sichtbar wird.

## 2. Ziele und Aufgabenstellung

Die zwei Hauptziele 1) **Wissenschaftliche Aufarbeitung der Wirksamkeit des Nitratindex** einschliesslich Evaluierung von Methoden zur Erfolgskontrolle (Messungen und/oder Modellierungen, z.B. mit SALCA-NO<sub>3</sub>) und 2) **Erarbeitung weiterer Anpassungen der Bewirtschaftung** zur Verbesserung der N-Effizienz und Reduktion der Nitratauswaschung inklusive **Abbildung im Nitratindex 2.0** erfordern ein umfangreiches Forschungsprojekt, das aus anwendungsorientierten Teilen zur Überprüfung und Weiterentwicklung des Nitratindex und aus prozessorientierter Forschung im Rahmen von zwei Dissertationen besteht. Die vorgesehene Gliederung des Projekts in Arbeitspakete ist in Abb. 2 dargestellt. Ziele und Hypothesen der Arbeitspakete werden im Folgenden kurz beschrieben.

### Arbeitspaket 1: Ackerbau

#### Teilpaket 1.1: Meta-analyse Nitratauswaschung

Das Ziel dieses Teilpaketes ist es, die jüngere **Literatur und Daten zu Nitratauswaschung** in Abhängigkeit von Bewirtschaftung in einer Meta-analyse **quantitativ auszuwerten**, da die aktuelle Version des Nitratindex auf der Literatur bis 2000 beruht, und durch Feldkampagnen zu überprüfen. So kann anschliessend der Nitratindex als Bewertungssystem für das Auswaschungspotential aktualisiert werden. Unsere Hypothese ist dabei, dass der Nitratindex einige Bewirtschaftungsmassnahmen noch nicht richtig abbildet, und dass Düngungsintensität, N-Gesamtbilanz und Form der N-Düngung berücksichtigt werden müssten, um das Auswaschungspotential korrekt abzuschätzen.

#### Teilpaket 1.2: Hydrologie und Optimierung der Bewirtschaftung

In diesem Teilpaket soll ein besseres **Verständnis** gewonnen werden, wann und durch welche **Prozesse** Nitrat ausgewaschen wird, als **Grundlage für die Optimierung der Bewirtschaftung**. Zudem sollen im Rahmen des **Monitorings von N- und Wasserdynamik** die **Messtechnik** evaluiert, biologische vs. konventionelle Bewirtschaftung verglichen und bisherige und neue Bewirtschaftungsmassnahmen auf ihre Wirksamkeit bezüglich Nitratauswaschung getestet werden. Der Vergleich Bio vs. ÖLN soll gezogen werden, weil Bio in einem anderen Nitratprojekt als erfolgsversprechende Massnahme beurteilt wurde (Biedermann, 2007). Es wird erwartet, dass Nitratverluste weniger vom Betriebssystem als vielmehr von der Intensität der N-Düngung abhängen, und dass es möglich ist, mit Hilfe von tiefwurzelnden Pflanzen Nitrat vor der endgültigen Auswaschung zu bewahren.

#### Teilpaket 1.3: Hofdüngermanagement

Dieses Teilpaket zielt darauf ab, **N-Auswaschungsverluste aus Hofdüngern** und deren Nachwirkung zu quantifizieren und **Massnahmen zur Erhöhung der N-Ausnutzung** zu testen. Wir nehmen basierend auf den ersten Ergebnissen der Uni Neuchâtel an, dass ein erheblicher Anteil des Nitrats im Sickerwasser aus Hofdüngern stammt, dass sich diese Auswaschungsverluste aber durch Massnahmen wie Strohbeimischung zur Gülle und Kompostierung verringern lassen. Für dieses Teilpaket ist die Herstellung <sup>15</sup>N-markierter Hofdünger unabdingbar. Nur so können wichtige Fragen zur Hofdünger-N-Ausnutzung, zu Verlustpfaden sowie zum längerfristigen Humusaufbau beantwortet werden. Diese Fragen sind für die Schweizer Landwirtschaft, die v.a. auf gemischten Betrieben mit Ackerbau- und Viehhaltung basiert, absolut zentral.

# Titel: Stickstoffeffizienz im Acker- und Gemüsebau

Ziel: Reduktion des Nitratreintrages ins Grundwasser *Projektleitung: FiBL*

Generalhypothese: Die Gesamt-N-Bilanz ist der einfachste Indikator für potentielle Nitratverluste; innerhalb der Gesamt-N-Bilanz können Bewirtschaftungsmassnahmen Nitratverluste reduzieren.

Bewertungssystem	1. Ackerbau		2. Gemüsebau	
	1.1 Meta-analyse Nitratauswaschung: <i>FiBL</i> - Literaturstudie zum Einfluss von Bewirtschaftungsmassnahmen (Fruchtfolge, Winterbegrünung, Saatzeitpunkt, Bodenbearbeitung) auf Nitratverluste; N <sub>min</sub> -Feldkampagne		2.1 Aktualisierung Nitratpotential, MODIFFUS: - Literaturstudie - Lysimeterversuch <i>Agroscope</i>	
	1.2. Hydrologie & Optimierung der Bewirtschaftung <i>CHYN/FiBL</i> - Ungesättigte Zone - Messtechnik - Wirksamkeit aktueller & neuer Massnahmen; Bio vs. Konv. - Stoffflüsse und Modellierung	1.3 Hofdüngermanagement: <i>ETH/FiBL</i> - Herkunft <sup>15</sup> N im Sickerwasser - Wiederfindung, Auswaschung, Nachwirkung von <sup>15</sup> N in mineralischem vs. organischem Dünger (+/-Stroh)	2.2 Monitoring N-Auswaschung: - Gemüseflächen im Gäu <i>TerrAquat</i>	
	1.4 Vorstudie zur Anwendung von SALCA-NO <sub>3</sub> <i>AfU / Agroscope</i>			
Ergebnis	3.1 Nitratindex 2.0 & Synthese: - Neue Bewirtschaftungsmassnahmen - Angepasste Bewertung - Modellierung und Synthese <i>FiBL</i>		3.2 Umsetzung in MODIFFUS und Nitratindex für Gemüse: - Kulturmassnahmen (Ernterückstände, Fruchtfolge, Winterbegrünungen, Bodenbearbeitung, evtl. Bewässerung und Düngung) berücksichtigt <i>Agroscope</i>	

Abb. 2: Projektschema

Teilpaket 1.4: Vorstudie zur Anwendung von SALCA-NO<sub>3</sub>

Das Ziel dieses Teilpakets ist die Plausibilisierung des Nitratindex mit SALCA-NO<sub>3</sub>. SALCA-NO<sub>3</sub> berücksichtigt verschiedene Boden- und Bewirtschaftungsparameter. Ein Vergleich der Ergebnisse mit dem Nitratindex kann Hinweise liefern, wie der Nitratindex gezielt angepasst werden kann. Folgende Parameter stehen dabei im Vordergrund: Fruchtfolge, Bodenbearbeitung (Zeitpunkt und Intensität), Düngereinsatz (Zeitpunkt), Bodeneigenschaften, und klimatische Einflüsse soweit im Modell berücksichtigt.

## Arbeitspaket 2: Gemüsebau

Teilpaket 2.1: Aktualisierung Nitratauswaschungspotential unter Gemüse

In diesem Teilpaket sollen alle verfügbaren **Informationen zum Nitratauswaschungspotential unter den verschiedenen Gemüsearten** zusammengeführt werden. Auch der Faktor Bewässerung soll dabei berücksichtigt werden. Zudem sollen in einer **Lysimeterstudie** die Auswirkungen einer verbesserten Bewirtschaftung auf Nitratverluste untersucht werden, unter der Annahme, dass das Auswaschungspotential mit Anpassungen in der Fruchtfolge und insbesondere im **Management der Ernterückstände** deutlich vermindert werden kann.

Teilpaket 2.2: Monitoring N-Auswaschung unter Gemüse in der Region

Da bislang wenige Daten zu Nitratfrachten aus der Gemüseproduktion vorliegen, wäre es wünschenswert, die **tatsächlichen Stickstoffverluste durch Auswaschung in Praxisbetrieben unter verschiedenen Gemüseflächen** in der Region Gäu-Olten zu bestimmen. Dies müsste als externer Auftrag an die Firma TerraAquat vergeben werden. Es wird erwartet, dass die Ergebnisse eine solide Grundlage für zukünftige Anpassungen der Bewirtschaftung sowie für die Synthese im Bereich Gemüsebau (3.2) darstellen werden.

## Arbeitspaket 3: Synthese

Teilpaket 3.1: Nitratindex 2.0 und Synthese

Die Ergebnisse der Arbeitspakete 1.1, 1.2 und 1.3 sollen im angepassten **Nitratindex 2.0** zusammengefasst werden, der insbesondere auch die Düngung berücksichtigen muss. Es wird erwartet, dass mit dem Nitratindex 2.0 ein Tool vorliegt, das auch in anderen Regionen als Bewirtschaftungsgrundlage für eine grundwasserschonende Landwirtschaft dienen könnte. Ausserdem wird eine projektübergreifende **Synthese mit Empfehlungen zur Umsetzung** erarbeitet.

Teilpaket 3.2: MODIFFUS und Nitratindex im Gemüsebau

Die Ergebnisse der Arbeitspakete 2.1 und 2.2 sollen im **Stoffflussmodell MODIFFUS** und im Nitratindex umgesetzt werden, um diese Werkzeuge zu verbessern und eine **mögliche Anwendung des Nitratindex auch im Gemüsebau** zu unterstützen.

# 3. Rahmenbedingungen, Risikoanalyse

Die Weiterentwicklung des Gewässerschutzprogramms Landwirtschaft, d.h. die Fortführung der Projekte nach Art. 62a des GSchG (Teilbereich Nitrat, Zuströmbereich), wird zurzeit seitens BLW intensiv diskutiert. In diesem Zusammenhang fehlen Daten zur Wirksamkeit der Massnahmen, die in verschiedenen Projekten getroffen und finanziell entschädigt werden. Diese Wirkungskontrolle mittels Feldmessungen ist aber sehr aufwendig und stark witterungsabhängig. Insofern stellt die nur 4jährige Projektdauer ein gewisses Risiko dar, dass die Ergebnisse nicht den langjährigen Durchschnitt repräsentieren werden (was durch Beprobung von Schlägen in unterschiedlichen

Stadien der Fruchtfolge abgemildert werden kann). In jedem Fall wäre ein längerfristiges Monitoring über die Projektdauer hinaus sehr wünschenswert.

Für den Erfolg des Projektes wird es entscheidend sein, zeitnah geeignete Doktorierende zu finden. Die Zusammenarbeit von zwei Doktorierenden in einem „Tandemprojekt“ ist erfahrungsgemäss sehr motivierend und kann das Risiko des vorzeitigen Abspringens reduzieren. Durch die Kombination von Literatur-, Feld- und Laborarbeit werden die Dissertationen unabhängiger von Witterungsrisiken.

Dieses Projekt kann Informationen über die geeignete Messtechnik für langfristige Wirkungskontrollen liefern. Die Wirkungskontrolle ist aber auch als Rückmeldung an die Landwirte unabkömmlich, die freiwillig Verträge abschliessen, aber bislang wenig Erfolg sehen (Abb. 1). In der Region Gäu-Olten, aber auch in anderen Regionen der Schweiz kann durch das Alter des Grundwassers auch durch zusätzliche Massnahmen keine unmittelbare Absenkung der Nitratkonzentrationen im geförderten Grundwasser erwartet werden. Daten zu den Nitratfrachten im Sickerwasser unter Acker- und Gemüsebau stellen daher die unmittelbare Wirkungskontrolle dar.

Eine sozioökonomische Analyse der vorgeschlagenen Massnahmen wäre äusserst wünschenswert, müsste aber separat finanziert werden. Das FiBL (Christian Schader) wird bei Interesse seitens AfU und BLW gern einen Vorschlag ausarbeiten.

## 4. Vorgehen, Arbeitsplanung mit Arbeitspaketen

Im Projektschema (Abb. 2) ist angegeben, welche Projektpartner für die jeweiligen Arbeitspakete verantwortlich sind. Im Folgenden wird die detaillierte Arbeitsplanung beschrieben.

### Teilpaket 1.1: Aktualisierung Nitratindex

In enger Zusammenarbeit mit den beiden Doktoranden in den Teilpaketen 1.2 und 1.3 soll in den ersten Monaten des Projekts die Literatur zu Nitrat Auswaschung unter Ackerbausystemen der gemässigten Breiten intensiv aufgearbeitet werden. Faktoren wie Fruchtfolge, Zwischenfrüchte, Saatzeitpunkt und Bodenbearbeitung, aber auch Bewirtschaftungssystem (biologisch vs. konventionell) und Düngung sollen so quantitativ wie möglich erfasst werden. Da die absoluten Nitratfrachten standorts- und witterungsabhängig sind, werden in erster Linie relative Änderungen durch Bewirtschaftungsmassnahmen berechnet. Soweit wie möglich, werden die Verluste nicht nur pro Flächeneinheit betrachtet, sondern auch als ertragsskalierte Verluste (Zhou & Butterbach-Bahl, 2014). Es soll primär Literatur wissenschaftlicher Zeitschriften genutzt werden und sekundär auch „graue“ Literatur wie Berichte und Konferenzbeiträge. Die Datenbasis wird mit Ernst Spiess, Walter Richner (Agroscope) und Andreas Keiser (HAFL) abgestimmt, die über langjähriges Erfahrungswissen zu diesem Thema verfügen. Ausserdem besteht die Möglichkeit, in Zusammenarbeit mit der Firma TerrAquat bei ihnen vorhandene Daten zu Nitratfrachten zu nutzen, die sie im Rahmen verschiedenster Projekte in den vergangenen 17 Jahren gesammelt haben.

Als Ergänzung der Literaturarbeit werden zudem Feldkampagnen in der Projektregion unter bestimmten Kulturfolgen und Bewirtschaftungsmassnahmen durchgeführt werden, um das Punktesystem Nitratindex anhand von  $N_{\min}$ -Vorräten zu überprüfen.

Zum Abschluss dieses Teilpakets wird ein Bericht verfasst, der die Ergebnisse mit Hinblick auf den Nitratindex 2.0 zusammenfasst. Ausserdem ist eine Publikation der Metaanalyse zur Nitrat Auswaschung in einer wissenschaftlichen Zeitschrift vorgesehen. Am FiBL sind in den letzten Jahren mehrere Metaanalysen erfolgreich publiziert worden (z.B. Gattinger et al., 2012; Skinner et al., 2014).

## Teilpaket 1.2: Hydrologie und Optimierung der Bewirtschaftung

Der Doktorand in diesem Teilpaket wird in den ersten Monaten primär die Literatur zu Bewirtschaftungsmassnahmen und Nitratverluste sichten und die Felduntersuchungen planen, die im Herbst 2017 beginnen. Dabei sollen je 6 Schläge unter konventioneller und biologischer Bewirtschaftung ausgewählt werden, wobei die Fruchtfolge so weit wie möglich standardisiert wird, aber unterschiedliche Bodenbedingungen (Texturen) abgebildet werden sollen, um die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Regionen zu gewährleisten. Die biologisch bewirtschafteten Schläge werden sich also primär in der Unkrautbekämpfung, Düngung und Pflanzenschutz von den konventionellen Schlägen unterscheiden, nicht aber in der Fruchtfolge. Wir werden versuchen, unterschiedliche Phasen der Fruchtfolge gleichzeitig abzubilden, so dass in einem Jahr z.B. je 3 Schläge unter Winterweizen und je 3 unter Mais sein werden. Bei der Flächenauswahl wird uns die Projektleitung des Nitratprojekts Gäu-Olten unterstützen, die gute Kontakte zu den Landwirten in der Region hat. Ab Herbst 2018 werden die Schläge zusätzlich geteilt, um auf der einen Hälfte die jetzige Praxis und auf der anderen Hälfte je eine Düngungs- oder Fruchtfolge-massnahme zu testen. Auf den Schlägen werden folgende Erhebungen durchgeführt:

- N-Bilanz (Düngung, biologische N-Fixierung, Ernte, Auswaschung; Deposition gemäss Meteotest erheben und gasförmige Verluste schätzen (bei Bedarf durch punktuelle Messungen ergänzen)
- $N_{\min}$ -Kampagnen (2 pro Jahr und Schlag)
- Saugkerzen: 64 Saugkerzen, um repräsentative Mittelwerte zu erhalten; monatliche Beprobung = 12 Kampagnen pro Jahr während 3 Jahren
- Vadose Zone Monitoring System (VMS) für Sickerwasser und Wassergehalt (monatliche Beprobung = 12 Kampagnen pro Jahr während 3 Jahren
- Wassergehalt (8 Sonden zur Erfassung von Tiefenprofilen)
- Probenahme in Drainagen (automatische Probennehmer an ausgewählten Standorten)
- SIA für jährliche Fracht (10 Wdh. pro Schlag)

Dabei werden N-Bilanz,  $N_{\min}$ -Kampagnen und SIAs auf allen Schlägen untersucht, während die aufwendigeren Saugkerzen, Wassergehaltssonden und VMS nur auf ausgewählten Schlägen installiert werden.

Massnahmen, die als mögliche Verbesserung getestet werden sollen, werden basierend auf der Literaturrecherche und in Absprache mit den Landwirten ausgewählt. Bei jetzigem Kenntnisstand gehen wir davon aus, dass es besonders interessant wäre, die **Wirkung von tiefwurzelnden Zwischenfrüchten** sowie den **Einsatz von Mineraldüngern mit verzögerter N-Freisetzung** zu testen.

Die Dissertation wird voraussichtlich in folgende Kapitel gegliedert sein:

1. Einleitung
2. Meta-analyse: Fokus Bewirtschaftung und Nitratverluste
3. Hydrologie in Abhängigkeit von Kulturen (+/- tiefwurzelnd)
4. Methodik:  $N_{\min}$ -Kampagnen, Saugkerzen, SIAs, VMS (+ Validierung mit Tracereperimenten mit Br, stabile Isotope)
5. Einfluss von Bewirtschaftungsmassnahmen auf Stoffflüsse: N-Frachten; Verfahrensvergleich möglichst mit SALCA- $\text{NO}_3$  berechnen (unter der Voraussetzung, dass dies gemäss der Vorstudie in 1.4 möglich und sinnvoll ist, und sofern es von Agroscope begleitet werden kann); Modellierung; evtl. Denitrifikation in ungesättigter Zone
6. Allgemeine Diskussion: Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

### Teilpaket 1.3: Hofdüngermanagement

Der Doktorand in diesem Teilpaket wird zunächst Literatur zu Aspekten der Düngung und Nitratverlusten bzw. N-Anreicherung in stabiler organischer Substanz sichten und evaluieren. Parallel dazu wird der Fokus auf der Produktion von  $^{15}\text{N}$ -markiertem Hofdünger liegen (Bosshard et al., 2011). Dazu ist es notwendig, zunächst  $^{15}\text{N}$ -markiertes Gras zu produzieren und dieses anschliessend in Zusammenarbeit mit Prof. Michael Kreuzer (ETH) an ein Jungtier zu verfüttern, um homogen markierte Gülle zu erhalten (Powell et al., 2004). In zwei der Schläge, die in der Hydrologie-Dissertation untersucht werden, sollen  $^{15}\text{N}$ -markierte Dünger in je vier jeweils 1.2 m<sup>2</sup> grossen Mikroplots ausgebracht werden (Bosshard et al., 2008; Bosshard et al., 2009), um die Ausnutzung, Nachwirkung und Auswaschungsverluste zuverlässig bestimmen zu können. Dabei sind vier Verfahren vorgesehen:  **$^{15}\text{N}$ -markierter mineralischer Dünger,  $^{15}\text{N}$ -markierte Gülle,  $^{15}\text{N}$ -markierte Gülle mit Strohbeimischung und Kompostierung, und eine Kontrolle ohne N-Düngung.**

Während der Fokus auf der N-Dynamik im Feld liegt, sind vertiefte Prozessstudien unter kontrollierten Bedingungen entweder mit Fokus auf die Prozesse der N-Verlagerung oder auf die Nachwirkung der Dünger vorgesehen. Parallel dazu wird mittels Isotopenanalyse ( $^{15}\text{N}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) von Nitrat im Sickerwasser der in 1.2 untersuchten Schläge die Herkunft des ausgewaschenen Nitrats (Deposition, Mineraldünger, organische Dünger oder organisch gebundener N im Boden) ermittelt (Xue et al., 2009). In einer BSc- oder MSc-Arbeit soll zudem die Rolle des gelösten organischen N bei Auswaschungsverlusten eruiert werden. Der Vergleich der Residualwirkung der ausgebrachten Dünger mit Ansätzen zur Humusbilanzierung (Brock et al., 2013) wird wertvolle Auskünfte über den Verbleib von N im System liefern und die Übertragbarkeit auf andere Regionen evaluieren.

Daraus ergeben sich folgende Kapitel für die Dissertation:

1. Einleitung
2. Meta-analyse: Fokus Düngung (min. vs. org), N-Bilanz und Nitratverluste; N-Humusaufbau
3. Quelle von Nitrat im Sickerwasser (natürliche Abundanz  $^{15}\text{N}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) (Proben aus 1.2)
4. Kurz- und mittelfristige Effizienz min. und organ. Dünger im Feld
5. Residualwirkung min. und organ. Dünger (Topfversuch) und/oder Modellierung, oder vertiefte Prozessstudien (Kolloide)
6. Allgemeine Diskussion: Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

### Teilpaket 1.4: Vorstudie zur Anwendung von SALCA-NO<sub>3</sub>

Die am AfU Solothurn vorhandenen Daten zu Nitratverlagerung und Bewirtschaftung auf 6 Standorten (2006-2014) dienen als Grundlage für eine Analyse mit SALCA-NO<sub>3</sub> und einen Vergleich mit dem Nitratindex. Eine Praktikantin des AfU wird durch die Forschungsgruppe Ökobilanzen von Agroscope für die Dateneingabe und Durchführung der Berechnungen angeleitet. Dabei werden die potentiellen Nitratfrachten für typische Fruchtfolgen an den 6 Standorten mit beiden Methoden berechnet und verglichen. Die Auswertung und Interpretation erfolgt gemeinsam durch Agroscope und AfU. Der Schwerpunkt liegt auf der Ermittlung der relevanten Einflussfaktoren, welche im Nitratindex ungenügend berücksichtigt werden und ggf. ergänzt werden sollten. Die Ergebnisse werden in Absprache mit dem AfU in einem Schlussbericht von Agroscope zusammengefasst und liefern Grundlagen für die Überarbeitung des Nitratindex im Rahmen dieses Projekts (Aufgaben 1.2 und 3.1).

## Arbeitspaket 2: Gemüsebau

### Teilpaket 2.1: Aktualisierung Nitratauswaschungspotential unter Gemüse

In diesem Teilpaket soll zunächst durch Literaturarbeit und Zusammentragen von Erfahrungswerten eine Grundlage für die Beurteilung des Nitratauswaschungspotentials einzelner Gemüsearten und Kulturgruppen geschaffen werden, um den einheitlich hohen Basiswert in MODIFFUS zu ersetzen. Dabei geht es um die Berechnung einer N-Bilanz, um die auf dem Feld verbleibende Rest-N-Menge abzuschätzen. Zusätzlich werden die Freisetzung des N in den Ernterückständen sowie die Nährstoffaneignung einzelner Gemüsearten aufgrund von Wurzeltiefe und – dichte in die Beurteilung integriert.

Zur Entwicklung von nitratverlustarmen Kulturmassnahmen wird ein dreijähriger Lysimeterversuch am Standort Reckenholz durchgeführt. Dabei soll das **Management der Ernterückstände** im Vordergrund stehen. Um ein besseres Verständnis zu gewinnen, wie der Gemüsebau im Vergleich zum Ackerbau die Grundwasserqualität beeinflusst, werden die Lysimeterdaten mit den Felddaten aus der Gäu-Studie (Teilprojekt 1.2) verglichen. Dabei fliessen auch die Erkenntnisse aus einer laufenden Studie auf der gleichen Lysimeteranlage ein, die gemeinsam von Agroscope und CHYN durchgeführt wird.

Die Ergebnisse beider Teile werden in Berichtform veröffentlicht.

### Teilpaket 2.2: Monitoring N-Auswaschung unter Gemüse in der Region

Der Gemüsebau spielt auch unter praktischen Gesichtspunkten eine wichtige Rolle für den Grundwasserschutz. Falls das Nitratprojekt Gäu-Olten im Speziellen bzw. die Nitratprogramme im Allgemeinen auch auf Gemüsebau ausgeweitet werden sollen, wird es wichtig sein, konkrete Daten zur Nitratauswaschung in der Region zu haben. Daher wird die Firma TerrAquat beauftragt, während einer Anbausaison die Nitratfrachten unter Gemüse zu erfassen und in einem Bericht darzustellen. Dies soll mit SIAs (TerrAquat) gemessen werden. Um die Bandbreite der Gemüsekulturen abzudecken, wird vorgeschlagen, auf 5 Feldern die Kulturfolgen (Anbausätze) eines Jahres (einschliesslich Winterhalbjahr) zu verfolgen und zu vergleichen. Die Auswahl der Betriebe, Flächen und Kulturfolgen erfolgt mit den lokalen Gemüsebauberatern. Dabei sollen verschiedene Freilandgemüse (stark oder schwach zehrend, Wurzelkulturen, Kohlarten mit viel Ernterückständen) einbezogen werden. Geplant ist, jeden Gemüsesatz einzeln zu untersuchen. Es wird mit durchschnittlich 3 Kulturen pro Fläche gerechnet. Diese können alternativ jedoch auch zu einer möglichst „typischen“ Kulturfolge zusammengefasst und als Ganzes auf ihre Stickstoffverluste untersucht werden. Vor Ort sollten die Schlagbilanzen pro Kultur erfasst werden, um mit den Auswaschungsdaten zu einer annähernden Massenbilanz zu kommen, die auch die N-Nutzungseffizienz der Gemüsekulturen sichtbar macht.

Dieses Teilpaket ist von Bedeutung, weil die lokalen Gemüsebauern zusammen mit dem Gemüseproduzentenverband der Kantone Bern und Freiburg die bisherigen Kenntnisse und die **Auswirkungen des Gemüsebaus auf die Grundwasserqualität** bezweifeln.

## Arbeitspaket 3: Synthese

### Teilpaket 3.1: NitratindeX 2.0

Während der Bericht zum Teilpaket 1.1 primär auf Literatur beruhen wird, werden in die Synthese alle **Ergebnisse aus den Feldstudien** einfließen. Die Ergebnisse der Teilpakete zur Nitratauswaschung im Ackerbau werden so in einer **Überarbeitung des NitratindeX** resultieren. Es werden erstmals umfassende Daten zu **Nitratfrachten unter Ackerbau in der Region Gäu-Olten** vorliegen, die auch eine Hochrechnung auf die ganze Region ermöglichen. Die vielverspre-

chendsten **Bewirtschaftungsmassnahmen** (voraussichtlich tiefwurzelnde Zwischenfrüchte, Mineraldünger mit verzögerter N-Freisetzung sowie Strohbeimischung zum Hofdünger) werden während zwei Anbaujahren **im Feld getestet**.

Zudem wird die mögliche **Anwendung verschiedener Modellierungstools** wie das Bilanzmodell Balmer (Balmer, 2001), SALCA-NO<sub>3</sub> (Richner et al., 2014), STICS (Constantin et al., 2012) und MANNER-NPK (Nicholson et al., 2013) auf die gemessenen Daten und ihre Eignung für Simulationen von Szenarien und Übertragung auf andere Regionen geprüft werden. Dazu sollen nach Möglichkeit 1-2 MSc-Arbeiten realisiert werden.

Die Ergebnisse der Teilpakete 1.1, 1.2 und 1.3 werden in einem **Abschlussbericht Ackerbau** zusammengefasst. Zusätzlich wird eine **Kurzfassung beider Abschlussberichte** (Acker- und Gemüsebau) mit Empfehlungen für die praktische Umsetzung erstellt.

Teilpaket 3.2: MODIFFUS und Nitratindex im Gemüsebau

Dieses Projekt wird eine wichtige **Synthese der Literatur zu Nitratverlusten im Gemüsebau** beinhalten. Es wird Daten zu **Nitratfrachten unter Gemüse in der Region Gäu-Olten** liefern und **Möglichkeiten zur Verringerung der Nitratfrachten durch angepasste Bewirtschaftung experimentell evaluieren**.

Die Ergebnisse aus den Studien im Gemüsebau (2.1 und 2.2) werden sowohl in MODIFFUS und im Nitratindex umgesetzt sowie in einem **Abschlussbericht Gemüsebau** zusammengefasst.

## 5. Projektablauf, Zeitplanung, Termine, Meilensteine

Das Projekt wird von **April 2017 bis März 2021** laufen (Abb. 3). Die Feldarbeiten werden im Herbst 2017 beginnen und im Spätsommer 2020 abgeschlossen sein. Die beiden vierjährigen Dissertationen werden im ersten halben Jahr v.a. mit Literaturarbeit und Planung beschäftigt sein, wobei zwecks Teambildung beide Doktorierende am FiBL tätig sein werden, und anschliessend in die experimentelle Phase übergehen. Dabei werden die Doktorierenden ihre Arbeitsplätze an der Uni Neuchâtel (Teilpaket 1.2) bzw. am FiBL (Teilpaket 1.3) haben. Im vierten Jahr müssen Auswertung und Schreiben im Vordergrund stehen. Technische Unterstützung der Doktorierenden durch Feldtechniker von Uni Neuchâtel und FiBL sowie durch Praktikanten während der Feldphase ist unabdingbar.

Zu Beginn des Projektes werden wir eine **Begleitgruppe** aus Landwirten, Beratern, und Vertretern aus den Bereichen Bodenschutz und Gewässerschutz ins Leben rufen. Wichtige Termine werden die **jährlichen Projekttreffen** mit allen Partnern, der Begleitgruppe sowie Vertretern vom AfU, BLW und BAFU sein. Jährlich 1-2 zusätzliche Treffen mit allen, die in die Dissertationen involviert sind, werden die enge Zusammenarbeit und den Austausch zusätzlich fördern. Ausserdem sind ab dem zweiten Jahr jeweils im Sommer **Feldtage** mit den Landwirten vorgesehen, um die Ergebnisse zu diskutieren und die Akzeptanz möglicher Massnahmen abzuschätzen. Obwohl AfU und BZ Wallierhof bereits über gute Kontakte zu den Landwirten verfügen, ist es wichtig, dass wir auch über das Projekt mit ihnen im Gespräch sind.

Das Teilpaket 1.1 wird Ende 2018 mit einem ersten Bericht abgeschlossen werden. **Abschlussberichte zum Ackerbau und zum Gemüsebau** werden **bis Ende 2020** verfügbar sein; ebenso eine projektübergreifende Synthese mit Empfehlungen für die praktische Umsetzung der Ergebnisse. Meilensteine und Ergebnisse sind in Tab. 1 aufgeführt. Die Gesamtkoordination liegt beim FiBL.

	Jahr	2017				2018				2019				2020				2021	
		Quartal	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2			
1.1 Meta-analyse	Meta-analyse Nitratauswaschung Ackerbau																		
	Feldkampagne Nmin																		
	Bericht																		
1.2 Diss Hydrologie & Bewirtschaftung	Mitarbeit bei Meta-analyse																		
	Flächenauswahl Feldstudie																		
	Monitoring im Feld																		
	Monitoring im Feld inkl. verbesserte Massnahmen																		
	Auswertung, Schreiben																		
	1.3 Diss Hofdüngermanagement	Mitarbeit bei Meta-analyse																	
	Herkunftsanalyse Nitrat im Sickerwasser																		
	Produktion 15N-Markiertes Futter																		
	Produktion 15N-markierte Gülle																		
	Mikroplotstudie																		
	Topfversuch Nachwirkung oder Prozessuntersuchungen																		
	Auswertung, Schreiben																		
1.4 Vorstudie SALCA-NO <sub>3</sub>	Berechnungen, Bericht																		
2.1 Nitratpotential Gemüse	Literaturstudie Gemüse																		
	Bericht																		
	Lysimeterversuch																		
	Bericht																		
2.2 Monitoring Gemüse	Messung Nitratauswaschung im Feld																		
	Bericht																		
3.1 Nitratindex 2.0	Abschlussbericht und Umsetzung																		
3.2 Nitratindex&Modiffus Gemüse	Abschlussbericht und Umsetzung																		
Projekttreffen																			
Feldtage mit Landwirten																			

Abb. 3: Zeitplan des Projektes

**Tab. 1: Wichtige Meilensteine (M) und Ergebnisse (E) im Projekt**

Termin	M/E	Aktivität	Resultat	Bemerkungen	Verantw.
Juni 2017	M1	1.Projekttreffen	Einheitlicher Kenntnisstand, Zusammenarbeit aufgeleitet, Begleitgruppe informiert	Auch Beiträge wichtiger Akteure ausserhalb des Projekts	FiBL
Aug. 2017	M2	Flächenauswahl	Flächen für Monitoring (1.2) ausgewählt	In Zusammenarbeit mit AfU/BZ Wallierhof	UNE, FiBL
Dez. 2017	E1	Schlussbericht	Vergleich Ergebnisse SALCA-NO3 mit Nitratindex (1.4)	In Zusammenarbeit mit AfU	Agroscope
Dez. 2017	M3	<sup>15</sup> N-markiertes Futter	Genügend <sup>15</sup> N-markiertes Futter für Gülleproduktion vorhanden		ETH, FiBL
Feb. 2018	M4	<sup>15</sup> N-markierte Gülle	Genügend <sup>15</sup> N-markierte Gülle für Mikroplots vorhanden		ETH, FiBL
Feb. 2018	M5	Flächenauswahl	Flächen für Monitoring Gemüse (2.2) ausgewählt	TerrAquat in Zusammenarbeit mit AfU/BZ Wallierhof	TerrAquat
Feb. 2018	M6	2.Projekttreffen	Diskussion Ergebnisse 1.Jahr, Planung 2.Jahr	Mit Begleitgruppe	FiBL
März 2018	M7	Beginn Mikroplotstudie	<sup>15</sup> N-markierte Dünger ausgebracht		ETH, FiBL
Aug. 2018	M8	Massnahmenauswahl	Verbesserte Massnahmen für 1.2 ausgewählt		FiBL, UNE
Sep. 2018	E2	Literaturstudie Gemüse	Bericht über Literaturstudie 2.1 liegt vor		Agroscope
Dez. 2018	E3	Literaturstudie Ackerbau	Bericht über Literaturstudie 1.1 liegt vor; Manuskript Meta-analyse eingereicht		FiBL
Feb. 2019	M9	3.Projekttreffen	Diskussion Ergebnisse 2.Jahr, Planung 3.Jahr	Mit Begleitgruppe	FiBL
Sep. 2019	E4	Monitoring Gemüse	Bericht über 2.2 liegt vor		TerrAquat
Feb. 2020	M10	4.Projekttreffen	Diskussion Ergebnisse 3.Jahr, Planung 4.Jahr	Mit Begleitgruppe	FiBL
Mai 2020	E5	Lysimeterversuch	Bericht über Lysimeterstudie 2.1 liegt vor		Agroscope
Okt. 2020	E6	Abschlussbericht Gemüsebau	Umsetzung in Nitratindex & MODIFFUSwerte für Gemüse		Agroscope
Nov. 2020	E7	Abschlussbericht Ackerbau	Umsetzung in Nitratindex 2.0; Synthese	Inklusive Empfehlungen für die praktische Umsetzung	FiBL
Dez. 2020	M11	Abschlusstreffen	Diskussion der Ergebnisse	Mit Begleitgruppe und wichtigen Akteuren ausserhalb des Projekts	FiBL
März 2021	E8	Diss Hydrologie	Abschluss der Diss 1.2	Mind. 2 Manuskripte eingereicht	UNE, FiBL
März 2021	E9	Diss Hofdünger	Abschluss der Diss 1.3	Mind. 2 Manuskripte eingereicht	ETH, FiBL

## 6. Projektkosten

Übersicht (alle Angaben in CHF, exklusive allfälliger MwSt, ausser bei Dienstleistungen von Dritten in der Rubrik Sachmittel).

	Arbeitspaket	Partner	Lohnkosten	Sachmittel	Reisemittel	Eigenleistung	Summe Arbeitspaket (ohne Eigenleistung)
<b>0. Projektleitung</b>	Projektkoordination	FiBL	46271	5500	3784	15424	55555
<b>1. Ackerbau</b>	1.1 Meta-analyse	FiBL	53983	0	980	0	73808
		TerrAquat	0	0	0	1500	
		CHYN	8265	9600	980	0	
	1.2 Diss Hydrologie & Bewirtschaftung	FiBL	48270	40080	4900	109964	632687
		CHYN	241000	225000	10500	82000	
		TerrAquat	8613	46200	8124	0	
	1.3 Diss Hofdüngermanagement	FiBL	309446	77186	6920	18516	424973
		ETH	0	11770	500	46271	
		TerrAquat	5049	11088	3014	0	
	1.4 Vorstudie SALCA-NO3	Agroscope	20000				20000
<b>2. Gemüsebau</b>	2.1 Nitratpotential Gemüse	Agroscope	152800	0	0	61271	152800
	2.2 Monitoring Gemüse	TerrAquat	11088	21203	5236	0	37527
<b>3. Synthese</b>	3.1 Nitratindex 2.0 und Synthese	FiBL	30847	0	0	30847	30847
	3.2 Umsetzung Modiffus/Nitratindex Gemüse	Agroscope	12600	0	0	7712	12600
			<b>Lohnkosten</b>	<b>Sachmittel</b>	<b>Reisemittel</b>	<b>Eigenleistung</b>	<b>Summe (ohne Eigenlsg.)</b>
	Nach Institutionen aufgliedert:	FiBL	488816	122766	16584	174751	628167
		CHYN	249265	234600	11480	82000	495345
		TerrAquat	24750	78491	16374	1500	119614
		Agroscope	185400	0	0	68983	185400
		ETH	0	11770	500	46271	12270
		<b>Summe</b>	<b>948231</b>	<b>447627</b>	<b>44938</b>	<b>373505</b>	
		<b>Gesamt</b>	<b>1440796</b>				
	Nach Jahren aufgliedert:		<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
			513842	369246	251961	268109	37638

Eine genauere Aufschlüsselung der Kosten pro Arbeitspaket wird im Folgenden dargestellt:

Arbeitspaket	Position	Partner	Lohnkosten	Sachmittel	Reisemittel	Eigenleistung
0 Koordination	Senior Scientist	FiBL	46271	5500	784	15424
	Teilnahme an 3 Konferenzen	FiBL			3000	
1.1 Metaanalyse	Senior Scientist	FiBL	53983			
	Datenbereitstellung	TerrAquat				1500
	Technician	CHYN	8265			
	Nmin-Analysen inkl. Extraktion	CHYN		9600	980	
	Fahrtkosten Feld	FiBL			980	
1.2 Diss Hydrologie & Bewirtschaftung	Senior Scientist	FiBL				61694
	Trainee	FiBL	18516			18516
	Technician	FiBL	29754			29754
	Doktorand 4 Jahre gemäss SNF-Ansatz (Neuchatel)	CHYN	241000			
	Professor	CHYN				36000
	20% Techniker für 2 Jahre	CHYN				46000
	Vadose Zone Monitoring Systeme (VMS) 4 Systeme	CHYN		98000		
	Saugkerzen inklusive Systeme für kontinuierliche Probenahme (36 Stück)	CHYN		27700		
	Bodenfeuchtesonden inklusive Datenlogger/Übertragung (36 Stück)	CHYN		25600		
	Installation Messgeräte inklusive Bohrungen	CHYN		21700		
	Beprobung & Analyse von Wasserproben aus VMS, Saugkerzen, Drainagen	CHYN		19400		
	Tracerversuche inklusive Analysen	CHYN		5000		
	Extraktion und Analyse von N-Min Proben	CHYN		21600		
	Analyse von Bodenproben (Korngrösse, CEC)	CHYN		6000		
	Fahrtkosten für Installation und Probenahme	CHYN			6500	
	Fahrtkosten Feld	FiBL			4900	
	SIA Kosten	TerrAquat		46200		
	SIA-Analysen	FiBL		7200		
	CN-Analysen Pflanzen, Dünger für N-Bilanz	FiBL		7680		
	Entschädigung Landwirte (CHF 500 pro Jahr und Schlag)	FiBL		18000		
	Minibagger für SIA-Wechsel	FiBL		7200		
Teilnahme an 3 Konferenzen (PhD)	CHYN			3000		
Fahrtkosten für Meetings	CHYN			1000		
Spesen, Fahrtkosten	TerrAquat			8124		
Planung, Auswertung	TerrAquat		8613			

Arbeitspaket	Position	Partner	Lohnkosten	Sachmittel	Reisemittel	Eigenleistung
1.3 Diss Hofdüngermanagement	Senior Scientist	FiBL	61694			
	Trainee	FiBL	18516			18516
	Doktorand 4 Jahre gemäss SNF-Ansatz (Frick)	FiBL	229235			
	Senior Scientist	ETH				46271
	Fahrtkosten Feld	FiBL			3920	
	15N für Markierung Gras	FiBL		50208		
	15N für Mineraldüngervariante	FiBL		2438		
	Tierversuchsbewilligung	FiBL		1000		
	Mikroplots: Material, Installation	FiBL		3000		
	Abdeckung Feld 15N Prod.	FiBL		500		
	diverses Material Feld	FiBL		1000		
	15N-O18 Analysen Sickerwasser	ETH		5800		
	15N Pflanze nat.abund. Für BNF	ETH		492		
	15N-Analysen Gülle	ETH		640		
	15N Pflanze enriched	ETH		983		
	15N-Analysen N <sub>tot</sub> Boden	ETH		655		
	15N-Analysen N <sub>min</sub> /N <sub>mic</sub> Boden	ETH		3200		
	SIA Kosten	TerrAquat		11088		
	SIA Analysen	FiBL		1440		
	begleitende Bodenanalysen	FiBL		9600		
Topfversuch Residualwirkung oder Kolloidstudie	FiBL		8000			
Teilnahme an 3 Konferenzen (PhD)	FiBL				3000	
Fahrtkosten	ETH				500	
Spesen, Fahrtkosten	TerrAquat				3014	
Planung, Auswertung	TerrAquat	5049				
1.4 Vorstudie SALCA-NO3	Betreuung, Bericht	Agroscope	20000			

Arbeitspaket	Position	Partner	Lohnkosten	Sachmittel	Reisemittel	Eigenleistung
2.1 Nitratpotential Gemüse	Wiss. Mitarbeiter Postdoc	Agroscope	100800			
	Wiss.-techn. Mitarbeiter	Agroscope	52000			
	Senior Scientist	Agroscope				46271
	Nmin-Analysen	Agroscope				15000
2.2 Monitoring N-Auswaschung G	SIA Kosten	TerrAquat		16363		
	SIA Analysen	TerrAquat		4840		
	Spesen	TerrAquat			5236	
	Planung, Auswertung, Bericht	TerrAquat	11088			
3.1 Nitratindex 2.0 & Synthese	Senior Scientist	FiBL	30847			15424
	Senior Scientist	FiBL				15424
3.2 Umsetzung Gemüse	Wiss. Mitarbeiter Postdoc	Agroscope	12600			
	Senior Scientist	Agroscope				7712
		Summe	<u>948231</u>	<u>447627</u>	<u>44938</u>	<u>373505</u>
		Gesamt	<u>1440796</u>			

## 7. Partnerorganisationen und Zusammenarbeit

Die Projektleitung wird von Else Bünemann (FiBL) übernommen. Das FiBL wird zudem das Arbeitspaket 1 (Ackerbau) leiten und für die Synthese im Teilpaket 3.1 verantwortlich sein. Die Dissertation zu Hydrologie und Optimierung der Bewirtschaftung wird in Zusammenarbeit mit Prof. Daniel Hunkeler (Universität Neuchâtel) und die Dissertation zum Hofdüngermanagement in Zusammenarbeit mit Dr. Astrid Oberson und Prof. Emmanuel Frossard (ETH Zürich) durchgeführt. Beide Dissertationen werden von Else Bünemann mitbetreut, so dass ein guter Informationsfluss innerhalb des ganzen Projektteils zum Ackerbau gewährleistet ist. Die Forschungsgruppe Ökobilanzen von Agroscope wird die Verwendung von SALCA-NO<sub>3</sub> im Teilpaket 1.4 fachlich begleiten.

Im Arbeitspaket 2 (Gemüsebau) wird Agroscope das Teilpaket 2.1 durchführen und für die Synthese und Umsetzung im Teilpaket 3.2 verantwortlich sein. Im Arbeitspaket 2.2 wird durch die Beteiligung der Firma TerrAquat nicht nur eine relativ neue, innovative Messtechnik geprüft, sondern auch eine Anbindung an die Diskussionen zur Nitratproblematik in Deutschland gewährleistet.

Die jährlichen Projekttreffen und die Verwendung derselben Messtechnik in allen Arbeitspaketen im Feld sowie die projektübergreifende Synthese stellen den Austausch und die Zusammenarbeit zwischen Ackerbau und Gemüsebau sicher.

## 8. Referenzliste

PD Dr. Else Bünemann ist seit 2015 am FiBL für Themen im Bereich Nährstoffmanagement zuständig. Zuvor hat sie als Oberassistentin in der Gruppe Pflanzenernährung (ETH) zu verschiedenen Aspekten des Phosphors gearbeitet (Bünemann, 2015; Bünemann et al., 2013; Liebisch et al., 2013). Am FiBL wird sie durch die Beratung (Hansueli Dierauer, Martin Koller, Raphael Charles) und das Departement Bodenwissenschaften (Paul Mäder u.a.) unterstützt.

Prof. Daniel Hunkeler, Universität Neuchâtel, hat sich bereits intensiv mit der Hydrologie der Region Gäu-Olten beschäftigt (AfU, 2015). Er ist ein ausgewiesener Experte im Bereich Grundwasserhydrologie (Baillieux et al., 2015; Bertrand et al., 2012; Kaeser & Hunkeler, 2016). Der Doktorand wird für die Modellierarbeiten zudem von Prof. Philip Brunner, Uni Neuchâtel, unterstützt.

Dr. Astrid Oberson und Prof. Emmanuel Frossard, ETH Zürich, haben wichtige Arbeiten zur N-Dynamik publiziert, unter Verwendung <sup>15</sup>N markierter Hofdünger (in Zusammenarbeit mit Prof. Michael Kreuzer, ETH) und Methoden, die auf natürlicher Abundanz beruhen (Bosshard et al., 2009; Oberson et al., 2007). Sie haben zudem die Massenspektrometrie für <sup>15</sup>N- und <sup>18</sup>O-Bestimmungen fest in ihrem Labor etabliert (Tamburini et al., 2012).

Ernst Spiess und Dr. Walter Richner, Agroscope, haben jahrzehntelange Erfahrung mit Nitratauswaschung und Lysimeterversuchen (Decrem et al., 2005; Spiess et al., 2015; Spiess et al., 2011a; Spiess et al., 2011b; Spiess & Stauffer, 2007). Sie sind zudem Experten in Nährstoffbilanzierung (Spiess, 2011) und SALCA-NO<sub>3</sub>. Walter Richner ist Co-Coordinator der „Grundlagen für die Düngung“ (GRUD 2017). Dr. Reto Neuweiler ist Modulautor in den GRUD 2017 und Experte in der Anbautechnik im Gemüsebau. Dr. Thomas Nemecek, Agroscope Forschungsgruppe Ökobilanzen, ist Spezialist der landwirtschaftlichen Ökobilanzierung und Gesamtverantwortlicher für die Ökobilanz-Methode SALCA. Dr. Maria Bystricky ist ebenfalls eine Spezialistin der Ökobilanzierung in der Landwirtschaft, mit besonderer Erfahrung in der Anpassung von SALCA-Modellen und vertieften Kenntnissen von SALCA-NO<sub>3</sub>.

Dr. Wolf-Anno Bischoff, Leiter des Gutachterbüros TerrAquat, führt seit 1999 Untersuchungen zur Nitratdynamik und zur Massenbilanzierung im Bereich Landwirtschaft - Boden – Grundwasser durch. Es wurden für Auftraggeber aus Praxis (u.a. Wasserversorger, Düngemittelentwickler) und Forschung (zahlreiche Universitäten und Forschungseinrichtungen, u.a. Umweltbundesamt (Deutschland), Universitäten Hohenheim, Bonn, BOKU Wien, Max-Planck-Institut für Biogeochemie Jena) schon mehrere hundert Feldversuche mit der SIA-Methode durchgeführt. Dr. Bischoff ist auch Lehrbeauftragter an der Universität Hohenheim und der Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM). TerrAquat hat schon zahlreiche Gutachten zu Fragen der Stickstoffverluste aus unterschiedlichen Landnutzungssystemen erstellt.

## 9. Literatur

- Abalos, D., Jeffery, S., Sanz-Cobena, A., Guardia, G., Vallejo, A. 2014. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **189**, 136-144.
- AfU. 2015. Nitratprojekt Gäu-Olten. Sauberes Trinkwasser für die Region. Amt für Umwelt, Kanton Solothurn.
- Anken, T., Irla, E., Heusser, J., Ammann, H., Richner, W., Walther, U., Weisskopf, P., Nievergelt, J., Stamp, P., Schmid, O., Mader, P. 2003. The effect of soil treatment on washing out of nitrates. Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Nitratwaschung: Unterschiede sind kleiner als erwartet. *FAT-Berichte, Switzerland*(598), 1-8 pp.
- Baillieux, A., Moeck, C., Perrochet, P., Hunkeler, D. 2015. Assessing groundwater quality trends in pumping wells using spatially varying transfer functions. *Hydrogeology Journal*, **23**(7), 1449-1463.
- Balmer, H. 2001. Effekte der landwirtschaftlichen Massnahmen nach GSchG Art. 62a auf den Nitratgehalt der Grundwasserfassung "Chrummenlanden" im Klettgau (SH). Eawag, SWW.
- Bertrand, G., Goldscheider, N., Gobat, J.-M., Hunkeler, D. 2012. Review: From multi-scale conceptualization to a classification system for inland groundwater-dependent ecosystems. *Hydrogeology Journal*, **20**(1), 5-25.
- Biedermann, R. 2007. Pilotprojekt Nitratreduktion im Klettgau. Kanton Schaffhausen: Amt für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz, Landwirtschaftsamt Gemeinden Neunkirch und Gächlingen.
- Bischoff, W.-A. 2007. Entwicklung und Anwendung der Selbst-Integrierenden Akkumulatoren: Eine Methode zur Erfassung der Sickerfrachten umweltrelevanter Stoffe, Technische Universität Berlin, pp. 145.
- Bosshard, C., Frossard, E., Dubois, D., Maeder, P., Manolov, I., Oberson, A. 2008. Incorporation of nitrogen-15-labeled amendments into physically separated soil organic matter fractions. *Soil Science Society of America Journal*, **72**(4), 949-959.
- Bosshard, C., Oberson, A., Leinweber, P., Jandl, G., Knicker, H., Wettstein, H.R., Kreuzer, M., Frossard, E. 2011. Characterization of fecal nitrogen forms produced by a sheep fed with N-15 labeled ryegrass. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **90**(3), 355-368.
- Bosshard, C., Sorensen, P., Frossard, E., Dubois, D., Maeder, P., Nanzer, S., Oberson, A. 2009. Nitrogen use efficiency of N-15-labelled sheep manure and mineral fertiliser applied to microplots in long-term organic and conventional cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **83**(3), 271-287.
- Brock, C., Franko, U., Oberholzer, H.-R., Kuka, K., Leithold, G., Kolbe, H., Reinhold, J. 2013. Humus balancing in Central Europe-concepts, state of the art, and further challenges. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, **176**(1), 3-11.
- Bünemann, E.K. 2015. Assessment of gross and net mineralization rates of soil organic phosphorus - A review. *Soil Biology & Biochemistry*, **89**, 82-98.

- Bünemann, E.K., Keller, B., Hoop, D., Jud, K., Boivin, P., Frossard, E. 2013. Increased availability of phosphorus after drying and rewetting of a grassland soil: processes and plant use. *Plant and Soil*, **370**(1-2), 511-526.
- Constantin, J., Beaudoin, N., Launay, M., Duval, J., Mary, B. 2012. Long-term nitrogen dynamics in various catch crop scenarios: Test and simulations with STICS model in a temperate climate. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **147**, 36-46.
- Decrem, M., Herzog, F., Nievergelt, J., Richner, W., Spiess, E. 2005. Analyse von Szenarien zur Wirkung des ÖLN auf die Nitratauswaschung im Ackerbau. *Schriftenreihe der FAL*, **57**, 49-58.
- Gardner, J.B., Drinkwater, L.E. 2009. The fate of nitrogen in grain cropping systems: a meta-analysis of N-15 field experiments. *Ecological Applications*, **19**(8), 2167-2184.
- Gattinger, A., Muller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., Maeder, P., Stolze, M., Smith, P., Scialabba, N.E.-H., Niggli, U. 2012. Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **109**(44), 18226-18231.
- Hu, Y., Schraml, M., von Tucher, S., Li, F., Schmidhalter, U. 2014. Influence of nitrification inhibitors on yields of arable crops: A meta-analysis of recent studies in Germany. *International Journal of Plant Production*, **8**(1), 33-50.
- Kaesler, D., Hunkeler, D. 2016. Contribution of alluvial groundwater to the outflow of mountainous catchments. *Water Resources Research*, **52**(2), 680-697.
- Liebisch, F., Bünemann, E.K., Huguenin-Elie, O., Jeangros, B., Frossard, E., Oberson, A. 2013. Plant phosphorus nutrition indicators evaluated in agricultural grasslands managed at different intensities. *European Journal of Agronomy*, **44**, 67-77.
- Nicholson, F.A., Bhogal, A., Chadwick, D., Gill, E., Gooday, R.D., Lord, E., Misselbrook, T., Rollett, A.J., Sagoo, E., Smith, K.A., Thorman, R.E., Williams, J.R., Chambers, B.J. 2013. An enhanced software tool to support better use of manure nutrients MANNER-NPKI. *Soil Use and Management*, **29**(4), 473-484.
- Oberson, A., Nanzer, S., Bosshard, C., Dubois, D., Maeder, P., Frossard, E. 2007. Symbiotic N-2 fixation by soybean in organic and conventional cropping systems estimated by N-15 dilution and N-15 natural abundance. *Plant and Soil*, **290**(1-2), 69-83.
- Powell, J.M., Wu, Z.G., Kelling, K., Cusick, P., Munoz, G. 2004. Differential nitrogen-15 labeling of dairy manure components for nitrogen cycling studies. *Agronomy Journal*, **96**(2), 433-441.
- Prasuhn, V., Kupferschmied, P., Spiess, E., Hürdler, J. 2016. Szenario-Berechnungen für das Projekt zur Verminderung diffuser Nährstoffeinträge in die Gewässer der Schweiz mit MODIFFUS. Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Richner, W., Oberholzer, H.-R., Freiermuth Knuchel, R., Huguenin, O., Ott, S., Nemecek, T., Walther, U. 2014. Modell zur Beurteilung der Nitratauswaschung in Ökobilanzen – SALCA-NO3. *Agroscope Science*, **5**, 32.
- Skinner, C., Gattinger, A., Muller, A., Maeder, P., Fliessbach, A., Stolze, M., Ruser, R., Niggli, U. 2014. Greenhouse gas fluxes from agricultural soils under organic and non-organic management - A global meta-analysis. *Science of the Total Environment*, **468**, 553-563.
- Soane, B.D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., Roger-Estrade, J. 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil & Tillage Research*, **118**, 66-87.
- Spiess, E. 2011. Nitrogen, phosphorus and potassium balances and cycles of Swiss agriculture from 1975 to 2008. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **91**(3), 351-365.
- Spiess, E., Prasuhn, V., Humphrys, C. 2015. Einfluss des Umbruchtermins einer Zwischenfrucht auf die Nitratauswaschung. 16. *Gumpensteiner Lysimetertagung*, 171-174.
- Spiess, E., Prasuhn, V., Stauffer, W. 2011a. Einfluss der Winterbegrünung auf Wasserhaushalt und Nitratauswaschung. 14. *Gumpensteiner Lysimetertagung*, 149-154
- Spiess, E., Prasuhn, V., Stauffer, W. 2011b. Einfluss von organischer und mineralischer Düngung auf die Nährstoffauswaschung. *Agrarforschung Schweiz* **2**(9), 376-381.

- Spiess, E., Stauffer, W. 2007. Bestimmung der biologischen N-Fixierung von Leguminosen und der Nitratauswaschung mittels Lysimetern. *12. Gumpensteiner Lysimetertagung*, 177-178.
- Tamburini, F., Pfahler, V., Bünemann, E.K., Guelland, K., Bernasconi, S.M., Frossard, E. 2012. Oxygen Isotopes Unravel the Role of Microorganisms in Phosphate Cycling in Soils. *Environmental Science & Technology*, **46**(11), 5956-5962.
- Thorup-Kristensen, K., Rasmussen, C.R. 2015. Identifying new deep-rooted plant species suitable as undersown nitrogen catch crops. *Journal of Soil and Water Conservation*, **70**(6), 399-409.
- Timilsena, Y.P., Adhikari, R., Casey, P., Muster, T., Gill, H., Adhikari, B. 2015. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **95**(6), 1131-1142.
- Tribouillois, H., Fort, F., Cruz, P., Charles, R., Flores, O., Garnier, E., Justes, E. 2015. A Functional Characterisation of a Wide Range of Cover Crop Species: Growth and Nitrogen Acquisition Rates, Leaf Traits and Ecological Strategies. *Plos One*, **10**(3).
- Valkama, E., Lemola, R., Kankanen, H., Turtola, E. 2015. Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **203**, 93-101.
- Vetsch, A. 2000. Nitratindex. Dokumentation zum "Einschätzungssystem der landwirtschaftlichen Beirtschaftung bezüglich der Gefährdung von Nitratauswaschung ins Grundwasser".
- von Niederhäusern, A., Niggli, T., Kropf, R., Kessler, V. 2010. Überprüfung der landwirtschaftlichen Massnahmen in Nitratprojekten des Kantons Freiburg.
- Xue, D., Botte, J., De Baets, B., Accoe, F., Nestler, A., Taylor, P., Van Cleemput, O., Berglund, M., Boeckx, P. 2009. Present limitations and future prospects of stable isotope methods for nitrate source identification in surface- and groundwater. *Water Research*, **43**(5), 1159-1170.
- Zhou, M., Butterbach-Bahl, K. 2014. Assessment of nitrate leaching loss on a yield-scaled basis from maize and wheat cropping systems. *Plant and Soil*, **374**(1-2), 977-991.